

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

DAYANE BORTOLOTO DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA, BIOQUÍMICA E ANATÔMICA DE
ALGODOEIRO HERBÁCEO (*Gossypium hirsutum* L.var. *latifolium* Hutch) EM
FUNÇÃO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO.**

Ilha Solteira
2020

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DAYANE BORTOLOTO DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA, BIOQUÍMICA E ANATÔMICA DE
ALGODOEIRO HERBÁCEO (*Gossypium hirsutum* L.var. *latifolium* Hutch) EM
FUNÇÃO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO.**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Especialidade: Sistema de Produção.

Prof. Dr. Enes Furlani Junior
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S586c Silva, Dayane Bortoloto.
Caracterização fisiológica, bioquímica e anatômica de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch) em função da aplicação foliar de silício. / Dayane Bortoloto Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2020
89 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2020

Orientador: Enes Furlani Junior
Inclui bibliografia

1. Cotonicultura. 2. Adubação silicatada. 3. Cloreto de mepiquat. 4. Condições hídricas.



João Josué Barbosa

Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação
Diretor Técnico
CRB 8-5642

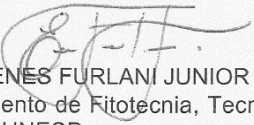
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Caracterização fisiológica, bioquímica e anatômica de Algodoeiro Herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch) em função da aplicação foliar de silício.

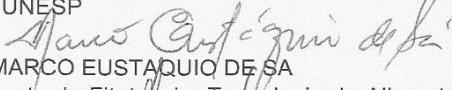
AUTORA: DAYANE BORTOLOTO DA SILVA

ORIENTADOR: ENES FURLANI JUNIOR

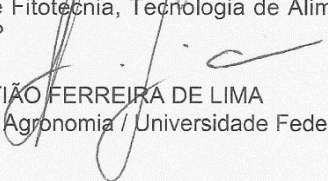
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ENES FURLANI JUNIOR

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. MARCO EUSTAQUIO DE SA

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. SEBASTIÃO FERREIRA DE LIMA

Departamento de Agronomia / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS

Ilha Solteira, 14 de fevereiro de 2020

As minhas irmãs, Daniela e Denise.

As minhas sobrinhas Alice e Luiza, pela
alegria que me proporcionam.

OFEREÇO

Aos meus pais, Jorge Miguel (*in
memoriam*) e Tania Mara, por sempre
conceder apoio aos meus estudos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus.

A minha mãe, Tania Mara, por sempre dar apoio aos meus estudos, e por todo esforço para que eu pudesse concluí-los.

A todos meus familiares, pelo incentivo e carinho dedicados em todos os momentos.

Ao Andrei Rocha Barbosa pelo carinho, companheirismo, por me aguentar nesse tempo, e por praticamente ter virado um agrônomo para me ajudar.

Ao meu orientador Prof. Dr. Enes Furlani Junior, pelo conhecimento transmitido, paciência e pela pronta disponibilidade que sempre teve quando precisei.

A professora Dra. Aline Redondo Martins, pela contribuição dada a este trabalho. Que só ajudou a incrementar e a entender ainda mais a anatomia foliar do algodoeiro herbáceo.

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

As minhas parceiras de laboratório, Camila, Noemi e principalmente a Amanda, pelos conselhos, por sempre querer o meu bem e por toda ajuda.

Ao Arlindo Ananias pela amizade de longa data, pela ajuda por todos os experimentos já realizados juntos e por sempre estar por perto.

A Denise e a Maraisa que mesmo não gostando de sol, terra e calor sempre estavam à disposição no que precisava.

Aos técnicos Alexandre Marques da Silva, Sinval Antônio de Abreu e Marcelo Rinaldi da Silva pela ajuda nas análises e todo apoio nos laboratórios, e ao Elton que auxiliou com as eletromicrografias realizados no MEV, mais principalmente por toda paciência.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Agronomia da UNESP, campus de Ilha Solteira, pelos ensinamentos e contribuição em minha carreira acadêmica.

A todos àqueles que embora não mencionados contribuíram para a realização do trabalho e também estiveram comigo nesta importante etapa.

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein

RESUMO

O silício tem papel importante nas relações planta-ambiente, resultando em um possível aumento e a melhora nas condições fisiológicas da planta. Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação, utilizando o delineamento experimental foi inteiramente casualizado. O 1º experimento, teve como objetivo, avaliar o algodoeiro herbáceo, por meio de análise fisiológica, bioquímica e da anatomia foliar, quanto a adubação silicatada, aplicação de cloreto de mepiquat e diminuição da disponibilidade hídrica. Foi utilizado o esquema fatorial 4x2x2, com 4 repetições, sendo os fatores: 4 doses de silicato de cálcio (0; 100; 200 e 400 g ha⁻¹), 2 sistemas de manejo da altura das plantas (com e sem o uso de cloreto de mepiquat), e 2 níveis de água no solo (capacidade de campo (CC) e 1/3 da capacidade de campo (1/3 CC)). A aplicação do silicato de cálcio e do cloreto de mepiquat foi realizado, aos 30, 45 e 60 dias após a emergência (DAE) da cultura. No 2º experimento, objetivou-se, estudar os efeitos do silicato de cálcio no algodoeiro herbáceo em diferentes regimes hídricos, em esquema fatorial 4x4, com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos por 4 doses de silicato de cálcio (0; 100; 200 e 400 g ha⁻¹) e 4 níveis de água (25; 50; 75 e 100% da CC). No primeiro experimento a altura das plantas, diâmetro do caule, número de nós e número de ramos e estruturas reprodutivas aumentou com os níveis de água no solo. Os maiores níveis de fotossíntese líquida ocorreram com a dose de 200 g ha⁻¹ e 70% da CC. A massa seca de folhas, caule e raiz foi maior com aumento da capacidade de campo. O teor de Ca nas folhas aumentou com a disponibilidade de água. As doses de silicato de cálcio aumentaram os teores de Mg nas folhas e no caule. No segundo experimento o aumento nos níveis de água no solo contribuiu para aumento na altura das plantas, diâmetro do caule, no número de nós, ramos e de estruturas reprodutivas, e a massa seca total. O índice SPAD diminuiu com o aumento dos níveis de água, aos 65 DAE. A dose de 200 g ha⁻¹ com 70% da CC contribuiu para os maiores níveis de fotossíntese líquida. As doses de silicato de cálcio aumentaram os teores de Mg nas folhas e no caule.

Palavras-chave: Cotonicultura. Adubação silicatada. Cloreto de mepiquat. Condições hídricas.

ABSTRACT

Silicon plays an important role in plant-environment relationships, resulting in a possible increase and improvement in the plant's physiological conditions. Two experiments were carried out in a greenhouse, using a completely randomized design. The first experiment aimed to evaluate the herbaceous cotton, using physiological, biochemical and leaf anatomy analysis, regarding silicate fertilization, application of mepiquat chloride and reduction of water availability. The 4x2x2 factorial scheme was used, with 4 replications, the factors being: 4 doses of calcium silicate (0; 100; 200 and 400 g ha⁻¹), 2 plant height management systems (with and without the use of mepiquat chloride), and 2 water levels in the soil (field capacity (CC) and 1/3 of field capacity (1/3 CC)). Calcium silicate and mepiquat chloride were applied at 30, 45 and 60 days after crop emergence (DAE). In the 2nd experiment, the objective was to study the effects of calcium silicate on herbaceous cotton in different water regimes, in a 4x4 factorial scheme, with 4 repetitions. The treatments consisted of 4 doses of calcium silicate (0; 100; 200 and 400 g ha⁻¹) and 4 water levels (25; 50; 75 and 100% of WC). In the first experiment, plant height, stem diameter, the number of nodes and number of branches and reproductive structures increased with water levels in the soil. The highest levels of liquid photosynthesis occurred with a dose of 200 g ha⁻¹ and 70% of WC. The dry mass of leaves, stem, and root was higher with an increase in field capacity. The Ca content in the leaves increased with the availability of water. The doses of calcium silicate increased the levels of Mg in the leaves and stem. In the second experiment, the increase in water levels in the soil contributed to an increase in plant height, stem diameter, number of nodes, branches, and reproductive structures, and total dry mass. The SPAD index decreased with increasing water levels at 65 DAE. The dose of 200 g ha⁻¹ with 70% of CC contributed to the highest levels of liquid photosynthesis. The doses of calcium silicate increased the levels of Mg in the leaves and stem.

Keywords: Cotoniculture. Silicate fertilization. Mepiquat chloride. Water conditions.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas do solo utilizado no experimento, 0,0-0,20 m, proveniente da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Selvíria, MS.

2019.....**Erro!**

Indicador não definido. 32

Tabela 2. Altura (cm) de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019..... 38

Tabela 3. Desdobramento da interação cloreto de mepiquat x níveis de água do solo, referentes à altura do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *Latifolium* Hutch) aos 35, 50 e 65 dias após a emergência (DAE). Ilha Solteira, 2019..... 39

Tabela 4. Diâmetro caulinar (mm) de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019. 40

Tabela 5. Número de nós de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019..... 41

Tabela 6. Desdobramento da interação cloreto de mepiquat x condições hídricas, referentes à número de nós de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch) aos 35 dias após emergência (DAE). Ilha Solteira, 2019..... 42

Tabela 7. Número de ramos reprodutivos do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019. 43

Tabela 8. Desdobramento da interação cloreto de mepiquat x condições hídricas, referentes à número de ramos reprodutivos de algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) aos 35 dias após emergência (DAE). Ilha Solteira, 2019.	44
Tabela 9. Leitura SPAD de plantas do algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio, cloreto de mepiquat e disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.....	45
Tabela 10. Desdobramento da interação cloreto de mepiquat x condição hídrica, referentes ao índice SPAD de algodoeiro (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) aos 35, 50 dias após emergência (DAE). Ilha Solteira, 2019.....	46
Tabela 11. Desdobramento da interação cloreto de mepiquat X doses de silicato de cálcio, referentes ao índice SPAD de algodoeiro (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) aos 50 dias após emergência (DAE). Ilha Solteira, 2019.	46
Tabela 12. Valores médios da concentração interna de CO ₂ (C_i : $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$), transpiração (E : $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s : $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e fotossíntese líquida (A : $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em função das doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat, e disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.....	47
Tabela 13. Caracteres anatômicos da região internervural do limbo foliar de algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em função de doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.....	49
Tabela 14. Análise da prolina e atividade das enzimas antioxidantes: Peroxidase (POD), Catalase (CAT) e Superóxido Dismutase (SOD) de algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em função de doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.	52
Tabela 15. Desdobramento da interação condições hídricas x doses de silicato de cálcio, referentes a atividade das enzimas antioxidantes: Peroxidase (POD),	

Catalase (CAT) e Superóxido Dismutase (SOD) do algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.). Ilha Solteira, 2019.	53
Tabela 16. Desdobramento da interação cloreto de mepiquat x doses de silicato de cálcio, referentes a atividade da enzima peroxidase (POD) no algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.). Ilha Solteira, 2019 ..	54
Tabela 17. Desdobramento da interação condições hídricas x cloreto de mepiquat x doses de silicato de cálcio, referente a atividade da enzima peroxidase (POD) no algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.). Ilha Solteira, 2019.....	55
Tabela 18. Teores foliar de macronutrientes em folhas de algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em função de doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade de hídrica. Ilha Solteira, 2019.....	56
Tabela 19. Teores foliar de manganês (Mn), zinco (Z), cobre (Cu), ferro (Fe) e silício (Si) de algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em função de doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade de hídrica. Ilha Solteira, 2019.	58
Tabela 20. Características químicas do solo utilizado no experimento, 0,0-0,20 m, proveniente da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Selvíria, MS. 2020.	67
Tabela 21. Altura (cm) de plantas do algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.	70
Tabela 22. Diâmetro (mm) de plantas do algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.	71
Tabela 23. Número de nós de plantas do algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.	72

Tabela 24. Desdobramento da interação condições hídricas x doses de silicato de cálcio, referentes à número de nós de algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch) aos 65 dias após emergência (DAE). Ilha Solteira, 2020.	73
Tabela 25. Número de ramos de plantas do algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.	74
Tabela 26. Número de estruturas reprodutivas de plantas do algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.	75
Tabela 27. Desdobramento da interação cloreto de mepiquat x condições hídricas, referentes à número de nós de algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch) aos 35 dias após emergência (DAE). Ilha Solteira, 2020.	76
Tabela 28. Índice SPAD de plantas do algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.	77
Tabela 29. Valores médios da concentração interna de CO ₂ (Ci: $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$), transpiração (E: $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs: $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e fotossíntese líquida (A: $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em função das doses de silicato de cálcio e disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.	78
Tabela 30. Valores médios fotossíntese líquida (A: $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) do algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em função das doses de silicato de cálcio e disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.....	79
Tabela 31. Massa seca raiz (MSR), massa seca caule (MSC), massa seca folhas (MSF), massa seca parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) aos 90 dias após emergência (DAE) do algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i>), em função de doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.	80

Tabela 32. Desdobramento da interação condições hídricas x doses de silicato de cálcio, referente a massa seca folhas (MSF) do algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.). Ilha Solteira, 2020.	81
Tabela 33. Teores de macronutrientes em folhas de algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em função de doses de silicato de cálcio, e da disponibilidade de hídrica. Ilha Solteira, 2020.	82
Tabela 34. Teores de macronutrientes em caule de algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em função de doses de silicato de cálcio, e da disponibilidade de hídrica. Ilha Solteira, 2020.	83
Tabela 35. Teores de macronutrientes nas raízes de algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em função de doses de silicato de cálcio, e da disponibilidade de hídrica. Ilha Solteira, 2020.	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Microscopia eletrônica de varredura da região internervural do limbo foliar de algodoeiro herbáceo (<i>Gossypium hirsutum</i> L. v. <i>latifolium</i> Hutch.) em função de doses de silicato de cálcio ((A) 0, (B) 100, (C) 200, (D) 400 g ha ⁻¹).	50
---	----

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1 INTRODUÇÃO GERAL	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Algodão	17
2.2 Regulador de crescimento	19
2.3 Silício	20
2.3.1 Silício na planta.....	21
2.3.2 Silício e o estresse hídrico	22
3 REFERÊNCIAS	24

Capítulo 1: CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS E ANATÔMICAS DO ALGODOEIRO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SILICATO DE CÁLCIO E CLORETO DE MEPIQUAT EM DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS.....	29
--	-----------

RESUMO.....	29
ABSTRACT.....	30
1 INTRODUÇÃO	30
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.1 Descrição dos tratamentos	31
2.2 Variáveis analisadas	33
2.2.1 Características agronômicas.....	33
2.2.2. Medidas fotossintéticas	33
2.2.3 Teor nutricional.....	34
2.2.4 Caracteres anatômicos do limbo foliar	34
2.2.5 Avaliações bioquímicas	35
2.3 Análise dos dados	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
3.1 Altura de plantas.....	37
3.2 Diâmetro caulinar.....	39
3.3 Número de nós.....	40
3.4 Número de ramos reprodutivos.....	42
3.5 Índice SPAD	44
3.6 Trocas Gasosas	46
3.7 Caracteres do limbo foliar.....	48
3.8 Prolina e enzimas antioxidantes.....	51

3.10 Macronutrientes	55
3.11 Micronutrientes e Silício.....	57
4 CONCLUSÕES	58
5 REFERÊNCIAS	59

Capítulo 2: EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE SILICATO DE CÁLCIO NO ALGODOEIRO HERBÁCEO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS.....

RESUMO.....	64
ABSTRACT:.....	64
1 INTRODUÇÃO	65
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	66
2.1 Local do Experimento.....	66
2.2 Características do solo.....	66
2.3 Delineamento Experimental	67
2.4 Instalação e Condução do Experimento	67
2.5 Variáveis analisadas.....	67
2.5.1 Características agronômicas	67
2.5.2 Medidas fotossintéticas	68
2.5.3 Produção e partição de massa seca.....	68
2.5.4 Teor nutricional.....	69
2.6 Análise dos resultados.....	69
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
3.1 Altura de plantas.....	69
3.2 Diâmetro caulinar.....	70
3.3 Número de nós.....	71
3.4 Número de ramos reprodutivos.....	73
3.5 Número de estruturas reprodutivas	74
3.6 Índice SPAD	76
3.7 Trocas gasosas.....	77
3.8 Produção e partição de massa seca.....	79
3.9. Teor nutricional na raiz, caule e folha	81
4 CONCLUSÕES	85
5 REFERÊNCIAS	86

1 INTRODUÇÃO GERAL

O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch) é uma dicotiledônea de elevada importância econômica e social, sendo a espécie mais cultivada mundialmente, por apresentar grande capacidade adaptativa a diferentes ambientes (SALVATIERRA, 2008).

No Brasil, a cotonicultura é uma das mais importantes atividades agrícolas (CHITARRA, 2007). Concentrando-se, atualmente, a maior na região do cerrado (CONAB, 2019) embora Beltrão (2003) afirma que a cultura também é uma boa opção para o cultivo de sequeiro com o clima semiárido do Nordeste brasileiro.

Embora o algodoeiro apresente boa tolerância ao déficit hídrico, pode ocorrer perdas significativas na produtividade, quando o estresse hídrico ocorre na fase de floração e frutificação (NUNES FILHO *et al.*, 1998). Segundo Souza (1999), os componentes de crescimento e desenvolvimento da cultura do algodoeiro estão relacionados às condições da água disponível no solo e com o tipo de solo. Cordão Sobrinho *et al.* (2007) relataram em sua pesquisa com algodoeiro que a adequada disponibilidade hídrica concorre para o aumento de produtividade e obtenção de fibra de melhor qualidade. Por outro lado, o déficit hídrico diminui o diâmetro do caule, a altura de planta e, conseqüentemente, a produtividade.

A determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. Dessa forma a necessidade hídrica das culturas é um parâmetro de fundamental importância, porque condiciona as atividades fisiológicas e metabólicas das plantas (MENDONÇA *et al.*, 2003).

Outro importante fator da cultura do algodoeiro se refere a utilização de reguladores vegetais como estratégia agrônômica para a manipulação da arquitetura das plantas, que podem evitar a queda da produtividade (HODGES *et al.*, 1991). Barbosa e Castro (1984) relataram que a aplicação exógena de reguladores vegetais pode uniformizar as plantas, facilitando a colheita manual ou mecanizada.

No Brasil, encontram-se três produtos comerciais que são utilizados como reguladores de crescimento no algodoeiro, os quais têm como ingredientes ativos: cloreto de chlormequat, cloreto de clorocolina e cloreto de mepiquat. Estes produtos têm mecanismos e modo de ação semelhante (REDDY *et al.* 1995; MARUR, 1998), promovem a redução da produção natural de giberelina, modificando sua morfologia, obtendo plantas menores, pois afetam a formação de células e a alongação do

internódio abaixo do meristema. Assim, plantas curtas são obtidas com o desenvolvimento de flores normais.

Devido à grande importância dessa cultura no cenário mundial, torna-se evidente a busca por meios necessários à maximização do seu rendimento. Na atualidade, inúmeras pesquisas relatam os efeitos benéficos do silício em algumas culturas de importância econômica, a exemplo da cultura do arroz, cana-de-açúcar, dentre outras. Segundo Epstein e Bloom (2004), cientistas japoneses têm demonstrado os efeitos benéficos da fertilização de arroz com silício para o aumento da resistência a doenças e a toxicidade por metal e outras. De acordo com Lima Filho (2010), o silício tem papel importante nas relações planta-ambiente, pois pode dar às culturas melhores condições para suportarem adversidades climáticas, edáficas e biológicas, tendo como resultado final o aumento e a melhor qualidade da produção.

Dada a importância do uso de reguladores de crescimento no algodoeiro e que no Brasil esta cultura é cultivada principalmente em regiões de Cerrado, onde normalmente há períodos de seca devido à escassez de água, podendo até desencadear o déficit hídrico, a aplicação de silício pode ser uma forma de minimizar os possíveis estresses bióticos e abióticos que a planta pode sofrer. Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar análise fisiológica, bioquímica e anatômica foliar no algodoeiro herbáceo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Algodão

O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *Latifolium* Hutch.) é uma malvácea originária do México e da América Central (CARVALHO *et al.* 2000) que se destaca dentre as dez principais culturas mundialmente domesticadas pelo homem. É plantado economicamente em mais de 60 países e outros 150 produzem ou consomem algodão em pluma.

É uma planta de origem tropical e subtropical, necessitando de dias ensolarados com nebulosidade abaixo de 30% para apresentar elevadas produtividades e uma fibra de alta qualidade. A temperatura média deve estar acima de 20°C, umidade relativa do ar em torno de 60%, inexistência de inversão térmica e de precipitação pluvial entre 500 a 1800 mm, sendo que as precipitações devem ser

maiores nos períodos de floração, crescimento e desenvolvimento dos frutos, pois a energia solar é um dos componentes para abertura do fruto (BELTRÃO *et al.* 1999).

Trata-se de uma planta ereta, anual ou perene, dotada de raiz principal cônica, pivotante, profunda, e com pequeno número de raízes secundárias grossas e superficiais. O caule herbáceo ou lenhoso tem altura variável sendo dotado de ramos vegetativos e ramos frutíferos. As folhas são pecioladas, geralmente cordiformes, de consistência coriácea ou não é inteira ou recortada. As flores são hermafroditas, axilares, isoladas ou não, cor creme nas recém-abertas (que passa à rósea e purpúrea) com ou sem mancha purpúrea na base interna (SEAGRI, 2006).

O algodoeiro apresenta metabolismo fotossintético C3 e hábito de crescimento indeterminado, tornando-o morfológicamente complexo. Durante boa parte do ciclo da planta, há diversos eventos ocorrendo simultaneamente, como crescimento vegetativo, aparecimento de gemas reprodutivas, florescimento, crescimento e maturação de frutos (BELTRÃO *et al.* 2008). Cada um destes eventos é importante para a produção final, mas é necessário que eles ocorram de modo balanceado. Entender os principais eventos fisiológicos que ocorrem durante cada estágio de crescimento é importante para o manejo adequado da cultura (ROSOLEM, 2001).

O principal item na produção do algodoeiro é o fruto e sua massa é composta pelas sementes (52%), fibras (40%) e demais estruturas botânicas (8%). As sementes contêm aproximadamente 15% de óleo, 3% de fibras, 40% de proteínas e 42% de tegumentos. As fibras, estruturas compostas por camadas de celulose, são o principal produto econômico do algodoeiro (BELTRÃO *et al.* 1999).

Diversos fatores ambientais influenciam a quantidade e a qualidade da fibra produzida. As condições possíveis de manipulação como correções químicas e físicas do solo, irrigações, época de semeadura e emprego de reguladores, são ferramentas que oferecem suporte para a obtenção de boas produções, mas nem sempre são suficientes para garantir o objetivo almejado (ZANON, 2002).

Na cultura do algodoeiro, plantas grandes não significam produtividade e qualidade, por isso, a aplicação de reguladores de crescimento em alguns casos é indispensável (LAMAS, 2001).

2.2 Regulador de crescimento

O cloreto de mepiquat é um produto sistêmico, que é absorvido principalmente pelas partes verdes da planta que pode ser incluído no grupo de inibidores da biossíntese do ácido giberélico, sendo, portanto, um inibidor do alongamento celular (REDDY *et al.* 1995). Reddy *et al.* (1992) ao avaliarem o efeito do cloreto de mepiquat na fotossíntese e crescimento de plantas de algodão, verificaram que o regulador é um produto sistêmico que entra na planta através das folhas, e que é translocado de forma ascendente e descendente através do xilema e floema e distribuído uniformemente por todas as partes da planta.

A utilização de reguladores de crescimento em genótipos de algodoeiro altera o balanço fonte-dreno, favorecendo os ramos reprodutivos. As plantas tornam-se mais compactas em função das alterações em sua arquitetura, permitindo o aumento da população e a maior eficiência na aplicação de inseticidas e da penetração da luz, contribuindo para a abertura mais rápida e uniforme dos frutos (REDDY *et al.* 1990).

A redução do alongamento das células após a aplicação do cloreto de mepiquat também pode resultar na redução de ramos vegetativos e produtivos, bem como na diminuição da área foliar. Muitas vezes, a taxa fotossintética é diminuída nos tratamentos submetidos ao cloreto de mepiquat, pois ocorre redução na atividade da Ribulose 1,5 difosfato carboxilase. A relação entre a utilização de cloreto de mepiquat e o acúmulo de carboxilases nas folhas de plantas de algodão é complexa (REDDY *et al.* 1996).

Os benefícios potenciais do cloreto de mepiquat são: redução do crescimento das plantas, melhoria de arquitetura, aumento da retenção de frutos nas primeiras posições dos ramos frutíferos, incrementando na precocidade de abertura dos frutos, melhoria da eficiência na colheita e na qualidade do produto colhido (KERBY *et al.* 1986; MCCONELL *et al.* 1992; COTHREN; OOSTERHUIS, 1993; THONSON, 1995).

As modificações provocadas pelo cloreto de mepiquat nas plantas alteram alguns processos vitais nas mesmas. Estudando o efeito do cloreto de mepiquat na economia de carbono e água, Fernandez *et al.* (1991), concluíram que as plantas tratadas com o produto conservaram mais água, em função da redução da expansão da área foliar. Os autores verificaram também que as plantas tratadas, quando em

condição de estresse hídrico, não tiveram a eficiência de redução do carbono afetada.

Stuart *et al.* (1984) estudando as modificações que o cloreto de mepiquat provoca nas plantas, utilizando 50 g ha⁻¹, aplicado no surgimento das primeiras flores, observaram aumento no potencial de água das folhas, da pressão de turgor e redução do tamanho das folhas. Com relação à produção de fibras, não houve efeito significativo. Não foi observada redução no número de capulhos por planta, embora a redução na altura das plantas tenha sido significativa. Segundo os autores, a aplicação de cloreto de mepiquat alterou a relação entre quantidade de CO₂ assimilado e a quantidade de água transpirada, o que contribuiu para aumentar a eficiência fotossintética do algodoeiro.

2.3 Silício

Mais de 60 elementos podem ser encontrados nas plantas e são classificados nas categorias de essenciais, benéficos ou tóxicos, conforme o efeito que causam no desenvolvimento do vegetal (KORNDÖRFER *et al.*, 2001). O silício (Si) é encontrado na natureza na forma de silicatos e, principalmente de sílica. É um elemento extremamente abundante na crosta terrestre (LIMA FILHO, 2010). Apesar disso, mesmo sabendo que a maioria dos solos contém consideráveis quantidades de Si, cultivos intensivos podem reduzir rapidamente o teor deste elemento no solo (KORNDÖRFER, 2006).

O Si não é considerado um elemento essencial para o desenvolvimento pleno de todos os vegetais, o que se justifica pelo não atendimento de todos os critérios de essencialidade desse elemento (GIONGO; BOHNEN, 2011). O Si é considerado apenas como um elemento benéfico, por induzir efeitos positivos, principalmente, quando a planta se encontra sob situação de estresse (KORNDÖRFER *et al.* 2001).

Os primeiros experimentos realizados utilizando-se o Si, ocorreram por volta de 1840, denotando resultados satisfatórios nas culturas de arroz, milho, trigo, cevada e cana-de-açúcar. Esse elemento já é utilizado na agricultura como fertilizante em diversos países, como o Japão, EUA, Austrália e África do Sul.

Para o uso de Si na agricultura, diversos materiais têm sido empregados como fonte deste elemento, dentre os quais se destacam as escórias de siderurgia, a wollastonita, subprodutos da produção de fósforo elementar, o silicato de cálcio, o

silicato de sódio, o cimento, o termofosfato, o silicato de magnésio (serpentinó) e o silicato de potássio (KORNDÖRFER; OLIVEIRA, 2010).

No solo, o Si pode aparecer na fase sólida (formas amorfas e formas cristalinas) e na fase líquida (ácido monossilícico, ácido polissilícico, complexos com compostos orgânicos, compostos organossilícicos) e quanto maior o teor de argila na sua composição, maior o teor de Si disponível (KORNDÖRFER, 2007). Alguns solos, a exemplo dos tropicais e subtropicais, sujeitos a intemperização e lixiviação, com cultivos sucessivos, tendem a apresentar baixo nível de Si trocável. É importante ressaltar que, solos arenosos são pobres em Si assimilável pelas plantas, pois são constituídos majoritariamente por quartzo (LIMA FILHO *et al.* 2005).

2.3.1 Silício na planta

O Si é considerado um elemento agronomicamente benéfico para muitas monocotiledôneas tais como arroz, cana-de-açúcar, cereais de inverno e para algumas dicotiledôneas (RODRIGUES, 2010). É na cultura do arroz que o silício é mais estudado, onde se percebe com maior facilidade a importância deste elemento na redução da intensidade de várias doenças (RODRIGUES *et al.* 2011).

O Si é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), disponível na solução do solo, e, através de transportadores, se acumula principalmente na parte aérea, junto à cutícula, como ácido silícico polimerizado (KORNDÖRFER, 2007), que é depositado como sílica amorfa hidratada, principalmente no retículo endoplasmático, em espaços intercelulares e paredes celulares (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A deposição de sílica na parede das células torna a planta mais resistente à ação de fungos e insetos. Isso ocorre pela associação da sílica com constituintes da parede celular, tornando-as menos acessíveis às enzimas de degradação (resistência mecânica) dos invasores. Além desses efeitos sobre pragas, a deposição de sílica na parede das células ameniza os efeitos da transpiração, e confere maior eficiência fotossintética às plantas (KORNDÖRFER, 2007). O Si pode também, amenizar a toxicidade de vários metais pesados (TAIZ; ZEIGER, 2004).

De acordo com Oliveira *et al.* (2010), a absorção de Si está relacionada a alguma forma de defesa, seja contra estresse biótico ou abiótico; assim as plantas absorvem mais esse elemento em condições de estresse, possibilitando maior

resistência. Segundo Lima Filho (2010), o Si deve ser aplicado nas plantas antes da ocorrência de estresses.

Moraes *et al.* (2010), sugerem que o mecanismo de ação do Si envolvido na interação planta e inseto-praga estão relacionados com a formação de uma barreira física e/ou a produção de compostos secundários – defesa química. Além disso, as linhas de defesa podem ocorrer devido ao tratamento das plantas com alguma fonte de silício, denominada de resistência constitutiva, ou induzida pelas injúrias dos insetos.

De acordo com Lima Filho (2005), há uma lista incompleta e extensa com os processos estruturais e características das plantas que podem ser influenciadas pelo silício tais como: aumento da resistência das plantas a pragas e doenças; diminuição da toxidez do solo; diminuição da transpiração excessiva, aumentando a resistência a veranicos; aumento da proteção contra temperaturas extremas e ao estresse salino; promoção da lignificação das folhas favorecendo a fotossíntese, dentre outros

Ainda não se constatou efeito tóxico do Si para as plantas, não havendo limites para a aplicação deste insumo. O limite acontece, considerando o efeito corretivo dos silicatos, quando a dose de silicatos provocar aumento de pH e de saturação por bases acima dos valores desejados. Neste caso, pode acontecer desequilíbrio nutricional, principalmente, de micronutrientes (cobre, ferro, zinco e manganês) e de fósforo, devido aos processos de insolubilização destes (KORNDÖFER *et al.* 2002).

2.3.2 Silício e o estresse hídrico

Para um determinado fator estressante, cada planta tem um limite de tolerância, a partir do qual as alterações são intensivamente mais profundas e permanentes. Além de variar entre espécies o seu efeito pode variar entre genótipos de uma mesma espécie e entre fases fenológicas de um mesmo genótipo (SAMALLWOOD, 1999).

A tolerância das plantas a condições de estresse, principalmente em relação ao déficit hídrico, tem sido associada ao acúmulo de enzimas na parte aérea, atuando como um regulador de mudanças fisiológicas na plantas, a partir da diminuição do potencial hídrico celular, levando, conseqüentemente, ao fechamento dos estômatos e ao desenvolvimento de processos oxidativos, por meio da formação

das espécies reativas de oxigênio (EROs) removidas do sistema por enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POD) (MENEGALE, 2012).

O termo estresse oxidativo refere-se a uma situação de sérios desequilíbrios entre a produção de EROs e as defesas antioxidantes. Em princípio, o estresse oxidativo pode resultar da diminuição de antioxidantes, ou então da diminuição de EROs. Normalmente as células toleram o estresse oxidativo brando, o qual frequentemente resulta na modificação da regulação do sistema de defesa antioxidante na tentativa de restaurar o balanço oxidante e antioxidante (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1999). No geral, o estresse oxidativo implica em um conjunto de eventos prejudiciais à planta, onde as EROs desencadeiam reações a partir de radicais livres que, de maneira indiscriminada, atingem qualquer tipo de macromolécula alterando a funcionalidade das mesmas.

Alternativas são empregadas na agricultura para contornar problemas de longos períodos de estiagem, pelas perdas causadas com o déficit hídrico. O melhoramento genético, escórias siderúrgicas como alternativas utilizadas na agricultura para contornar os estresses ambientais (SOBRAL *et al.*, 2012; NASCIMENTO, 2013).

O Si pode atuar na redução dos estresses abióticos causados por seca, salinidade e metais pesados, porém, os mecanismos de envolvidos ainda são poucos compreendidos, sendo variável para cada espécie. Aumentos da tolerância ao estresse hídrico pela ação do Si foram verificadas em arroz (MAUAD, 2006), sorgo (HATTORI *et al.* 2005), trigo (GONG *et al.* 2005), batata (CRUSCIOL *et al.* 2013; PILON, 2011) e cana de açúcar (BEZERRA, 2015).

Em plantas de sorgo, Hattori *et al.* (2005) observaram que as plantas de sob estresse hídrico com Si apresentaram maior taxa fotossíntese, comparadas as plantas sem Si sob condições de seca. Berreza (2015), relatou os benefícios potenciais do Si no favorecimento do desenvolvimento morfológico da cana-de-açúcar, conferindo maior número de folhas totais e comprimento de plantas na fase de máximo desenvolvimento, sob estresse hídrico.

Em trigo, Gong *et al.* (2005) mostraram o efeito do Si no potencial hídrico das plantas, que tende a ser cada vez mais negativo com a seca, e no teor relativo de água. Embora os potenciais hídricos dos tratamentos com déficit hídrico na presença e na ausência de Si, tenham sido maiores que o tratamento com irrigação,

eles foram diferentes entre si, sendo que o tratamento déficit hídrico com aplicação de Si apresentou valor menor que o tratamento déficit hídrico sem aplicação de Si. Em consequência, não houve diferença entre o teor de água nas folhas dos tratamentos com irrigação e déficit hídrico com Si, e o tratamento déficit hídrico sem Si apresentou menor teor de água.

Assim, a atenuação dos danos de déficit hídrico pela adubação silicatada está ligada ao ajustamento do potencial hídrico, com aumento do teor relativo de água nas folhas, aumento da fotossíntese, além de incremento da produção e da ativação da defesa antioxidante (AHMED *et al.* 2011). A absorção de Si também é útil para reduzir o estresse causado pela falta de água, pois ele pode evitar a compressão dos vasos quando há altas taxas de transpiração pelas plantas.

3 REFERÊNCIAS

- AHMED, M.; HASSEN, F.; KHURSHID, Y. Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n. 12, p. 1808-1812, 2011.
- BARBOSA, L. M.; CASTRO, P. R. C. Alguns efeitos de reguladores de crescimento na morfologia do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. cv. IAC – 17). **Hoehnea**, São Paulo v. 11, p. 59-65, 1984.
- BELTRÃO, N. E de M.; SOUZA, J. G. de; GUERRA, J. S.; TAKIZAWA, E. Manejo cultural do algodoeiro herbáceo na região do cerrado. In: FARIAS, F. J. C.; AGUIAR, P. H.; FREIRE, E. C.; HIROMOTO, D. M. (ed.) **Mato Grosso: liderança e competitividade**. Rondonópolis: Fundação MT, 1999. p. 70-86. (Boletim, 3).
- BELTRÃO, N. E. M. **Breve história do algodão no Nordeste do Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. 17p. (Documentos, 117).
- BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S.; ALBUQUERQUE, W. G. Ecofisiologia do algodoeiro. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (ed.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. 2. ed. v. 1. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 61-110.
- BEZERRA, B. K. L. **Adubação com silício e tolerância ao déficit hídrico em cana-de-açúcar**. 2015. 74 f. Dissertação (mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/126456/000845209.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 mar. 2020.
- CARVALHO, L. P.; COSTA, J. N.; FREIRE, E. C.; FARIAS, F. J. C. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de algodoeiro originários de materiais silvestres. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 271, p. 303-310, 2000.

CHITARRA, L. G. **Identificação e controle das principais doenças do algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 65 p. (Cartilha, 2).

CONSELHO NACIONAL DO ABASTECIMENTO - CONAB. **Levantamento mensal safra brasileira: algodão**. Junho/julho de 2019 1. n. 61, 2019.

CORDÃO SOBRINHO, F. P.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. M.; SOARES, F. A. L.; TERCEIRO NETO, C. P. C. Crescimento e rendimento do algodoeiro BRS – 200 com aplicações de cloreto de mepiquat e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 284-292, 2007.

COTHREN, J. T.; OOSTERHUIS, D. M. Physiological impact of plant growth regulators in cotton. In: BELTWISE COTTON PRODUCTION RESEARCH CONFERENCES, 1993, Dallas. **Proceedings** [...]. Memphis: National Cotton Council, 1993. p.128-132.

CRUSCIOL, C. C. C.; SORATTO, R. P.; CASTRO, G. S. A.; COSTA, C. H. M.; NETO, J. F. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, p. 404-410, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rca/v44n2/v44n2a25.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2020.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: EDUSP, 2004.

FERNANDEZ, C. J.; COTHREN, J. T.; McINNIS, K. J. Partitioning of biomass in well-watered and water-stressed cotton plants treated with mepiquat chloride. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 5, p. 1224-1228, 1991.

GIONGO, V.; BOHNEN, H. Relação entre alumínio e silício em genótipos de milho resistente e sensível a toxidez de alumínio. **Bioscience Journal**, Darmstadt, v. 27, p. 348-356, 2011.

GONG, H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, Shannon, v. 169, p. 313-321, 2005.

HALLIWEL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free radicals in biology and medicine**. New York: Oxford University Press, 1999. 936 p.

HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; NA, P.; MORITA, S.; LUXOVÁ, M.; LUX, A. Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 123, p. 459-466, 2005.

HODGES, H. F.; REDDY, V. R.; REDDY, K. R. Mepiquat chloride and temperature effects on photosynthesis and respiration of fruiting cotton. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 5, p. 1302-1308, 1991.

KERBY, T. A.; HAKE, K.; KEELEY, M. Cotton fruiting modification with mepiquat chloride. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 5, p. 907-912, 1986.

KORNDÖRFER, C. M.; ABDALLA, A. L.; BUENO, I. C. S. O silício e as gramíneas no cerrado. **Veterinária Notícias**, v. 7, n. 2, 20 p., 2001.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANES, M. S. (ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 355-374.

KORNDÖRFER, G. H. Uso de silício na agricultura. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 117. p. 9- 11, 2007.

KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. Uso de Silício em culturas Comerciais. In: ANAIS DO SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA: silício na agricultura, 5., 2010, Viçosa, MG. **Anais [...]**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2010. p. 03-26.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. GPSi-ICIAGU-UFU, 2002. 23 p. (Boletim técnico, 1).

LAMAS, F. M. Estudo comparativo entre cloreto de mepiquat e cloreto de chlormequat aplicados em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 2, p. 265-272, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v36n2/a08v36n2.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2020.

LIMA FILHO, O. F. Aspectos gerais sobre o silício em solos, plantas e animais. In: ANAIS DO SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA: silício na agricultura, 5., 2010, Viçosa, MG. **Anais [...]**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2010. p. 47-60.

LIMA FILHO, O. F. de L. **Silício: produtividade com qualidade na lavoura**. 2005.
MARUR, C. J. Fotossíntese e translocação de carboidratos em algodoeiros submetidos a déficit hídrico após aplicação de cloreto de mepiquat. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, Brasília, DF, v. 10, n. 1, p. 59-64, 1998.

MAUAD, M. **Desenvolvimento e marcha de absorção de silício em plantas de arroz sob condições de déficit hídrico e adubação silicatada**. 2006. 107 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

McCONNEL, J. S.; BAKER, W. H.; FRIZZELL, B. S.; VARVIL, J. J. Response of cotton to nitrogen fertilization and early multiple applications of mepiquat chloride. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 15, n. 4, p. 457-468, 1992.

MENDONÇA, J. C.; SOUZA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

MENEGALE, M. L. C. **Resposta de plantas de cobertura a doses de silício e estresse hídrico**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/86417/menegale_mlc_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 13 mar. 2020.

MORAES, J. C.; VILELA, M.; NASCIMENTO, A. M. Silício na Interação Planta-Inseto Praga. *In: ANAIS DO SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA: silício na agricultura*, 5., 2010, Viçosa, MG. **Anais [...]**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2010. p. 279-295.

NASCIMENTO, A. F. **Silicato de cálcio como indutor de tolerância ao déficit hídrico em plantas**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus 2013. Disponível em: http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/5195/1/tese_6299_27%20-%20Alex%20-%20Disserta%20a7%20a3o%20Final%20-%20corrigida20150904-133403.pdf. Acesso em: 13 mar. 2020.

NUNES FILHO, J.; SÁ, V. A. L.; JÚNIOR, I. S. O.; COUTINHO, J. L. B.; SANTOS, V. F. Efeito de lâminas de irrigação sobre o rendimento e qualidade da fibra de cultivares de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 295-299, 1998.

OLIVEIRA, L. A.; ABREU JÚNIOR, C. H.; CARNEIRO, J. M. T.; BENDASSOLLI, J. A. Mecanismos de Absorção do silício pelas Plantas. *In: ANAIS DO SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA: silício na agricultura*, 5., 2010, Viçosa, MG. **Anais [...]**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2010. p. 61-88.

PILON, C. **Aplicação de silício solúvel via solo e foliar na cultura da batata (*Solanum tuberosum*) sob deficiência hídrica**. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

REDDY, A. R.; REDDY K. R.; HODGES, H. F. Mepiquat chloride (PIX) induced changes in photosynthesis and growth of cotton. **Plant Growth Regulation**, New York, v. 20, p. 179-183, 1996.

REDDY, K. R.; BOONE, M. L.; REDDY, A. R.; HODGES, H. F.; TURNER, S. B.; McKINION, J. M. Developing and validating a model for plant growth regulator. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 6, p. 1100-1105, 1995.

REDDY, V. R.; BAKER, D. N.; HODGES, H. F. Temperature and mepiquat chloride on cotton canopy architecture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, n. 2, p. 190-195, 1990.

REDDY, V. R.; TRENT, A.; ACOCK, B. Mepiquat chloride and irrigation versus cotton growth and development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 6, p. 930-933, 1992.

RODRIGUES, F. A. **Silício na agricultura**. Viçosa, MG: UFV, 2010.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 134, p. 14-20, 2011.

ROSOLEM, C. A. **Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 147-160. (Boletim, 4).

SALVATIERRA, D. K. **Ocorrência da Ramulose (*Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides* Costa) sob semeadura convencional e direta relacionada ao microclima, crescimento e desenvolvimento da cultura do algodoeiro**. 2008. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-17072008-143547/publico/daniela.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2020.

SAMALLWOOD, M. F.; CALVERT, C. M.; BOWLES, D. J. **Plant responses to environmental stress**. New York: Bios Scientific Publishers Limited, 1999. 224 p.

SEAGRI -Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária do Estado da Bahia. **Cultura – algodão**. 2006.

SOBRAL, M. F.; NASCIMENTO, C. W. A.; CUNHA, K. P. V.; FERREIRA, H. A.; SILVA, F. B. V. Escória siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 867-872, 2012.

SOUZA, C. C. **Avaliação de métodos de determinação de água disponível em diferentes solos na cultura do algodoeiro herbáceo**. Areia: CCA/UFPB, 1999. 84 p.

STUART, B. L.; ISBELL, V. R.; WENDT, C. W.; ABERNATHY, J. R. Modification of cotton relations and growth with mepiquat chloride. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, n. 4, p. 651-655, 1984.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

THONSON, W. T. **Agricultura chemical**: miscellaneans agricultural chemical. Fresno: Thonson Publications, 1995. p. 102-103.

ZANON, G. D. **Manejo de cultivares de algodoeiro em densidade populacional variável com o uso de regulador de crescimento**. 2002. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-08012003-091325/publico/graciela.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2020.

Capítulo 1: CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS E ANATÔMICAS DO ALGODOEIRO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SILICATO DE CÁLCIO E CLORETO DE MEPIQUAT EM DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS.

RESUMO: Devido à grande importância do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) no cenário mundial, torna-se evidente a busca por meios necessários à maximização do seu rendimento. O uso da adubação silicatada pode dar às culturas melhores condições para suportarem adversidades edafoclimáticas e biológicas, tendo como resultado final o aumento e a melhor qualidade da produção. Objetivou-se, com este trabalho, estudar a resposta do algodoeiro herbáceo, à dose de silicato de cálcio com e sem o uso de cloreto de mepiquat e disponibilidade hídrica, através da análise fisiológica, bioquímica e da anatomia foliar. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 4x2x2, com 4 repetições. Os fatores estudados foram: 4 doses de Silicato de Cálcio (0; 100; 200 e 400 g ha⁻¹), 2 sistema de manejo da altura das plantas (com e sem o uso de cloreto de mepiquat), e 2 níveis de água no solo (capacidade de campo (CC) e 1/3 da capacidade de campo (1/3 CC)). Foram avaliados: Altura das plantas, diâmetro do caule, número de nós, número de ramos reprodutivos, índice SPAD, trocas gasosas e caracteres anatômicos do limbo foliar. Os tratamentos na CC permitiram maiores alturas, diâmetro do caule, número de nós e de ramos reprodutivos na planta de algodão. Aplicação do regulador de crescimento aumentou a taxa de fotossíntese líquida, transpiração e a condutância estomática. O silicato de cálcio acumulou na epiderme abaxial das folhas tornando-as mais espessas.

Palavras chaves: *Gossypium hirsutum*. Adubação silicatada. Estresse hídrico. Regulador de crescimento.

PHYSIOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND ANATOMIC CHARACTERISTICS OF COTTON IN FUNCTION OF THE APPLICATION OF CALCIUM SILICATE AND MEPIQUAT CHLORIDE IN DIFFERENT WATER CONDITIONS.

ABSTRACT: Due to the great importance of the herbaceous cotton (*Gossypium hirsutum* L. v. *Latifolium* Hutch.) On the world stage, the search for the necessary means to maximize its yield is evident. The use of silicate fertilizer can give the crops better conditions to withstand edaphoclimatic and biological adversities, resulting in an increase and better quality of production. The objective of this work was to study the response of herbaceous cotton grown in a greenhouse, to the dose of calcium silicate with and without the use of mepiquat chloride and water availability, through physiological, biochemical and leaf anatomy analysis. The experiment was carried out in a greenhouse. The experimental design was completely randomized, in a 4x2x2 factorial scheme, with 4 replications. The factors studied were: 4 doses of Calcium Silicate (0; 100; 200 and 400 g ha⁻¹), 2 plant height management system (with and without the use of mepiquat chloride), and 2 levels of water on the ground (field capacity (DC) and 1/3 of field capacity (1/3 CC)). The following were evaluated: plant height, stem diameter, number of nodes, number of reproductive branches, SPAD index, gas exchange and anatomical characters of the leaf blade. The treatments in WC allowed greater heights, stem diameter, number of nodes and reproductive branches in the cotton plant. Growth regulator application increased the rate of liquid photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance. Calcium silicate accumulated in the leaves' abaxial epidermis, making them thicker.

Keywords: *Gossypium hirsutum*. Silicon. Water stress. Growth regulator.

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) é considerado como uma das plantas de mais completo aproveitamento, pois produz uma das mais importantes fibras têxteis do mundo, e oferece variados produtos de utilidade com grande importância para o agronegócio brasileiro (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

O Brasil apresenta uma área de aproximadamente 1,6 milhões hectares cultivados com algodoeiro, com uma produção estimada em 2,66 milhões de toneladas de pluma na safra 2018/19. Isso representa um aumento de 32,6% em relação ao produzido na safra anterior, que foi de 2,05 milhões de toneladas (CONAB, 2019). A maior parte da produção brasileira está localizada na região do

Cerrado, onde apresenta boas condições climáticas favoráveis para a cultura, porém é comum nessas regiões períodos de déficit hídrico.

Devido à grande importância dessa cultura no cenário mundial, torna-se evidente a busca por meios necessários à maximização do seu rendimento. Dentre as técnicas culturais, a aplicação de reguladores de crescimento tem destaque devido à possibilidade de controle do crescimento das plantas em solos de fertilidade variáveis, visando melhorar as condições de cultivo, facilitar a utilização de defensivos agrícolas e a mecanização da colheita (FURLANI JUNIOR *et al.*, 2003).

Na atualidade, inúmeras pesquisas relatam os efeitos benéficos do silício (Si) em algumas culturas de importância econômica. De acordo com Lima Filho (2010), o Si tem papel importante nas relações planta-ambiente, pois pode dar às culturas melhores condições para suportarem adversidades climáticas, edáficas e biológicas, tendo como resultado final o aumento e a melhor qualidade da produção.

Dentre os benefícios proporcionados pelo Si, pode-se destacar ainda, o aumento da resistência da parede celular e regulação da evapotranspiração, aumento da taxa fotossintética, além de melhorar a arquitetura foliar (GOUSSAIN *et al.*, 2002; BASAGLI *et al.*, 2003).

A utilização de Si sob aplicação foliar pode constituir uma alternativa viável para minimizar o efeito danoso dos estresses bióticos e abióticos para as culturas (LIMA *et al.*, 2011). Isso porque o elemento, pode otimizar alguns processos morfofisiológicos e bioquímicos desejáveis por aumentar de forma significativa o rendimento de algumas espécies cultivadas, notadamente, pelo acúmulo e polimerização de silicatos nas células epidérmicas formando uma dupla camada silício-cutícula que reduz de forma substancial a transpiração, convergindo para o menor consumo hídrico (PEIXOTO *et al.*, 2011).

O objetivo do trabalho foi avaliar o algodoeiro herbáceo por meio de análise fisiológica, bioquímica e anatomia foliar em função da aplicação de silicato de cálcio e cloreto de mepiquat sob diferentes condições hídricas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição dos tratamentos

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação tipo Pad e Fan, com temperatura máxima de 30°C, na Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha

Solteira - SP. As coordenadas geográficas são de 20°43'09" de latitude sul e 51°33'79" de longitude oeste, com altitude em torno de 335 metros, no período de dezembro de 2018 a março de 2019.

O solo utilizado para instalação do experimento foi o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, proveniente da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, localizada no município de Selvíria - MS. Esse solo foi seco ao ar e peneirado em malha de 4 mm. Depois de homogeneizado, separou-se uma amostra do mesmo para análises químicas no Laboratório de Solos da UNESP de Ilha Solteira – SP (Tabela 1). O solo foi corrigido e adubado de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do algodoeiro.

Tabela 1. Características químicas do solo utilizado no experimento, 0,0-0,20 m, proveniente da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Selvíria, MS. 2019

P resina	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
mg/dm ³	g/dm ³	(CaCl ₂)				mmolc/dm ³			(%)
2	17	5,1	0,7	9	8	16	0	33,7	53

Fonte: próprio autor.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, no esquema fatorial 4 x 2 x 2, totalizando 16 tratamentos com 4 repetições. Os fatores estudados foram: 4 doses de Silicato de Cálcio (0; 100; 200 e 400 g ha⁻¹), 2 sistemas de manejo da altura das plantas (com e sem o uso de regulador de crescimento), e 2 níveis de água no solo (capacidade de campo (CC) e 1/3 da capacidade de campo (1/3 CC)).

Foram utilizados vasos de 15 litros que foram preenchidos igualmente com 1 kg de brita nº2 (para drenagem) e 14 kg de solo, devidamente pesados, em seguida sobrepostos em bancada e posteriormente foram saturados com água, cobertos com sacos de polietileno, para evitar a evaporação e deixados em repouso, por um período não inferior a 20 horas, até a estabilização mais aproximada à CC. Todos os vasos foram submetidos a leitura da umidade de solo, sendo utilizado o tensiômetro, que indica a tensão, em tempo real, em que a água se encontra retida no solo, e portanto, direcionando o correto manejo da irrigação, determinando assim a quantidade de água a ser colocada em cada vaso.

A semeadura foi realizada no dia 29 de dezembro de 2018, utilizando sementes do genótipo TMG 81 WS, que foram semeadas a uma profundidade de 2

cm utilizou-se 4 sementes por vaso. O primeiro desbaste foi realizado aos 15 dias após a emergência (DAE), deixando duas plantas por vasos. Aos 25 DAE foi realizado o segundo desbaste ficando uma planta por vaso, totalizando 64 plantas.

O Si foi aplicado nas plantas utilizando-se como fonte o Silicato de Cálcio, contendo (75 - 90% de SiO_2 e 10 - 25% de CaO), sendo aplicado com um borrifador spray, via foliar nas plantas e parcelado igualmente em três aplicações que ocorrem aos 30, 45 e 60 DAE. O regulador de crescimento utilizado foi o cloreto de mepiquat, parcelado em 3 aplicações (10, 20 e 30% da 120 mL) sempre logo após aplicação de silicato de cálcio.

2.2 Variáveis analisadas

2.2.1 Características agrônômicas

Foram avaliadas em todas as plantas aos 35, 50 e 65 DAE:

Altura da planta (cm): medição feita do solo ao ápice da planta com o auxílio de uma trena.

Diâmetro do caule (mm): medido na altura de 2 cm em relação ao solo, realizado com o auxílio de um paquímetro.

Número de nós: contagem do número total de nós do caule a cada medição da altura do algodoeiro.

Número de ramos reprodutivos: Realizado por contagem a cada medição da altura do algodoeiro.

Índice SPAD: as leituras foram efetuadas com o medidor portátil SPAD-502, desenvolvido pela Minolta (1989).

2.2.2. Medidas fotossintéticas

A concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e, a Taxa fotossintética líquida expressa por área (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), foram avaliadas utilizando-se um equipamento portátil de trocas gasosas (Infra Red Gas Analyser – IRGA, marca ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro), sendo as condições inicialmente impostas para realização das medidas de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), providas por lâmpadas LED; 380 ppm de CO_2 e temperatura da câmara em 28°C . As medições de trocas gasosas foram realizadas aos 80 DAE, em dia ensolarado, no período compreendido entre as 8:00

e 12:00h, tomando-se a 2ª ou 3ª folha adulta, completamente expandida, do ápice do ramo.

2.2.3 Teor nutricional

A análise foliar do algodoeiro foi realizada por meio da coleta de folhas da haste principal, aos 80 DAE, de acordo com as recomendações de Silva (1999). Após a coleta, o material vegetal foi submetido à secagem em estufa com circulação e renovação de ar, moído e encaminhado ao laboratório de análise foliar do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia da UNESP, campus de Ilha Solteira, onde seguiram as metodologias relatadas por Bataglia *et al.* (1983), Embrapa, (1999), Malavolta *et al.* (1997) para a determinação dos macronutrientes e micronutrientes.

Para determinação dos teores de Si foliar o material vegetal foi encaminhado ao Laboratório de Nutrição de Plantas da UNESP, Campus de Ilha Solteira, onde foram obtidos através da incineração e leitura da absorbância em espectro fotômetro para determinação do teor de Si conforme a metodologia da Embrapa (1999).

2.2.4 Caracteres anatômicos do limbo foliar

Foram coletadas folhas do terço médio das plantas, que foram seccionadas à mão livre com lâmina de aço, na região mediana do mesofilo. O material foi fixado com FAA 70 (formaldeído + ácido acético glacial + álcool 70%), durante 48 horas, e posteriormente foram conservadas em álcool 70%.

As amostras passaram pelo processo de desidratação crescente de álcool (70%, 80 %, 90% e 100%), posteriormente, pelo processo de secagem ao ponto crítico do CO₂, onde este na forma líquida é lentamente aquecido, passa imperceptivelmente para a fase gasosa. A expansão deste gás dentro da câmara faz a pressão subir acima da pressão crítica de CO₂ (73 atm), mantendo a temperatura da câmara acima de 31°C (onde não há risco de liquefação do gás) (DEDAVID *et al.*, 2007). A amostra é removida seca da câmara sem alteração a sua forma.

As amostras foram fixadas em suporte de alumínio com fita dupla face de carbono e metalizadas com uma camada de ouro de 30-40 nm, onde as camadas depositadas podem melhorar a emissão de elétrons, melhorando a chance de obtenção de imagens satisfatórias (GRIMSTONE, 1980). As amostras foram

analisadas com microscópio eletrônico de varredura (MEV) Evo LS15 da Carl Zeiss. com as escalas impressas diretamente nas eletromicrografias.

2.2.5 Avaliações bioquímicas

Os extratos para as análises enzimáticas da peroxidase (POD), catalase (CAT) e da superóxido dismutase (SOD) e para a análise da concentração de proteína, foram obtidos pela suspensão de 300 mg do material foliar no qual adicionou-se 5,0 mL de tampão fosfato de potássio 0,1 M, pH 6,8 contendo 0,1 mM de EDTA + 3 mM de DTT + 1% de carvão ativo. Após centrifugação por 10 minutos a 9000 rpm, a 4°C, o sobrenadante foi coletado e armazenado.

Atividade da enzima Peroxidase: Foi utilizado o método de Allain *et al.* (1974) e modificada por Lima (1994) para a determinação da atividade da peroxidase presente nos tecidos foliares dos genótipos de algodoeiro. Do extrato de tecido obtido através da extração enzimática descrita anteriormente, retirou-se uma alíquota de 0,5 mL e adicionou-se 0,5 mL de tampão fosfato de potássio 0,2M (pH 6,7), 0,5 mL de H₂O₂ (peróxido de hidrogênio) e 0,5 mL de aminoantipirina. Os tubos foram levados ao banho-maria a 30°C durante 5 minutos. Após a incubação (5 min), adicionou-se 2 mL de álcool etílico PA para cessar a reação, e após resfriamento a temperatura ambiente, as amostras foram agitadas no vórtex e lidas em espectrofotômetro (λ = 505 nm). No controle, o extrato enzimático foi substituído pelo tampão fosfato de potássio 0,2M (pH 6,7). A atividade total da enzima foi expressa em μmol de H₂O₂ decomposto min^{-1} mg de proteína⁻¹.

Atividade da enzima Catalase: A atividade da catalase foi mensurada através do método de Kar e Mishra (1976). No espectrofotômetro a CAT foi determinada em temperatura ambiente, em solução contendo 1950 μL de tampão fosfato de potássio [0,1M] pH 7,5 (determinação), 150 μL de tampão de extração fosfato de potássio 100 mM (pH 6,8) +1 mM de EDTA + 3 mM de DTT + 1% de carvão ativo, 750 μL de peróxido de hidrogênio. A reação foi iniciada ao acrescentar 150 μL de extrato enzimático e a atividade determinada seguindo-se a decomposição de H₂O₂ por 5 minutos, através das alterações ocorridas na absorbância (λ = 240 nm). Os resultados foram expressos em μmol de H₂O₂ decomposto min^{-1} mg de proteína⁻¹.

Atividade da enzima Superóxido dismutase: A atividade da superóxido dismutase foi determinada de acordo com o método de Beauchamp e Fridovich

(1971), baseado na capacidade da enzima em converter radicais superóxido em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio molecular (O_2). O sistema de reação foi constituído de 100 μL de extrato enzimático, 2450 μL de solução EDTA + riboflavina, 250 μL de metionina e 250 μL de NBT (nitroblue tetrazolium). Utilizou-se o tampão fosfato de potássio 50 mmol L^{-1} pH 7,8, para a diluição das soluções utilizadas. No controle, o extrato enzimático foi substituído pelo EDTA + riboflavina (2550 μL). As amostras foram mantidas em temperatura ambiente e sob iluminação por 15 minutos, utilizando-se lâmpada fluorescente, enquanto as outras amostras preparadas foram mantidas na ausência de luz (utilizou-se papel alumínio para proteger os tubos de ensaio), sendo, portanto, o branco da reação. A absorbância das soluções foi medida em espectrofotômetro ($\lambda = 560 \text{ nm}$) em ambas as amostras (iluminada e não iluminada) e a diferença entre as duas absorbâncias foi considerada para a determinação da atividade da SOD, que consistiu na inibição da redução do NBT em Formazana, pela dismutação enzimática do radical superóxido. Uma unidade de SOD foi definida como a quantidade de enzima necessária para a inibição de 50% da fotorredução do NBT. Para cálculo da atividade específica da enzima, considerou-se a percentagem da inibição obtida, o volume da amostra e a concentração de proteína na amostra (Unidade $\text{mg de proteína}^{-1}$).

Determinação do teor de proteína total solúvel (PTS): O teor de proteína total solúvel (PTS) foi realizado utilizando-se a metodologia proposta por Bradford (1976), utilizando-se o extrato já descrito. Utilizou-se 100 μL do extrato enzimático e 5 mL do reagente. No controle, também utilizou-se 5 mL do reagente e o extrato enzimático foi substituído por 100 μL de (tampão fosfato de potássio 0.1 M, pH 6.8 contendo 0,1mM de EDTA + 3mM de DTT + 1% de carvão ativo). O reagente foi preparado com 200 mg de Comassie Brilliant Blue + 50 mL de etanol 95%, sob agitação por 2 horas, seguido com a adição de 100 mL de ácido ortofosfórico (H_3PO_4) 85%, e mantido por mais duas horas sob agitação. Após esse tempo, a solução ficou em repouso por 24 horas e completou-se para 1 litro com água deionizada, filtrado e guardado em frasco escuro na geladeira. A reação colorimétrica foi lida em espectrofotômetro ($\lambda = 595 \text{ nm}$). Os valores obtidos foram expressos em $\text{mg de proteína g}^{-1}$ de matéria fresca (MF). O padrão utilizado para proteína foi feito com albumina de soro bovino (BSA) na faixa de 10 a 100 μg .

2.3 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância através do teste F e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando a metodologia descrita por Gomes (2000). Para as regressões significativas, foram aplicados modelos de regressão que melhor se ajustaram aos efeitos obtidos de doses de silicato de cálcio. O software estatístico utilizado foi o SISVAR 5.1 (FERREIRA, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Altura de plantas

Observou-se efeito significativo para altura de plantas em relação às condições hídricas no solo e ao uso do regulador de crescimento, em todas as datas de avaliação. As doses de silicato de cálcio, não influenciaram a altura das plantas (Tabela 2).

A interação do uso de regulador de crescimento e níveis de água foi significativa nos três períodos de avaliação. Na primeira avaliação, não houve diferença entre o baixo nível de água (1/3 CC) e o uso do regulador de crescimento (Tabela 3), isso devido ao fato da planta ainda estar em fase vegetativa e em condições de baixa disponibilidade de água, não sendo assim necessário o uso do regulador. De acordo com a recomendação da Embrapa (1997), a primeira aplicação do regulador de crescimento deve ser feita no início do florescimento, ou quando as plantas estão com altura igual ou superior a 45 cm para evitar o crescimento excessivo.

As plantas mantidas na CC e que não receberam aplicação do regulador de crescimento apresentavam as maiores médias, quando comparadas com as que receberam cloreto de mepiquat. Aos 65 DAE, estas apresentavam alturas 64,20% maiores que as plantas mantidas a 1/3 da CC (Tabela 3)

Deve-se salientar que o genótipo TMG 81 WS apresenta crescimento vigoroso. Isto associado a condições que favoreçam o crescimento excessivo da planta, torna indispensável a utilização dos reguladores de crescimento.

Tabela 2. Altura (cm) de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.

FV	p>F		
	35 DAE	50 DAE	65 DAE
Condição hídrica (H)	0,001**	0,001**	0,001**
Cloreto de mepiquat (M)	0,002**	0,001**	0,001**
Dose silicato de cálcio (D)	0,268 ^{ns}	0,131 ^{ns}	0,110 ^{ns}
H * M	0,020*	0,001**	0,001**
H * D	0,384 ^{ns}	0,329 ^{ns}	0,578 ^{ns}
M * D	0,422 ^{ns}	0,329 ^{ns}	0,429 ^{ns}
H * M * D	0,931 ^{ns}	0,990 ^{ns}	0,959 ^{ns}
C.V (%)	8,15	9,40	9,19
Média Geral	44,67	56,67	57,81
Condição hídrica			
CC	49,45 a	68,76 a	69,28 a
1/3 CC	39,89 b	44,59 b	46,29 b
Cloreto de mepiquat			
COM	43,22 b	50,22 b	50,67 b
SEM	46,12 a	63,14 a	64,95 a
Dose de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)			
0	44,56	57,62	58,56
100	45,56	57,93	59,38
200	43,22	53,90	55,00
400	45,34	57,25	58,32
p>F (linear)	0,804	0,613	0,604
p>F (quadrática)	0,350	0,114	0,152
r ² (linear %)	1,53	4,39	4,31
r ² (quadrática %)	23,42	48,26	37,75

ns, ** e * - não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

Tabela 3. Desdobramento da interação cloreto de mepiquat x níveis de água do solo, referentes à altura do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *Latifolium* Hutch) aos 35, 50 e 65 dias após a emergência (DAE). Ilha Solteira, 2019.

Condições hídricas	35 DAE		50 DAE		65 DAE	
	Cloreto de mepiquat					
	COM	SEM	COM	SEM	COM	SEM
CC	46,90 aB	52,00 aA	57,27 aB	79,65 aA	57,41 aB	80,75 aA
1/3CC	39,53 bA	40,25 bA	42,56 bB	46,62 bA	43,41 bB	49,16 bA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

3.2 Diâmetro caulinar

As condições hídricas influenciaram no diâmetro do caule em todos os períodos de avaliação. As plantas mantidas na CC proporcionaram um aumento na espessura do diâmetro, com diferença média de 2,17 mm para as plantas que foram submetidas a 1/3 CC (Tabela 4). Baldo *et al.* (2009), encontraram menor espessura do diâmetro do caule de algodoeiro quando submetidos a deficiência hídrica. O estresse hídrico desfavorece a divisão e alongamento celular, afetando, sobretudo o câmbio vascular (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O efeito do cloreto de mepiquat sobre o diâmetro do caule foi significativo somente aos 35 DAE (Tabela 4). O tratamento em que foram utilizado cloreto de mepiquat apresentaram menor espessura do diâmetro, após essa data não encontra-se diferença entre o uso ou não do cloreto de mepiquat, o que de certa forma acabou contribuído pra que não ocorresse tombamento das plantas. Azevedo *et al.* (2004) após realizarem aplicação de regulador de crescimento encontraram menor diâmetro caulinar em relação a testemunha.

Tabela 4. Diâmetro caulinar (mm) de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de Si, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.

FV	p>F		
	35 DAE	50 DAE	65 DAE
Condições hídricas (H)	0,001**	0,001**	0,001**
Cloreto de mepiquat (M)	0,027*	0,632 ^{ns}	0,314 ^{ns}
Dose silicato de cálcio (D)	0,764 ^{ns}	0,522 ^{ns}	0,215 ^{ns}
H * M	0,932 ^{ns}	0,351 ^{ns}	0,657 ^{ns}
H * D	0,836 ^{ns}	0,146 ^{ns}	0,655 ^{ns}
M * D	0,286 ^{ns}	0,307 ^{ns}	0,074 ^{ns}
H * M * D	0,053 ^{ns}	0,785 ^{ns}	0,174 ^{ns}
C.V (%)	10,14	13,54	17,12
Média Geral	5,96	8,05	8,18
Condições hídricas			
CC	6,68 a	9,21 a	9,37 a
1/3 CC	5,25 b	6,50 b	7,00 b
Cloreto de mepiquat			
COM	5,79 b	7,99	8,36
SEM	6,13 a	8,05	8,12
Dose de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)			
0	5,86	7,82	7,56
100	5,95	8,33	8,37
200	6,09	7,89	8,25
400	5,95	8,17	8,56
p>F (linear)	0,692	0,601	0,086
p>F (quadrática)	0,351	0,808	0,390
r ² (linear %)	13,70	12,17	66,46
r ² (quadrática %)	90,19	14,78	82,73

ns, ** e * -não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

3.3 Número de nós

As plantas que foram submetidas ao estresse hídrico (1/3 CC) tiveram menor número de nós, nos três períodos de avaliação e o mesmo aconteceu quando utilizado o cloreto de mepiquat (Tabela 5). O menor número de nós está ligado a redução na altura do algodoeiro, onde as plantas que receberam regulador de crescimento ou estava em déficit hídrico tiveram seu crescimento reduzido (Tabela 2) e consequentemente um menor número de nós.

Tabela 5. Número de nós de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.

FV	p>F		
	35 DAE	50 DAE	65 DAE
Condição hídrica (H)	0,001**	0,001**	0,001**
Cloreto de mepiquat (M)	0,001**	0,001**	0,001**
Dose silicato de cálcio (D)	0,054 ^{ns}	0,441 ^{ns}	0,059 ^{ns}
H * M	0,026*	0,719 ^{ns}	0,442 ^{ns}
H * D	0,931 ^{ns}	0,612 ^{ns}	0,586 ^{ns}
M * D	0,178 ^{ns}	0,103 ^{ns}	0,825 ^{ns}
H * M * D	0,412 ^{ns}	0,640 ^{ns}	0,285 ^{ns}
C.V (%)	10,89	6,99	6,02
Média Geral	6,00	9,90	10,71
Condição hídrica			
CC	7,09 a	11,46 a	11,87 a
1/3 CC	4,90 b	8,34 b	9,56 b
Cloreto de mepiquat			
COM	5,65 b	9,15 b	9,84 b
SEM	6,34 a	10,65 a	11,59 a
Dose de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)			
0	6,00	9,87	10,43
100	6,25	10,00	11,00
200	5,65	9,68	10,56
400	6,12	10,06	10,87
p>F (linear)	0,997	0,585	0,220
p>F (quadrática)	0,202	0,371	0,598
r ² (linear %)	0,00	11,02	19,46
r ² (quadrática %)	20,45	40,74	23,00

ns, ** e * - não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

Houve interação dos fatores, condições hídricas e regulador de crescimento aos 35 DAE. Independente da aplicação do cloreto de mepiquat, as plantas mantidas na CC apresentam maior número de nós. As plantas submetidas a 1/3 CC não apresentam diferença entre o uso do regulador (Tabela 6).

De acordo com Reddy *et al.* (1990), plantas de algodão que recebem aplicação de cloreto de mepiquat são mais compactas, com um menor número de nós. Azevedo *et al.* (2008) constataram que a aplicação de regulador de crescimento promoveu redução do comprimento dos entrenós e do número de nós na haste

principal, da altura de plantas e do comprimento dos ramos, possibilitando uso de maior densidade de plantas por área, proporcionando redução da área foliar e consequentemente aumento na eficiência de aplicação de defensivos agrícolas, e maior penetração de luz no dossel.

Tabela 6. Desdobramento da interação cloreto de mepiquat x condições hídricas, referentes à número de nós de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch) aos 35 dias após emergência (DAE). Ilha Solteira, 2019.

Condições hídricas	Cloreto de mepiquat	
	COM	SEM
CC	6,56 aB	7,65 aA
1/3 CC	4,75 bA	5,06 bA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

3.4 Número de ramos reprodutivos

O número de ramos reprodutivos foi afetado pelo uso do regulador de crescimento em todas as datas avaliadas (Tabela 7). A aplicação do regulador de crescimento contribuiu para menor número de ramos reprodutivos. Tais resultados estão de acordo com os obtidos por Bogiani e Rosolem (2009), onde estudaram a sensibilidade de cultivares de algodoeiro ao uso de doses de cloreto de mepiquat, e observaram que as cultivares FMT 501, Delta Penta, Delta Opal e FMT 701 tiveram o número de ramos reprodutivos reduzidos com o aumento o uso do regulador de crescimento.

As condições hídricas também foram significativas em todas as datas de avaliação, sendo que as plantas submetidas a 1/3 CC apresentaram menor número de ramos reprodutivos em comparação as plantas da CC (Tabela 7). Segundo Kerbauy (2004), o estresse hídrico diminui o número e a taxa de crescimento dos ramos do algodoeiro.

Assim como para a altura, diâmetro e número de nós (Tabelas 2, 4 e 5), as doses de silicato de cálcio não foram significativas para número de ramos reprodutivos.

Tabela 7. Número de ramos reprodutivos do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.

FV	p>F		
	35 DAE	50 DAE	65 DAE
Condições hídrica (H)	0,001**	0,001**	0,001**
Cloreto de mepiquat (M)	0,001**	0,048*	0,001**
Dose de silicato de cálcio (D)	0,458 ^{ns}	0,626 ^{ns}	0,493 ^{ns}
H * M	0,038*	0,258 ^{ns}	0,217 ^{ns}
H * D	0,339 ^{ns}	0,900 ^{ns}	0,679 ^{ns}
M * D	0,943 ^{ns}	0,976 ^{ns}	0,678 ^{ns}
H * M * D	0,182 ^{ns}	0,439 ^{ns}	0,130 ^{ns}
C.V (%)	27,50	18,21	14,00
Média Geral	3,20	7,79	8,56
Condições hídrica			
CC	4,43 a	9,78 a	9,59 a
1/3 CC	1,96 b	5,81 b	7,53 b
Cloreto de mepiquat			
COM	2,70 b	7,43 b	8,03 b
SEM	3,65 a	8,15 a	9,09 a
Dose de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)			
0	3,43	7,93	8,18
100	3,18	8,06	8,68
200	2,93	7,43	8,56
400	3,25	7,75	8,81
p>F (linear)	0,584	0,545	0,211
p>F (quadrática)	0,144	0,563	0,617
r ² (linear %)	11,54	21,16	66,12
r ² (quadrática %)	95,31	40,39	79,56

ns, ** e * -não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

Aos 35 DAE houve interação entre condições hídricas e os sistemas de manejo da altura das plantas. As plantas submetidas a 1/3 CC, com ou sem o uso do regulador, apresentaram uma redução no número de ramos (Tabela 8). A redução no número de ramos reprodutivos pode ser perigosa, pois pode refletir em uma diminuição no número de frutos por planta, acarretando então prejuízos na produção (YEATS *et al.* 2005).

Tabela 8. Desdobramento da interação cloreto de mepiquat x condições hídricas, referentes à número de ramos reprodutivos de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) aos 35 dias após emergência (DAE). Ilha Solteira, 2019.

Condições hídricas	Cloreto de mepiquat	
	COM	SEM
CC	3,75 aB	5,12 aA
1/3 CC	1,75 bA	2,18 bA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

3.5 Índice SPAD

Os valores obtidos em relação ao índice SPAD das folhas do algodoeiro nas épocas de avaliação, apresentaram efeito significativo isolado para condições hídricas nas duas primeiras avaliações (35 e 50 DAE). Em relação ao cloreto de mepiquat o efeito significativo foi apenas aos 50 DAE, onde o uso do regulador de crescimento resultou em maior índice SPAD (Tabela 9).

O índice SPAD mede a intensidade de verde na folha e estima a quantidade de clorofila (BARBOSA FILHO *et al.*, 2009). Logo, o índice SPAD é uma variável que quando sofre redução, não significa que foi inibida a síntese de clorofila, bem como o aumento não é necessariamente devido a acréscimo no estímulo da síntese de clorofila (NEVES, 2009).

De acordo com os resultados do desdobramento da interação condições hídricas x regulador de crescimento referente ao índice SPAD do algodoeiro aos 35 DAE, as plantas com baixa disponibilidade de água (1/3 CC) e que receberam aplicação do regulador de crescimento apresentaram menor índice quando comparadas com as que não receberam aplicação (Tabela 10).

As plantas na CC aos 35 DAE não apresentaram diferença entre os sistemas de manejo da altura das plantas, contudo as 50 DAE o uso do regulador de crescimento auxiliou para o maior índice, que foram 35,40% superior aos tratamentos que não foram aplicados regulador de crescimento e que estavam na CC. Moraes *et al.* (2004), justificaram essa elevação nos valores do índice SPAD em função da diminuição na área foliar que ocorre com o uso do regulador de crescimento.

É possível verificar que na ausência do silicato de cálcio, quando não se faz o uso do regulador de crescimento há um menor índice SPAD, quando comparado a aplicação do regulador. Com o aumento das doses não se observa diferença com ou sem a aplicação do regulador de crescimento (Tabela 11).

Tabela 9. Leitura SPAD de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio, cloreto de mepiquat e disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.

FV	p>F		
	35 DAE	50 DAE	65 DAE
Condições hídricas (H)	0,001**	0,001**	0,294 ^{ns}
Cloreto de mepiquat (M)	0,845 ^{ns}	0,001**	0,352 ^{ns}
Dose silicato de cálcio (D)	0,868 ^{ns}	0,316 ^{ns}	0,955 ^{ns}
H * M	0,041*	0,001**	0,663 ^{ns}
H * D	0,354 ^{ns}	0,256 ^{ns}	0,646 ^{ns}
R * D	0,041*	0,576 ^{ns}	0,832 ^{ns}
H * M* D	0,445 ^{ns}	0,912 ^{ns}	0,991 ^{ns}
C.V (%)	6,97	11,86	12,47
Média geral	42,92	42,88	41,60
Condições hídricas			
CC	44,40 a	35,89 b	40,91
1/3 CC	41,45 b	49,86 a	42,29
Cloreto de mepiquat			
COM	43,00	45,93 a	42,21
SEM	42,85	39,93 b	40,99
Dose de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)			
0	43,00	41,25	41,02
100	42,84	44,66	42,03
200	43,37	42,88	41,69
400	42,49	42,72	41,68
p>F (linear)	0,673	0,757	0,816
p>F (quadrática)	0,603	0,225	0,705
r ² (linear %)	25,10	2,66	17,17
r ² (quadrática %)	63,33	44,27	62,55

ns, ** e * - não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

Tabela 10. Desdobramento da interação cloreto de mepiquat x condição hídrica, referentes ao índice SPAD de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) aos 35, 50 dias após emergência (DAE). Ilha Solteira, 2019.

Condições hídricas	35 DAE		50 DAE	
	Cloreto de mepiquat			
	COM	SEM	COM	SEM
CC	45,25 aA	43,54 aA	41,29 bA	30,50 bB
1/3 CC	40,74 aB	42,17 aA	50,57 aA	49,15 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

Tabela 11. desdobramento da interação cloreto de mepiquat x doses de silicato de cálcio, referentes ao índice SPAD de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) aos 50 dias após emergência (DAE). Ilha Solteira, 2019.

Dose silicato de cálcio (g ha ⁻¹)	Cloreto de mepiquat	
	COM	SEM
0	44,93 a	41,07 b
100	41,86 a	43,82 a
200	43,28 a	43,46 a
400	41,92 a	43,06 a
p>F (linear)	0,125	0,342
p>F (quadrática)	0,631	0,131
r ² (linear %)	43,37	22,84
r ² (quadrática %)	54,63	81,23

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

3.6 Trocas Gasosas

Verifica-se que houve diferenças significativas, em resposta às diferentes condições hídricas e ao uso do regulador de crescimento sobre as variáveis: Condutância estomática e na taxa fotossintética (Tabela 12).

A condutância estomática foi maior com o uso do regulador de crescimento. Segundo Paiva *et al.* (2005), a condutância estomática é responsável por regular as trocas gasosas e, portanto, possui uma relação direta com o processo fotossintético e conseqüentemente com o crescimento e desenvolvimento dos vegetais.

Tabela 12. Valores médios da concentração interna de CO₂ (Ci: $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$), transpiração (E: $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs: $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e fotossíntese líquida (A: $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em função das doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat, e disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.

FV	p>F			
	Ci	E	gs	A
Condições hídrica (H)	0,422 ^{ns}	0,099 ^{ns}	0,006 ^{**}	0,001 ^{**}
Cloreto de mepiquat (M)	0,425 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,001 ^{**}	0,001 ^{**}
Dose silicato de cálcio (D)	0,552 ^{ns}	0,694 ^{ns}	0,851 ^{ns}	0,941 ^{ns}
H * M	0,917 ^{ns}	0,274 ^{ns}	0,221 ^{ns}	0,264 ^{ns}
H * D	0,703 ^{ns}	0,462 ^{ns}	0,431 ^{ns}	0,712 ^{ns}
M * D	0,984 ^{ns}	0,993 ^{ns}	0,820 ^{ns}	0,698 ^{ns}
H * M * D	0,352 ^{ns}	0,968 ^{ns}	0,775 ^{ns}	0,432 ^{ns}
C.V (%)	16,55	32,09	41,44	52,53
Média geral	297,92	2,47	0,54	13,36
Condições hídrica				
CC	302,87	2,31	0,46 b	10,21 b
1/3 CC	292,96	2,64	0,62 a	16,51 a
Cloreto de mepiquat				
COM	292,93	2,75 a	0,63 a	17,42 a
SEM	302,90	2,20 b	0,44 b	9,29 b
Dose de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)				
0	288,06	2,60	0,56	13,33
100	308,65	2,28	0,51	12,53
200	290,06	2,50	0,52	13,51
400	304,93	2,51	0,57	14,07
p>F (linear)	0,530	0,977	0,773	0,658
p>F (quadrática)	0,928	0,512	0,428	0,804
r ² (linear %)	18,81	0,06	10,69	50,24
r ² (quadrática %)	19,20	30,03	91,73	66,00

ns, ** e * - não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

Entre as diferentes condições hídricas é possível verificar que os tratamentos na CC, apresentaram uma diminuição de 25,80% em relação aos tratamentos em 1/3 CC. A redução da condutância estomática reflete em menor transpiração e, portanto, menor perda de água pelas plantas.

A taxa fotossintética foi maior nos tratamentos em que a condição hídrica era de 1/3 da CC, diferença de 38,15% em relação aos tratamentos que estavam na CC. Resultado diferente do obtido por Souza *et al.* (1997), em que a deficiência hídrica

proporcionou uma menor fotossíntese líquida. De acordo com Beltrão; Souza, (2011) conforme eleva-se a fotossíntese, também aumenta a transpiração, pois ambos processos utilizam o mesmo caminho de difusão, ou seja, o mesofilo da folha até o ambiente, através do estômato.

3.7 Caracteres do limbo foliar

Em relação às espessuras da região internervural foliar, constatou-se que as condições hídricas alteram as espessuras da epiderme adaxial, epiderme abaxial, parênquima paliçádico e parênquima lacunoso. O regulador de crescimento apresentou efeito no parênquima lacunoso e na espessura total, enquanto que para as doses de silicato de cálcio esse efeito ocorreu apenas na epiderme abaxial (Tabela 13).

As condições hídricas alteraram a anatomia foliar do algodoeiro, onde as plantas submetidas a 1/3 CC apresentaram maior espessura da folha, devido as maiores espessura da epiderme e do parênquima paliçádico e lacunoso. Alterações anatômicas decorrentes da baixa disponibilidade de água estão envolvidas na proteção das plantas para evitar a perda de água excessiva por transpiração (CASTRO *et al.* 2009).

A maior espessura do parênquima paliçádico, justifica o aumento na fotossíntese líquida, quando as plantas são submetidas à baixa disponibilidade de água (Tabela 12). O parênquima paliçádico está intimamente relacionado com a fotossíntese e o maior desenvolvimento desse tecido permite maior fixação de CO₂ (CASTRO *et al.* 2009), fazendo com que a planta apresente maior eficiência do uso da água, tendo assim, maiores condições de sobreviver quando em um ambiente de estresse hídrico (JONES, 1992).

O parênquima lacunoso e a espessura do limbo foliar apresentaram maiores espessuras na presença do regulador de crescimento. O uso do regulador contribui para diferença de 15,34% para o parênquima lacunoso e de 9,57% para espessura total, quando comparados sem a aplicação do regulador (Tabela 8). O regulador de crescimento atua no alongamento celular, faz com as plantas tornam-se mais compactas em função das alterações em sua arquitetura, apresentem menor número de nós e tamanho de folhas (STEWART *et al.*, 2001), no entanto, existe um efeito compensatório que é refletido no aumento da espessura foliar. Segundo Souza *et. al.* (2007), a síntese de organelas e a pressão de turgor presente no

conteúdo citoplasmático, tendem a ser mantidos, o que resulta no aumento da espessura do tecido.

Tabela 13. Caracteres anatômicos da região internervural do limbo foliar de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em função de doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.

FV	p>F				
	Epiderme Adaxial	Parênquima paliçádico	Parênquima lacunoso	Epiderme Abaxial	Espessura total
Condições hídrica (H)	0,046*	0,001**	0,001**	0,023*	0,001**
Cloreto de mepiquat (M)	0,735 ^{ns}	0,261 ^{ns}	0,009**	0,085 ^{ns}	0,013*
Dose silicato de cálcio (D)	0,568 ^{ns}	0,201 ^{ns}	0,490 ^{ns}	0,002**	0,498 ^{ns}
H * M	0,176 ^{ns}	0,926 ^{ns}	0,195 ^{ns}	0,559 ^{ns}	0,480 ^{ns}
H * D	0,735 ^{ns}	0,283 ^{ns}	0,741 ^{ns}	0,314 ^{ns}	0,556 ^{ns}
M * D	0,205 ^{ns}	0,352 ^{ns}	0,385 ^{ns}	0,101 ^{ns}	0,915 ^{ns}
H * M * D	0,602 ^{ns}	0,066 ^{ns}	0,967 ^{ns}	0,704 ^{ns}	0,565 ^{ns}
C.V (%)	32,44	18,49	24,6	28,78	15,43
Média Geral	16,84	119,33	84,84	11,89	234,92
Condições hídrica					
CC	15,44 b	109,31 b	73,57 b	10,89 b	210,25 b
1/3 CC	18,23 a	129,34 a	96,11 a	12,89 a	259,58 a
Cloreto de mepiquat					
COM	17,06	122,47	91,89 a	12,65	246,56 a
SEM	16,60	116,19	77,79 b	11,14	223,27 b
Dose de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)					
0	17,41	108,86	88,92	10,81	226,87
100	17,06	122,90	32,15	9,81	234,47
200	15,19	122,99	79,56	12,65	232,21
400	17,67	122,47	88,73	14,30	246,12
p>F (linear)	0,941	0,155	0,882	0,001	0,153
p>F (quadrática)	0,231	0,145	0,126	0,529	0,838
r ² (linear %)	0,27	43,40	0,91	79,13	87,65
r ² (quadrática %)	72,19	89,12	99,96	81,60	89,41
Y=0,01036x+10,0856					

ns, ** e * - não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

O silicato de cálcio aplicado no algodoeiro auxiliou para uma maior espessura da epiderme abaxial. Por meio de MEV, é possível verificar a presença de uma cutícula mais espessa na superfície inferior da folha das plantas tratadas com silicato de cálcio (Figura 1). A dose de 100 g ha⁻¹ foi responsável pela menor

espessura, contudo conforme aumentavam-se as doses de silicato de cálcio, maior a espessura da epiderme abaxial. A dose de 400 g ha⁻¹ apresentou diferença de 31,39% quando comparada com a dose de 100 g ha⁻¹.

Pozza *et al* (2004), observou que a aplicação de Si em plantas de caféiro contribui para uma epiderme abaxial mais espessa. O Si acumulado nas células da epiderme forma uma dupla camada silício-cutícula proporcionando uma proteção mecânica, que auxilia a reduzir infecção de fitopatógenos e diminui a perda de água da planta por evapotranspiração (PEIXOTO *et al.* 2011).

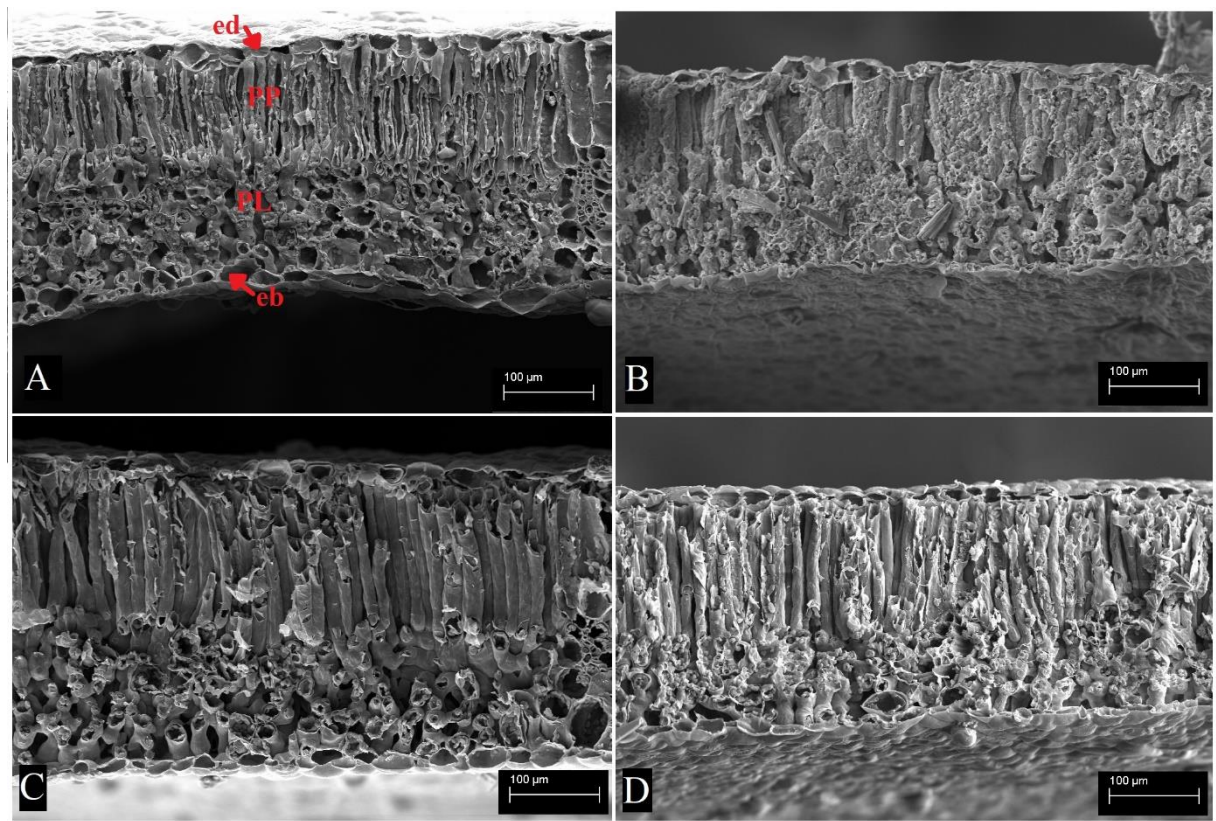


Figura 1 – Microscopia eletrônica de varredura da região internervural do limbo foliar de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* H.) em função de doses de silicato de cálcio ((A) 0, (B) 100, (C) 200, (D) 400 g ha⁻¹). (ed) Epiderme adaxial; (pp) parênquima paliçádico; (pl) parênquima lacunoso; (eb) abaxial.

Fonte: próprio autor.

3.8 Prolina e enzimas antioxidantes

É possível verificar que houve um aumento nos níveis de prolina com a baixa disponibilidade hídrica, quando se fez o uso do cloreto de mepiquat (Tabela 14).

O acréscimo deste aminoácido, está relacionado com a diminuição do conteúdo relativo de água nos tecidos foliares, pois segundo Costa (1999) a prolina tem a função de ajuste osmótico em plantas sob estresse hídrico. Fernandez *et al.* (1992) verificaram que, para plantas de algodoeiro, a aplicação do cloreto de mepiquat sob restrição hídrica promove decréscimo do potencial osmótico, em relação às plantas não submetidas ao regulador de crescimento.

As enzimas do sistema antioxidante peroxidase (POD), catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD) apresentaram significância para as diferentes condições hídricas e para as doses crescentes de silicato de cálcio. Enquanto que o mesmo não foi observado com a aplicação do cloreto de mepiquat, indicando que o do produto não as influenciou (Tabela 14).

O grau de estresse oxidativo em uma célula pode ser determinado pelas quantidades de radicais livres produzidos (APEL; HIRT, 2004), de modo que a atividade das enzimas antioxidantes é essencial para suprimir quantidades tóxicas de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas células. O aumento na atividade de antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos pode ser uma resposta adaptativa das células ao aumento das EROs (MITTLER, 2002).

Houve efeito significativo para a interação entre condições hídricas e as doses de silicato de cálcio para todas as enzimas analisadas. A maior atividade da SOD que, potencialmente acarreta maior produção de H_2O_2 , foi acompanhada por incrementos nas atividades da POD, a maior atividade destas enzimas ocorreu nos tratamentos submetidos a 1/3 CC até a dose de 200 g ha^{-1} (Tabela 9.1), com a maior dose de silicato de cálcio não houve diferença entre os tratamentos na CC e com 1/3 CC.

O aumento na atividade da SOD é conhecido por conferir tolerância ao estresse oxidativo (JALEEL *et al.*, 2007), a enzima normalmente atua na primeira linha de defesa contra as EROs, dismutando o superóxido (O_2^-) a peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

Tabela 14. Análise da prolina e atividade das enzimas antioxidantes: Peroxidase (POD), Catalase (CAT) e Superóxido Dismutase (SOD) de algodoeiro herbáceo em função de doses de silicato de cálcio, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.

FV	Prolina	Enzimas antioxidantes		
		POD (EC 1.11.1.7)	CAT (EC 1.11.1.6)	SOD (EC 1.15.1.1)
Condições hídricas (H)	0,001**	0,001**	0,040*	0,001**
Cloreto de mepiquat (M)	0,014**	0,375 ^{ns}	0,401 ^{ns}	0,615 ^{ns}
Doses silicato de cálcio (D)	0,041*	0,001**	0,002**	0,001**
H*M	0,820 ^{ns}	0,547 ^{ns}	0,676 ^{ns}	0,564 ^{ns}
H*D	0,222 ^{ns}	0,001**	0,013*	0,001**
M*D	0,554 ^{ns}	0,001**	0,778 ^{ns}	0,194 ^{ns}
H*M*D	0,221 ^{ns}	0,001**	0,146 ^{ns}	0,194 ^{ns}
C.V (%)	20,41	35,59	22,49	10,17
Média Geral	296,17	0,444	2,74 x10 ⁻¹⁰	31,14
Condições hídricas				
1/3CC	342,31 a	0,727 a	2,55 x10 ⁻⁹ b	43,95 a
CC	196,03 b	0,162 b	2,93 x10 ⁻⁹ a	18,33 b
Cloreto de mepiquat				
COM	289,77 a	0,424	2,66 x10 ⁻⁹	30,91
SEM	248,57 b	0,465	2,81x10 ⁻⁹	31,37
Doses de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)				
0	243,86	0,574	2,23 x10 ⁻⁹	36,34
100	296,84	0,476	2,50 x10 ⁻⁹	39,70
200	289,57	0,511	2,74 x10 ⁻⁹	30,75
400	246,41	0,216	3,47 x10 ⁻⁹	17,77
p>F (Linear)	0,230	0,001(1)	0,001(2)	0,001
p>F (quadrática)	0,192	0,123	0,647	0,001 ⁽³⁾
r ² (linear %)	2,48	85,75	99,11	85,49
r ² (quadrática %)	91,01	92,82	99,91	94,30

$$^{(1)}y=-0,00085x+0,5939 \quad ^{(2)}y=0,00309x+2,1990 \quad ^{(3)}y=-0,00014x^2+0,0057x+37,4846$$

ns, ** e * - não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

Tabela 15. Desdobramento da interação condições hídricas x doses de silicato de cálcio, referentes a atividade das enzimas antioxidantes: Peroxidase (POD), Catalase (CAT) e Superóxido Dismutase (SOD) do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.). Ilha Solteira, 2019.

Doses de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)	POD		CAT		SOD	
	Condições hídricas					
	CC	1/3 CC	CC	1/3CC	CC	1/13CC
0	0,059 b	1,088 a	2,89x10 ⁻⁹ a	1,57x10 ⁻⁹ b	19,79 b	52,89 a
100	0,223 b	0,729 a	2,41x10 ⁻⁹ a	2,59x10 ⁻⁹ a	15,81 b	63,59 a
200	0,189 b	0,833 a	3,04x10 ⁻⁹ a	2,45x10 ⁻⁹ a	16,63 b	44,88 a
400	0,176 a	0,256 a	3,36x10 ⁻⁹ a	3,57x10 ⁻⁹ a	21,08 a	14,47 b
p>F (linear)	0,371	0,001 ⁽¹⁾	0,059	0,001 ⁽²⁾	0,191	0,001
p>F (quadrático)	0,174	0,401	0,328	0,736	0,006 ⁽³⁾	0,001 ⁽⁴⁾
r2 (linear %)	22,39	87,26	51,56	89,10	15,67	79,63
r2 (quadrático %)	74,93	88,10	64,87	89,46	93,51	93,82
⁽¹⁾ y=-0,0019x+1,0619 ⁽²⁾ y=0,0045x+1,7588 ⁽³⁾ y=0,00010x ² -0,039x+19,4809 ⁽⁴⁾ y=-0,00038x ² -0,0506x+55,488						

$$^{(1)}y=-0,0019x+1,0619 \quad ^{(2)}y=0,0045x+1,7588 \quad ^{(3)}y=0,00010x^2-0,039x+19,4809$$

$$^{(4)}y=-0,00038x^2-0,0506x+55,488$$

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

A atividade da CAT não apresentou diferença entre os tratamentos na CC e a 1/3 CC e as doses crescentes de silicato de cálcio. A menor atividade da CAT foi nas plantas submetidas a baixa disponibilidade hídrica e sem aplicação de Si (Tabela 9.1). A diminuição na atividade da CAT promove acúmulo de H₂O₂, aumentando a peroxidação de lipídios e danos às membranas de plantas sob estresse. Desta forma, o aumento na atividade da CAT é importante para eliminar o acúmulo de H₂O₂ e assim reduzir a peroxidação de lipídios (EYIDOĞAN; OZ, 2007).

A atividade da POD no desdobramento entre cloreto de mepiquat sobre doses de silicato de cálcio é possível verificar que na testemunha e sem aplicação do cloreto de mepiquat auxiliou para maior atividade da enzima, assim como na dose de 200g ha⁻¹ (Tabela 16). A dose de 100g ha⁻¹ aumentou a atividade da enzima isso quando se faz uso do regulador de crescimento. A maior dose de silicato de cálcio (400g ha⁻¹) não apresentou diferença entre usar ou não o cloreto de mepiquat.

A POD está presente em diversos compartimentos celulares, catalisando a oxidação de componentes celulares como o peróxido de hidrogênio. O aumento das POD tem sido relacionado com mecanismos de resistência sob condições de estresse, pois as plantas tendem a aumentar sua atividade e as vezes é a primeira enzima a ter atividade alterada, independente do estresse aplicado (SIEGEL, 1993).

Tabela 16. Desdobramento da interação cloreto de mepiquat x doses de silicato de cálcio, referentes a atividade da enzima peroxidase (POD) no algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.). Ilha Solteira, 2019.

Doses de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)	Cloreto de mepiquat	
	COM	SEM
0	0,414 b	0,733 a
100	0,764 a	0,188 b
200	0,266 b	0,757 a
400	0,251 a	0,181 a
p>F (linear)	0,001 ⁽¹⁾	0,001 ⁽²⁾
p>F (quadrático)	0,211	0,342
r ² (linear %)	29,75	24,85
r ² (quadrático %)	33,75	26,09
⁽¹⁾ y=-0,00076x+0,5574		⁽²⁾ y=-0,000944x+0,6305

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

As plantas que se encontravam na CC, não apresentaram diferença entre aplicar ou não o cloreto de mepiquat, com o aumento das doses de silicato de cálcio. Contudo, as plantas submetidas a 1/3 CC e que receberam aplicação do regulador de crescimento apresentaram um efeito linear com o aumento das doses de silicato de cálcio (Tabela 17), ou seja, as doses crescentes de silicato de cálcio em conjunto com o cloreto de mepiquat contribuíram para desintoxicação das células das plantas dos radicais livres, não desencadeando o estresse oxidativo.

As plantas com baixa disponibilidade hídrica (1/3 CC) e sem aplicação do cloreto de mepiquat a uma diminuição da atividade da POD com as doses de silicato de cálcio, ou seja, neste caso as doses de silicato de cálcio não foram suficientes pra minimizar dos danos causados pelo estresse hídrico. Quando as enzimas antioxidantes não atuam de forma eficiente na eliminação das EROs geradas, a peroxidação lipídica se torna mais evidente, sendo este o principal sintoma atribuído ao dano oxidativo, frequentemente utilizada como um indicador de dano as membranas celulares (HERNANDEZ *et al.*, 2000).

Tabela 17. Desdobramento da interação condições hídricas x cloreto de mepiquat x silicato de cálcio, referente a atividade da enzima peroxidase (POD) no algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.). Ilha Solteira, 2019.

Doses de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)	Condições hídricas			
	CC		1/3 CC	
	Cloreto de mepiquat			
	COM	SEM	COM	SEM
0	0,063 aB	0,055 aB	0,766 bA	1,410 aA
100	0,212 aB	0,235 aA	1,316 aA	0,141 bA
200	0,167 aA	0,212 aB	0,365 bA	1,302 aA
400	0,180 aA	0,172 aA	0,323 aA	0,190 aA
p>F (linear)	0,513	0,539	0,001 ⁽¹⁾	0,001 ⁽²⁾
P>F (quadrática)	0,464	0,230	0,295	0,889
r2 (linear %)	29,24	16,81	40,85	26,60
r2 (quadrática %)	66,02	81,93	42,34	26,61
⁽¹⁾ y=-0,00172x+0,9947		⁽²⁾ y=-0,0020x+1,1256		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha para cloreto de mepiquat e maiúscula na linha para condições hídricas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

3.10 Macronutrientes

Com base nos dados obtidos na análise nutricional de folhas do algodoeiro para macronutrientes, verificou-se que as condições hídricas influenciaram no teor nutricional das plantas. As plantas com 1/3 CC apresentaram maiores teores de N, P, K, Ca, Mg e S (Tabela 18).

As plantas com 1/3 CC apresentaram mostraram teores de N e P dentro da faixa considerada normal em algodão (BASSET *et al.*, 1970). As plantas na CC apresentaram levemente amareladas na parte vegetativa, contudo não se tenha notado alguma clorose nas folhas mais velhas, nem o avermelhamento do caule, sintomas de deficiência desses nutrientes (MARCUS-WYNER; RAINS, 1982).

Os maiores teores desses nutrientes na folha das plantas submetidas a baixa disponibilidade hídrica podem ser atribuídos ao menor acúmulo de matéria. A uma relação natural da planta quando submetida a baixa disponibilidade hídrica, onde diminui a produção de matéria seca da parte aérea e investe em sistema radicular, na busca de água no solo, o que, por sua vez, também favorece a absorção de nutrientes em camadas mais profundas.

Tabela 18. Teores foliar de macronutrientes em folhas de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em função de doses de Si, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade de hídrica. Ilha Solteira, 2019.

FV	p>F					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	g.kg ⁻¹					
Condições hídricas (H)	0,001**	0,001**	0,001**	0,001**	0,001**	0,001**
Cloreto de mepiquat (M)	0,001**	0,001**	0,123 ^{ns}	0,001**	0,001**	0,001**
Doses silicato de cálcio (D)	0,554 ^{ns}	0,506 ^{ns}	0,167 ^{ns}	0,480 ^{ns}	0,154 ^{ns}	0,512 ^{ns}
H*M	0,062 ^{ns}	0,454 ^{ns}	0,345 ^{ns}	0,588 ^{ns}	0,958 ^{ns}	0,220 ^{ns}
H*D	0,620 ^{ns}	0,772 ^{ns}	0,226 ^{ns}	0,993 ^{ns}	0,909 ^{ns}	0,944 ^{ns}
M*D	0,322 ^{ns}	0,215 ^{ns}	0,279 ^{ns}	0,222 ^{ns}	0,390 ^{ns}	0,694 ^{ns}
H*M*D	0,942 ^{ns}	0,892 ^{ns}	0,653 ^{ns}	0,477 ^{ns}	0,412 ^{ns}	0,770 ^{ns}
C.V (%)	15,52	15,55	16,61	16,1	17,73	28,87
Média Geral	17,67	2,43	7,35	18,7	5,01	1,45
Condições hídricas						
CC	12,17 b	1,90 b	5,48 b	17,36 b	4,09 b	0,89 b
1/3 CC	23,17 a	2,97 a	9,23 a	20,04 a	5,91 a	2,00 a
Cloreto de mepiquat						
COM	19,38 a	2,75 a	7,59	21,87 a	5,66 a	1,66 a
SEM	15,96 b	2,12 b	7,11	15,54 b	4,34 b	1,23 b
Doses de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)						
0	17,99	2,48	7,82	18,93	5,05	1,38
100	17,73	2,45	6,83	19,57	5,4	1,55
200	18,13	2,31	6,37	18,08	4,76	1,49
400	16,84	2,50	7,40	18,22	4,79	1,36
p>F (linear)	0,254	0,942	0,727	0,311	0,158	0,631
p>F (quadrática)	0,499	0,204	0,160	0,946	0,885	0,198
r ² (linear %)	63,04	0,23	2,33	41,72	37,49	10,02
r ² (quadrática %)	85,01	70,29	40,86	41,91	37,87	82,94

ns, ** e * - não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

A aplicação do cloreto de mepiquat proporcionou maiores teores foliares de N, P, Ca, Mg e S, indicando que plantas com menor desenvolvimento vegetativo proporcionado pela ação do produto revela incremento nos teores destes nutrientes nas folhas.

Ferrari *et al.* (2014) verificaram que a aplicação parcelada do cloreto de mepiquat em plantas de algodão, auxiliou para aumento nos teores Mg, este aumento pode estar relacionado aos maiores teores foliares de clorofila, sendo que o Mg é um dos nutrientes constituintes dessa molécula (TAIZ; ZEIGER, 2004). No

presente trabalho o teor de Mg mostrou-se dentro da faixa considerada suficiente por Marcus-Wyner; Rains (1982). Sintomas de deficiência são esperados quando seu nível nas folhas cai abaixo de $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ (GHEESLING; PERKIN, 1970).

3.11 Micronutrientes e Silício

O teor foliar de cobre (Cu), Ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Z) apresentaram significativo para condições hídricas, onde os tratamentos submetidos a baixa disponibilidade hídrica apresentaram maior concentração destes micronutrientes (Tabela19). As plantas na CC apesar de apresentarem menor valor deste micronutrientes os teores ainda estão de adequados (RAIJ et al 1997).

Os micronutrientes, manganês (Mn) e zinco (Z), apresentaram efeito significativo para o cloreto de mepiquat, o uso do produto contribuiu para maior teor foliar destes nutrientes.

Para o teor foliar de Si não foi houve efeito significativo para nenhum dos fatores estudados, o mesmo foi verificado no trabalho de Nocchi (2019), onde estudando doses de Si em sistema irrigado e sequeiro não encontrou efeito pra o teor de Si foliar. Além do tipo de solo, a espécie vegetal e as variedades influenciam sobremaneira na quantidade de Si absorvido pelas plantas. Como o Si não é considerado um nutriente, em alguns casos não é verificado o efeito da adubação silicatada em plantas não acumuladoras de Si (CAMARGO, 2016). Entretanto, quando algum tipo de estresse, biótico ou abiótico, está presente é possível verificar os efeitos do Si.

Tabela 19. Teores foliar de manganês (Mn), zinco (Z), cobre (Cu), ferro (Fe) e silício (Si) de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em função de doses de Si, do cloreto de mepiquat e da disponibilidade de hídrica. Ilha Solteira, 2019.

FV	p>F				
	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	----- mg.kg-1 -----				
Condições hídricas (H)	0,046*	0,001**	0,001**	0,001**	0,172 ^{ns}
Cloreto de mepiquat (M)	0,068 ^{ns}	0,290 ^{ns}	0,001**	0,017*	0,384 ^{ns}
Doses silicato de cálcio (D)	0,515 ^{ns}	0,153 ^{ns}	0,455 ^{ns}	0,905 ^{ns}	0,818 ^{ns}
H*M	0,306 ^{ns}	0,481 ^{ns}	0,282 ^{ns}	0,431 ^{ns}	0,384 ^{ns}
H*D	0,083 ^{ns}	0,232 ^{ns}	0,101 ^{ns}	0,408 ^{ns}	0,308 ^{ns}
M*D	0,213 ^{ns}	0,896 ^{ns}	0,541 ^{ns}	0,865 ^{ns}	0,907 ^{ns}
H*M*D	0,810 ^{ns}	0,686 ^{ns}	0,493 ^{ns}	0,892 ^{ns}	0,671 ^{ns}
C.V (%)	36,62	25,28	18,83	16,32	5,71
Média Geral	11,54	74,48	92,29	56,95	1,74
Condições hídricas					
CC	10,46 b	63,34 b	73,37 b	46,75 b	1,72
1/3CC	12,62 a	85,62 a	111,21 a	64,15 a	1,76
Cloreto de mepiquat					
COM	12,53	77,00	109,34 a	59,81 a	1,75
SEM	10,56	71,96	75,25 b	54,09 b	1,73
Doses de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)					
0	12,25	73,87	92,00	56,37	1,75
100	10,87	77,5	96,00	58,43	1,75
200	10,62	65,87	94,00	56,68	1,76
400	12,43	80,68	86,68	56,31	1,72
p>F (Linear)	0,739	0,450	0,270	0,816	0,462
p>F (quadrática)	0,145	0,156	0,252	0,703	0,574
r ² (linear %)	4,84	10,54	46,81	9,81	59,32
r ² (quadrática %)	99,6	47,68	97,52	36,13	93,84

ns, ** e * - não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

4 CONCLUSÕES

Os tratamentos sem déficit hídrico apresentaram maiores altura, diâmetro do caule e número de nós na planta de algodão.

A utilização do cloreto de mepiquat reduziu a altura de plantas, o diâmetro caulinar, número de nós e no número ramos reprodutivos, e aumentou a taxa de fotossíntese líquida, transpiração e a condutância estomática e os níveis de prolina livre nas plantas.

O silicato de cálcio aumentou a espessura da epiderme abaxial das folhas.

As doses de silicato de cálcio em conjunto com o cloreto de mepiquat aumentou na atividade da POD, isso quando não submetido a estresse hídrico.

5 REFERÊNCIAS

ALLAIN, C. C.; POON, L. S.; CHAN, C. S. G.; RICHMOND, W.; FU, P. C. Enzymatic determination of total serum cholesterol. **Clinical Chemistry**, Baltimore, v. 120, n. 4, p. 470-475, 1974.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 55, p. 373–99, 2004.

AZEVEDO, D. M. P. ;BEZERRA, J. R. C.; SANTOS, J. W.; DIAS, J. M.; BRANDÃO, Z. N. Efeito do parcelamento do cloreto de mepiquat em algodoeiro irrigado no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 2 - 3, p. 823-830, 2004.

AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M.; NÓBREGA, L. B.; LEÃO, A. B.; CARDOSO, G. D.; VIEIRA, D. J. Reguladores de crescimento, desfolhantes e desseccantes. In: BELTRÃO, N. E.; AZEVEDO, D. M. P. (ed.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 2, cap. 25, p. 130-180.

BALDO, R.; SCALON, S. D. P. Q.; ROSA, Y. B. C. J.; MUSSURY, R. M.; BETONI, R.; BARRETO, W. D. S. Comportamento do algodoeiro cultivar delta opal sob estresse hídrico com e sem aplicação de bioestimulante. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. SPE, p. 1804–1812, 2009.

BARBOSA FILHO, M. P. *et al.* Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 425-431, 2009.

BASAGLI, M. A. B.; MORAES, J. C.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C.; GONÇALVES-GERVÁSIO, R. D. C. Efeito da aplicação de silicato de sódio na resistência de plantas de trigo ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 659–663, 2003.

BASSET, D.M.; ANDERSON, W.D.; WERKHOVEN, C. H. E. Dry matter production and nutrient uptake in irrigated cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n. 2, p. 299-303, 1970.

BATAGLIA, O. C. *et al.* **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983.48 p. (Boletim Técnico, 78).

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, Maryland, v. 44, n. 1, p. 276-287, 1971.

BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G. Fisiologia e ecofisiologia do algodoeiro. *In*: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados: EMBRAPA- CNPAO, 2011. p. 54-75.

BOGIANI, J. C.; ROSOLEN, C. A. Sensibilidade de cultivares de algodoeiro ao cloreto de mepiquat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 10, p. 1246-1253, 2009.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing principle of protein-dye-binding. **Analytical biochemistry**, Athens, v. 72, n. 1, p. 2, 1976.

CAMARGO, M. S. Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 155, 9 p. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309465267_Efeito_do_silicio_na_tolerancia_das_plantas_aos_estresses_bioticos_e_abioticos. Acesso em: 16 mar. 2020.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CONSELHO NACIONAL DO ABASTECIMENTO - CONAB. **Levantamento mensal safra brasileira: algodão**. Junho/julho de 2019 1. n. 61, 2019.

COSTA, R. C. L. **Assimilação de nitrogênio e ajustamento osmótico em plantas noduladas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp submetidas ao estresse hídrico**. 1999. Tese (Doutorado) – [Universidade Federal do Ceará], Fortaleza, 1999.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras**: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre: Ed. PUCRS, 2007. Disponível em: <http://www.pucrs.br/edipucrs/online/microscopia.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Aplicação do regulador cloreto de mepiquat no crescimento e na produtividade do algodão herbáceo**. Campina Grande: Embrapa, 1997. 71 p.

EYIDOĞAN, F.; OZ, M. T. Effect of salinity on antioxidant responses of chickpea seedlings. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 29, p. 48-493, 2007.

FERNANDEZ, C. J. Carbon and water economies of well-watered and water deficient cotton plants treated with mepiquat chloride. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 1, p. 175-80, 1992.

FERRARI, J. V., FURLANI JUNIOR, E., FERRARI, S.; PORTUGAL GOUVEA LUQUES, A. P. Estado nutricional e produtividade de algodoeiro em função de

diferentes espaçamentos e aplicação de regulador de crescimento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 5, p. 2285-2296, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/129878/WOS000352019800004.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 mar. 2020.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. *In*: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA- RBRAS, 45., 2000, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FURLANI JÚNIOR, E.; SILVA, N. M. D.; CARVALHO, L. H.; BORTOLETTO, N.; SABINO, J. C.; BOLONHEZI, D. Modos de aplicação de regulador vegetal no algodoeiro, cultivar IAC-22, em diferentes densidades populacionais e níveis de nitrogênio em cobertura. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 227-233, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v62n2/v62n2a07.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2020.

GHEESLING, R. H.; PERKINS, H. F. Critical levels of manganese and magnesium in cotton at different stages of growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n. 1, p. 29-32, 1970.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: USP, 2000. 477 p.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da Aplicação de Silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da Lagarta-do-Cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Dordrecht, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

GRIMSTONE, A. V. **O microscópio eletrônico em biologia**. EPU, 1980.

HERNÁNDEZ, J. A.; JIMENEZ, A.; MULLINEAUX, P.; SEVILLA, F. Tolerance of pea plants (*Pisum sativum*) to long term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. **Plant Cell and Environment**, v. 23, p. 853-862, 2000.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; SANKAR, B.; KISHOREKUMAR, A.; GOPI, R.; SOMASUNDARUM, R.; PANNEERSELVAN, R. Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*: Effects on oxidative stress, praline metabolism and indole alkaloid accumulation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 60, p. 110-116, 2007.

JONES, M. B. Plant microclimate. *In*: JONES, M. B. **Photosynthesis and production in a changing environment**. New York: Springer, 1993. p. 47-64.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, New York, v. 57, n. 2, p. 315- 319, 1976.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: G. Koogan, 2004. 452 p.

LIMA FILHO, O. F. Aspectos gerais sobre o silício em solos, plantas e animais. *In*: ANAIS DO SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA: silício na

agricultura, 5., 2010, Viçosa, MG. **Anais [...]**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2010. p. 47–60.

LIMA, G. P. P. **Efeito do cálcio sobre o teor de poliaminas e atividade da peroxidase e redutase de nitrato em calos de arroz (*Oryza sativa* L. cv. IAC 4440)**. 1994. 84 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

LIMA, M. A.; CASTRO, V. F. D.; VIDAL, J. B.; ENÉAS-FILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 398–403, 2011. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1742/554>. Acesso em: 16 mar. 2020.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. D. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. *In*: MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. D. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. p. 115-230.

MARCUS-WYNER, L.; RAINS, D.W. Nutritional disorders of cotton plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 13, p. 685-736, 1982.

MINOLTA, C. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions, 1989.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Plant Science**, London, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.

MORAES, C. B.; MORU, E. S.; RODRIGUES, J. D. **Indução de florescimento em espécies florestais por meio de reguladores vegetais**. Ilha Solteira, 2004. Relatório Final de Iniciação Científica da Fapesp, Processo, n. 03/04144, p. 5, 2004.

NEVES, D. C. **Efeito da aplicação de subdoses de glifosato em algodoeiro**. 2009. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

NOCCHI, R. C. F. **Aplicação foliar de silício em algodoeiro herbáceo em função da disponibilidade de água**. 2019. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/182414/nocchi_rcf_me_ilha.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 16 mar. 2020.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F. D.; OLIVEIRA, F. R. A. D.; FREIRE, A. G.; SOARES, L. C. D. S. Produção do algodoeiro em função da salinidade e tratamento de sementes com regulador de crescimento. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, p. 279–287, 2012.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J.; TURCO, J. E. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido à diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

PEIXOTO, M. L.; MORAES, J. C.; SILVA, A. A.; ASSIS, F. A. Efeito do silício na preferência para oviposição de *Bemisia tabaci* biótipo b (GENN.) (Hemiptera: Aleyrodidae) em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**. v. 35, n. 3, p. 478–481, 2011.

POZZA, A. A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G. D.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P. T.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 2, p. 185–188, 2004.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI BDE, A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997.

REDDY, V. R.; BAKER, D. N.; HODGES, H. F. Temperature and mepiquat chloride on cotton canopy architecture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, n. 2, p. 190-195, 1990.

SIEGEL, B. Z. Plant peroxidases: an organism perspective. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 12, p. 303-312, 1993.

SILVA, N. M.; RAIJ, B. van. Fibrosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1999. Cap. 16, p. 107-111. (Boletim Técnico, 100).

SOUZA, F. S.; MARTARELLO, F. H. H.; ROSOLEM, C. A.; OOSTERHUIS, D. Efeito do cloreto de mepiquat na espessura de folhas do algodoeiro em função da temperatura. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 315–317, 2007.

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

STEWART, A. M.; EDMISTEN, K. L.; WELLS, R.; JORDAN, D. L.; YORK, A. C. Wick applicator for applying mepiquat chloride on cotton. **Journal of Cotton Science**, Washington, v. 14, p. 9–14, 2001.

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

YEATS, S. J.; CONSTABLE, G. A.; MCCUMSTIE, T. Cotton growth yield after seed treatment with mepiquat chloride in tropical winter season. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 93, n. 3, p. 122-131, 2005.

Capítulo 2: EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE SILICATO DE CÁLCIO NO ALGODOEIRO HERBÁCEO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS

RESUMO: O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) necessita, para seu crescimento e desenvolvimento, com certa frequência, de uma quantidade de água adequada, definida de acordo com o solo e clima. A falta de água em períodos críticos do ciclo compromete seu crescimento e desenvolvimento. A aplicação foliar de silício pode atuar na redução dos estresses abióticos causados por pela baixa disponibilidade hídrica. Objetivou-se, com este trabalho, estudar os efeitos do silicato de cálcio no algodoeiro herbáceo em diferentes regimes hídricos. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, no esquema fatorial 4x4, com 4 repetições. Os fatores estudados foram: 4 doses de Silicato de Cálcio (0; 100; 200 e 400 g ha⁻¹) e 4 regimes hídricos (30; 50; 70 e 100% da capacidade de campo (CC)). Foram avaliados: Altura das plantas, diâmetro do caule, número de nós, número de ramos reprodutivos, número de estruturas reprodutivas, índice SPAD, trocas gasosas, produção e partição de massa seca e teor nutricional. A altura da planta, diâmetro do caule e número de nós, número de ramos e estruturas reprodutivas aumentaram com os níveis de água no solo. Os maiores níveis de fotossíntese líquida ocorreram com a dose de 200 g ha⁻¹ e 70% da CC. A massa seca de folhas, caule e raiz foram afetados pelo aumento da capacidade de campo. O teor de Ca nas folhas aumentou com a disponibilidade de água. As doses de silicato de cálcio aumentaram os teores de Mg nas folhas e no caule.

Palavras-chave: Cotonicultura; adubação silicatada; regime hídrico; fotossíntese.

EFFECT OF CALCIUM SILICATE FOLIAR APPLICATION ON HERBACEOUS COTTON UNDER DIFFERENT WATER CONDITIONS

ABSTRACT: The herbaceous cotton (*Gossypium hirsutum* L. v. *Latifolium* Hutch.) Needs, for its growth and development, with a certain frequency, an adequate amount of water defined according to the soil and climate. The lack of water in critical periods of the cycle compromises growth and development. The foliar application of silicon can reduce abiotic stresses caused by low water availability. The objective of this work was to study the effects of calcium silicate on herbaceous cotton in different

water regimes. The experiment was carried out in a greenhouse. The experimental design was completely randomized, in a 4x4 factorial scheme, with 4 replications. The studied factors were: 4 doses of Calcium Silicate (0; 100; 200 and 400 g ha⁻¹) and 4 water regimes (30; 50; 70 and 100% of the field capacity (CC)). plants, stem diameter, number of nodes, number of reproductive branches, number of reproductive structures, SPAD index, gas exchange, dry mass production, and partition and nutritional content. Plant height, stem diameter and number of nodes, the number of branches and reproductive structures increased with water levels in the soil. The highest levels of liquid photosynthesis occurred with a dose of 200 g ha⁻¹ and 70% of WC. The dry mass of leaves, stem, and root was affected by the increase in field capacity. The Ca content in the leaves increased with the availability of water. The doses of calcium silicate increased the levels of Mg in the leaves and stem.

Keywords: Cotoniculture. Silicate fertilization. Water regime. Photosynthesis.

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* H.) é uma malvácea de clima tropical que apresenta tolerância relativamente alta à seca quando comparado a culturas como soja, arroz, milho. Isso se deve à sua capacidade de aprofundamento do sistema radicular em condições de déficit hídrico, o que permite à planta absorver água em camadas mais profundas do solo em condições de estresse (ROSOLEM, 2007).

O algodoeiro necessita, para seu crescimento e desenvolvimento, com certa frequência, de uma quantidade de água adequada definida de acordo com o solo e clima. A falta de água em períodos críticos do ciclo compromete o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas (HUSSEIN *et al.*, 2011; LUO *et al.*, 2014). Beltrão *et al.* (2001) afirmaram que a escassez de água afeta o crescimento do algodoeiro, cujos efeitos mais críticos ocorrem nos estádios de seu ciclo fenológico de floração e de formação e de desenvolvimento dos frutos.

Nos últimos anos, o silício tem despertado a atenção e o interesse de pesquisadores em todo mundo. Apesar de não ser considerado um elemento essencial, a absorção e acumulação do silício pelas plantas trazem inúmeros benefícios (KORNDÖRFER *et al.* 2002).

O Si pode atuar na redução dos estresses abióticos causados por seca, salinidade e metais pesados, porém, os mecanismos de envolvidos ainda são poucos compreendidos, sendo variável para cada espécie. Hattori *et al.* (2005) observaram que as plantas de sorgo sob estresse hídrico com Si apresentaram maior taxa fotossintética, comparadas as plantas sem Si sob condições de seca. Bezerra (2015), relatou os benefícios potenciais do Si no favorecimento do desenvolvimento morfológico da cana-de-açúcar, conferindo maior número de folhas totais e comprimento de plantas na fase de máximo desenvolvimento, sob estresse hídrico

Assim, acredita-se que o silício representa uma alternativa interessante, com grande potencial para ser utilizado na melhoria da produção agrícola brasileira. No entanto, os estudos com Si na cultura do algodão são escassos. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do Si no algodoeiro herbáceo em diferentes regimes hídricos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do Experimento

O presente trabalho foi desenvolvido em condições de casa de vegetação tipo Pad e Fan, com temperatura máxima de 30°C, na UNESP de Ilha Solteira - SP, localizada a 20°43'09" de latitude sul e 51°33'79" de longitude oeste do meridiano de Greenwich, tendo altitude de 335 metros. No período de outubro de 2019 a janeiro de 2020.

2.2 Características do solo

O solo utilizado foi um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, proveniente do município de Selvíria, MS, onde está localizada a Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP (FEPE). Foram feitas as análises químicas no Laboratório de Solos da UNESP Ilha Solteira, SP (Tabela 20).

Com base na análise química, o solo foi adubado com 8-28-16 NPK e realizado, ainda uma adubação nitrogenada em cobertura na forma de ureia, aos 40 dias após a emergência das plântulas.

Tabela 20. Características químicas do solo utilizado no experimento, 0,0-0,20 m, proveniente da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Selvíria, MS. 2020

P resina	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
mg/dm ³	g/dm ³	(CaCl ₂)	mmolc/dm ³						(%)
3	15	5,7	0,6	11	7	15	0	33,6	55

Fonte: próprio autor.

2.3 Delineamento Experimental

Para a realização do experimento, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com esquema fatorial 4 X 4, com 4 repetições, constituído por quatro condições hídricas (30, 50, 70 e 100% da capacidade de campo (CC)) e quatro doses de silicato de cálcio (0; 100; 200 e 400 g ha⁻¹).

2.4 Instalação e Condução do Experimento

Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico com capacidade para 15 L preenchidos igualmente com 1 kg de brita e 14 kg de solo, em seguida sobrepostos em bancada e posteriormente foram saturados com água, cobertos com sacos de polietileno, para evitar a evaporação e deixados em repouso, até a estabilização mais aproximada à CC. Todos os vasos foram submetidos a leitura da umidade de solo, sendo utilizado o tensiômetro, que indica a tensão, em tempo real, em que a água se encontra retida no solo, e portanto, direcionando o correto manejo da irrigação, determinando assim a quantidade de água a ser colocada em cada vaso.

Foram semeadas por vaso, 4 sementes de algodão do genótipo TMG 81WS. A emergência das plântulas ocorreu aos 6 dias após o plantio, sendo realizados dois desbastes, o primeiro aos 15 DAE e o segundo aos 25 DAE deixando-se uma planta por vaso até o término do experimento.

O silicato de cálcio (75 - 90% de SiO₂ e 10 - 25% de CaO), foi aplicado nas plantas com um borrifador spray, via foliar nas plantas e parcelado igualmente em três períodos, aos 30, 45 e 60 DAE.

2.5 Variáveis analisadas

2.5.1 Características agronômicas

Foram avaliadas em todas as plantas, aos 35, 50 e 65 DAE:

Altura da planta (cm): medição feita do solo ao ápice da planta com o auxílio de uma trena.

Diâmetro do caule (mm): medido na altura de 2 cm em relação ao solo, realizado com o auxílio de um paquímetro.

Número de nós: contagem do número total de nós do caule a cada medição da altura do algodoeiro.

Número de ramos reprodutivos: Realizado por contagem a cada medição da altura do algodoeiro.

Número de estruturas reprodutivas: Realizado pela contagem de cada estrutura reprodutiva (botão floral, flor e fruto)

Índice SPAD: as leituras foram efetuadas com o medidor portátil SPAD-502, desenvolvido pela Minolta (1989).

2.5.2 Medidas fotossintéticas

A concentração interna de CO₂ na câmara subestomática (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e, a Taxa fotossintética líquida expressa por área (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), foram avaliadas utilizando-se um equipamento portátil de trocas gasosas (Infra Red Gas Analyser –IRGA, marca ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro), sendo as condições inicialmente impostas para realização das medidas de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), providas por lâmpadas LED; 380 ppm de CO₂ e temperatura da câmara em 28°C. As medições de trocas gasosas foram realizadas aos 80 DAE, em dia ensolarado, no período compreendido entre as 8:00 e 12:00h, tomando-se a 2ª ou 3ª folha adulta, completamente expandida, do ápice do ramo.

2.5.3 Produção e partição de massa seca

Realizou-se por ocasião da coleta das plantas (aos 90 DAE), a separação das raízes, folhas e caules, os quais foram acondicionados em sacos de papel perfurados e colocados em estufa a 60°C, para secagem até peso constante; em seguida, procedeu-se a pesagem desse material, obtendo-se a massa seca da raiz (MSR), caule (MSC) e folhas (MSF), cujo somatório resultou na massa seca total (MST). Com o somatório da massa seca dos caules e folhas obteve-se a massa seca da parte aérea (MSPA).

2.5.4 Teor nutricional

A análise foliar do algodoeiro foi realizada por meio de coleta de folhas da haste principal, aos 90 DAE, de acordo com as recomendações de Silva (1999), no sentido de verificar o efeito dos tratamentos estudados na concentração de nutrientes. Após a coleta, o material vegetal foi submetido à secagem em estufa com circulação e renovação de ar, moído e encaminhado ao laboratório de análise foliar do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia da UNESP, campus de Ilha Solteira, onde seguiram as metodologias relatadas por Bataglia *et al.* (1983), Embrapa, (1997), Malavolta *et al.* (1997) para a determinação dos macronutrientes.

2.6 Análise dos resultados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade. Para os fatores quantitativos, foi realizada a análise de regressão polinomial com o uso do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Altura de plantas

As alturas das plantas apresentaram efeito significativo para as diferentes condições hídricas, em todas as datas de avaliação (Tabela 21), com o crescente nível de água no solo, há respectivamente um aumento no tamanho das plantas.

As doses de silicato de cálcio não influenciaram a altura das plantas e não houve interação entre as doses de silicato de cálcio x Condições hídricas.

Cordão *et al.* (2018) observaram que o déficit hídrico restringiu o crescimento de cultivares de algodoeiro herbáceo (BRS 286 e BRS 336). De acordo com Larcher (2006), a deficiência hídrica resulta em uma diminuição do volume celular e uma progressiva desidratação do protoplasto, onde a primeira e mais sensível resposta é a diminuição da turgescência e, associada a esse evento, a diminuição do crescimento, principalmente em extensão.

Tabela 21. Altura (cm) de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio e da disponibilidade. Ilha Solteira, 2020.

FV	p>F		
	35 DAE	50 DAE	65 DAE
Condições hídricas (H)	0,023*	0,001**	0,001**
Doses silicato de cálcio (D)	0,530 ^{ns}	0,365 ^{ns}	0,563 ^{ns}
H*D	0,318 ^{ns}	0,270 ^{ns}	0,605 ^{ns}
C.V (%)	7,63	9,75	11,74
Média Geral	51,13	58,07	79,34
Condições Hídricas			
30%	49,25	53,96	66,06
50%	50,06	55,09	76,96
70%	51,96	59,53	85,06
100%	53,24	63,71	89,28
p>F (linear)	0,003 ⁽¹⁾	0,001 ⁽²⁾	0,001 ⁽³⁾
p>F (quadrática)	0,814	0,285	0,157
r ² (linear %)	97,95	95,01	96,42
r ² (quadrática %)	98,49	98,94	99,98
Doses de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)			
0	52,21	59,71	81,65
100	51,21	58,00	78,68
200	50,91	58,43	79,93
400	50,18	56,15	77,09
p>F (linear)	0,158	0,099	0,225
p>F (quadrática)	0,720	0,969	0,923
r ² (linear %)	92,11	87,04	73,23
r ² (quadrática %)	97,92	87,08	73,69
⁽¹⁾ y=0,0555x+47,6599 ⁽²⁾ y=0,13475x+49,6562 ⁽³⁾ y=0,31100x+59,90625			

ns, ** e * - não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Fonte: próprio autor.

3.2 Diâmetro caulinar

As condições hídricas influenciaram na espessura do diâmetro do caule do algodoeiro desde a primeira avaliação, sendo que as plantas que foram submetidas a menor nível de água (30%) tiveram a menor espessura do diâmetro caulinar (Tabela 22).

Resultados semelhantes foram os encontrados por Souza e Beltrão (1999), que avaliaram os níveis para reposição de água no solo 25, 50 e 75% da água disponível em genótipo TMG 11 WS de algodoeiro, também observaram que o menor nível de água no solo causou efeito depreciativo sobre o diâmetro caulinar.

O estresse hídrico proporciona nas plantas um desequilíbrio hormonal (citocinina, ácido abscísico), desfavorecendo a divisão e alongamento celular (TAIZ; ZEIGER, 2004 e ZHAO *et al.* 2006).

Tabela 22. Diâmetro caulinar (mm) de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.

FV	p>F		
	35 DAE	50 DAE	65 DAE
Condição hídrica (H)	0,030*	0,003**	0,001**
Doses silicato de cálcio (D)	0,569 ^{ns}	0,372 ^{ns}	0,176 ^{ns}
H*D	0,415 ^{ns}	0,352 ^{ns}	0,596 ^{ns}
C.V (%)	10,08	8,33	8,5
Média Geral	7,6	8,08	9,06
Condição hídrica			
30%	7,18	7,60	8,21
50%	7,25	7,93	8,94
70%	7,71	8,37	9,34
100%	8,00	8,43	9,77
p>F (linear)	0,003 ⁽¹⁾	0,001 ⁽²⁾	0,001 ⁽³⁾
p>F (quadrática)	0,881	0,448	0,433
r ² (linear %)	98,90	93,68	97,72
r ² (quadrática %)	99,13	97,34	99,47
Doses de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)			
0	7,42	8,11	8,78
100	7,53	8,32	9,38
200	7,77	7,97	8,98
400	7,68	7,93	9,12
p>F (linear)	0,293	0,247	0,523
p>F (quadrática)	0,423	0,785	0,35
r ² (linear %)	55,52	42,90	8,06
r ² (quadrática %)	87,57	45,26	25,35
⁽¹⁾ y=0,0106x+6,94281 ⁽²⁾ y=0,01165x+7,35781 ⁽³⁾ y=0,02037x+7,79625			

ns, ** e * -não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Fonte: próprio autor.

3.3 Número de nós

O número de nós foi afetado pelas condições hídricas aos 50 e 65 DAE (Tabela 23). O número de nós cresceu com o aumento do nível de água no solo.

Kawakami *et al.* (2010) verificaram que as plantas de algodão estressadas pela água exibiam um menor número de nós do que as plantas bem regadas. Essa

redução está relacionada à diminuição da estatura, pois, segundo Singh *et al.* (2006), o número de nós diminui com a diminuição da altura da planta.

As doses de silicato de cálcio não apresentaram efeito significativo. Houve interação desses dois fatores aos 65 DAE. Com o aumento do nível de água no solo há um ajuste linear para o número de nós por planta, independente da dose de silicato de cálcio aplicado. Com metade da CC (50%), há uma diminuição no número de nós por planta, com o aumento das doses de silicato de cálcio, até a dose de 200 g ha⁻¹ onde a uma estabilização no número de nós.

Tabela 23. Número de nós de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.

FV	p>F		
	35 DAE	50 DAE	65 DAE
Condição hídrica (H)	0,158 ^{ns}	0,010 ^{**}	0,001 ^{**}
Doses silicato de cálcio (D)	0,438 ^{ns}	0,836 ^{ns}	0,900 ^{ns}
H*D	0,413 ^{ns}	0,796 ^{ns}	0,019 [*]
C.V (%)	8,49	7,80	6,51
Média Geral	8,45	9,01	13,07
Condição hídrica			
30%	8,31	8,68	11,87
50%	8,31	8,75	13,00
70%	8,37	9,18	13,56
100%	8,81	9,43	13,87
p>F (linear)	0,057	0,002 ⁽¹⁾	0,506
p>F (quadrática)	0,229	0,379	0,724
r ² (linear %)	69,83	85,11	92,69
r ² (quadrática %)	97,21	91,44	99,79
Doses de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)			
0	8,37	9,06	13,12
100	8,62	8,93	13,12
200	8,25	9,12	13,12
400	8,56	8,93	12,93
p>F (linear)	0,704	0,743	0,506
p>F (quadrática)	0,676	0,776	0,724
r ² (linear %)	5,31	12,80	77,14
r ² (quadrática %)	11,73	22,42	98,79
⁽¹⁾ y=0,01025x+8,37500			

ns, ** e * -não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente
Fonte: próprio autor.

Tabela 24. Desdobramento da interação condições hídricas x doses de silicato de cálcio referentes à número de nós de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch) aos 65 dias após emergência (DAE). Ilha Solteira, 2020.

silicato de cálcio (g ha ⁻¹)	Condições hídricas				p>F	p>F	r ²	r ²
	30%	50%	70%	100%	linear	quadrática	linear %	quadrática %
0	11,75	14,00	12,75	14,00	0,006 ⁽¹⁾	0,246	42,46	49,47
100	12,25	13,00	13,50	13,75	0,011 ⁽²⁾	0,560	95,24	100,00
200	11,25	12,50	14,25	14,50	0,001 ⁽³⁾	0,246	93,63	97,17
400	12,25	12,50	13,25	13,75	0,030 ⁽⁴⁾	0,382	63,52	73,41
p>F (linear)	0,622	0,021 ⁽⁵⁾	0,108	0,28	⁽¹⁾ y=0,022x+11,750			
p>F (quadrática)	0,398	0,114	0,064	0,207	⁽²⁾ y=0,020x+11,8750			
r ² (linear %)	6,49	68,57	41,49	26,59	⁽³⁾ y=0,046x+10,250 ⁽⁴⁾ y=0,017x+11,875			
r ² (quadrática %)	25,62	99,85	96,9	63,01	⁽⁵⁾ y=-0,003429x+13,60000			

Fonte: próprio autor.

3.4 Número de ramos reprodutivos

Pode-se verificar efeito significativo das condições hídricas aos 50 e 65 DAE para número de ramos reprodutivos (Tabela 25). Para as doses de silicato de cálcio verificou-se efeito significativo somente aos 50 DAE, pelo teste f.

O número de ramos reprodutivos apresentara efeito linear, com o aumento da disponibilidade hídrica, quanto maior o nível de água no solo a um aumento no número de ramos reprodutivos por planta. Plantas cultivadas com baixa disponibilidade hídrica apresentam menor altura e menor número de nós (Tabela 21 e 23). O menor crescimento vegetativo, especialmente em altura, contribui pra menor número de ramos produtivos (CORDÃO SOBRINHO *et al.*, 2007).

Tabela 25. Número de ramos reprodutivos de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.

FV	p>F		
	35 DAE	50 DAE	65 DAE
Condição hídrica (H)	0,427 ^{ns}	0,002 ^{**}	0,001 ^{**}
Doses silicato de cálcio (D)	0,179 ^{ns}	0,023 [*]	0,214 ^{ns}
H*D	0,367 ^{ns}	0,469 ^{ns}	0,085 ^{ns}
C.V (%)	17,11	13,25	10,47
Média Geral	4,34	5,28	8,64
Condições hídricas			
30%	4,18	4,87	7,62
50%	4,18	5,06	8,68
70%	4,50	5,37	8,68
100%	4,50	5,81	9,56
p>F (linear)	0,139	0,001 ⁽¹⁾	0,001 ⁽²⁾
p>F (quadrática)	0,997	0,478	0,680
r ² (linear %)	80,00	96,90	89,58
r ² (quadrática %)	80,00	100,00	90,05
Doses de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)			
0	4,06	5,25	8,81
100	4,65	5,75	8,62
200	4,25	5,06	8,87
400	4,43	5,06	8,25
p>F (linear)	0,398	0,110	0,104
p>F (quadrática)	0,420	0,511	0,366
r ² (linear %)	14,29	25,71	59,27
r ² (quadrática %)	27,27	29,96	77,24
⁽¹⁾ y=0,012500x+4,5000		⁽²⁾ y=0,02325x+7,18750	

ns, ** e * - não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Fonte: próprio autor.

3.5 Número de estruturas reprodutivas

Verifica-se que as condições hídricas influenciaram o número de estruturas reprodutivas (botão floral, flor e fruto) nas três épocas de avaliação (Tabela 26).

O número de estruturas reprodutivas aumentou de forma linear com o aumento da do nível da CC. Este resultado está de acordo com OOSTERHUIS (1992), que relata que o ambiente em que a planta está exposta afeta profundamente tanto a abscisão de folhas, quanto as estruturas reprodutivas.

Segundo Kerbaudy (2004) o estresse hídrico diminui o número e a taxa de crescimento dos ramos do algodoeiro.

A deficiência hídrica tem sido considerada um dos principais fatores ambientais que provocam a abscisão de estruturas reprodutivas em algodoeiro, justamente por causar acentuado estresse nas plantas (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Situações de deficiência hídrica e estresse osmótico, provocam aumento tanto de etileno quanto de ácido abscísico hormônios que participam dos processos de amadurecimento e envelhecimento, como queda de folhas e frutos (LIMA, 2001)

Tabela 26. Número de estruturas reprodutivas de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.

FV	p>F		
	35 DAE	50 DAE	65 DAE
Condição hídrica (H)	0,042*	0,001**	0,001**
Doses silicato de cálcio (D)	0,186 ^{ns}	0,059 ^{ns}	0,167 ^{ns}
H*D	0,010**	0,872 ^{ns}	0,345 ^{ns}
C.V (%)	74,03	76,62	10,67
Média Geral	0,68	0,73	2,23
Condições hídricas			
30%	0,42	0,47	1,92
50%	0,70	0,48	2,25
70%	0,76	0,76	2,26
100%	0,96	1,20	2,50
p>F (linear)	0,008 ⁽¹⁾	0,001 ⁽²⁾	0,001 ⁽³⁾
p>F (quadrática)	0,938	0,111	0,475
r ² (linear %)	85,48	84,80	87,67
r ² (quadrática %)	85,55	99,62	88,77
Doses de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)			
0	0,45	0,41	2,35
100	0,81	0,93	2,20
200	0,70	0,75	2,17
400	0,79	0,82	2,22
p>F (linear)	0,148	0,136	0,191
p>F (quadrática)	0,277	0,117	0,070
r ² (linear %)	43,32	28,95	33,32
r ² (quadrática %)	67,52	61,16	98,41
⁽¹⁾ y=0,006274x+0,297206 ⁽²⁾ y=0,009750x+0,123441 ⁽³⁾ y=0,006859x+1,809744			

ns, ** e * - não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Fonte: próprio autor.

As doses de silicato de cálcio não foram significativas, mais houve interação entre as doses de silicato de cálcio x condições hídricas aos 35 DAE.

As doses de 100 e 200 g ha⁻¹ de CaSiO₃, aumentaram de forma linear as estruturas reprodutivas nas plantas com o aumento da disponibilidade hídrica.

As plantas submetidas a baixa disponibilidade hídrica (30% CC) aumentaram os números de estruturas reprodutivas conforme aumentava as doses de silicato de cálcio, ou seja, em caso de estresse hídrico o silicato e cálcio contribuiu para diminuir abscisão de estruturas reprodutivas. A plantas submetidas a 50, 70 e 100% da CC apresentaram efeito polinomial quadrático. Com 70 e 100% da CC o número de estruturas aumentou com as doses de silicato de cálcio, tendo o ponto de máxima com 204,5 e 193,33 g ha⁻¹ de CaSiO₃ respectivamente, já com 50% da CC o efeito foi negativo onde a dose de 186,84 g ha⁻¹ contribuiu para a menor número de estruturas.

Tabela 27. Desdobramento da interação doses de silicato de cálcio x condições hídricas, referentes à número de estruturas reprodutivas de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch) aos 35 dias após emergência (DAE). Ilha Solteira, 2020.

Doses silicato de cálcio (g.ha ⁻¹)	Condições hídricas				p>F linear	p>F quadrática	r ² linear %	r ² quadrática %
	30%	50%	70%	100%				
0	0,00	0,95	0,25	0,60	0,338	0,243	11,64	29,04
100	0,25	0,50	0,85	1,39	0,011 ⁽¹⁾	0,298	86,16	99,73
200	0,50	0,50	1,20	1,10	0,003 ⁽²⁾	0,840	75,00	75,32
400	0,95	1,10	0,35	0,75	0,235	0,626	29,54	34,45
p>F (linear)	0,018 ⁽³⁾	0,515	0,979	0,858	⁽¹⁾ y=0,012x+0,0549 ⁽²⁾ y=0,014x+0,176			
p>F (quadrática)	0,805	0,013 ⁽⁴⁾	0,004 ⁽⁵⁾	0,048 ⁽⁶⁾	⁽³⁾ y=0,0021x+0,0585			
r ² (linear %)	77,47	5,95	0,01	0,56	⁽⁴⁾ y=-0,000019x ² -0,0071x+0,977			
r ² (quadrática %)	78,27	98,97	99,00	71,46	⁽⁵⁾ y=-0,000022x ² +0,009x+0,227			
					⁽⁶⁾ y=-0,000015x ² +0,0058x+0,6973			

Fonte: próprio autor.

3.6 Índice SPAD

Houve efeito das condições hídricas, aos 65 DAE, nas leituras SPAD (Tabela 28). Não ocorreu efeito significativo para as doses de silicato de cálcio e nem interação entre as doses de silicato de cálcio x condições hídricas.

Segundo Barbosa Filho *et al.* (2009) e Godoy *et al.* (2007), o índice SPAD mede a intensidade da cor verde da folha e estima a quantidade de clorofila. Ou seja, com base nos resultados, estima-se que com o aumento do nível da CC tenha diminuído o índice SPAD nas folhas.

Com estresse hídrico ocorre redução da expansão foliar, da altura de plantas e do número de ramos reprodutivos por planta (Arruda *et al.* 2002), em função disso ocorre a concentração do índice que cor verde nas plantas com baixa disponibilidade hídrica.

Tabela 28. Índice SPAD de plantas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em diferentes épocas de avaliação, em função das doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2020.

FV	p>F		
	35 DAE	50 DAE	65 DAE
Condição hídrica (H)	0,301 ^{ns}	0,404 ^{ns}	0,006 ^{**}
Doses silicato de cálcio (D)	0,224 ^{ns}	0,977 ^{ns}	0,528 ^{ns}
H*D	0,284 ^{ns}	0,919 ^{ns}	0,986 ^{ns}
C.V (%)	8,67	11,56	22,32
Média Geral	29,44	29,88	28,26
Condição hídrica			
30%	29,45	31,11	31,92
50%	30,45	29,64	30,36
70%	28,78	29,67	25,51
100%	29,45	29,11	25,26
p>F (linear)	0,606	0,128	0,001 ⁽¹⁾
p>F (quadrática)	0,586	0,600	0,681
r ² (linear %)	4,42	80,71	89,75
r ² (quadrática %)	12,43	90,09	90,99
Doses de silicato de cálcio (g.ha ⁻¹)			
0	28,46	29,71	28,29
100	30,36	30,19	28,29
200	29,6	29,91	26,56
400	29,35	29,72	29,91
p>F (linear)	0,646	0,909	0,495
p>F (quadrática)	0,128	0,752	0,269
r ² (linear)	4,72	6,61	21,07
r ² (quadrática %)	57,92	57,36	76,72
⁽¹⁾ y: -0,099325x+34,47500			

ns, ** e * -não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Fonte: próprio autor.

3.7 Trocas gasosas

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que houve diferenças significativas, em resposta às doses de silicato de cálcio sobre as variáveis: concentração interna de CO₂ (Ci), transpiração (E) e na fotossíntese líquida (A).

Também foram constatadas diferenças significativas entre as condições hídricas para fotossíntese líquida (A) (Tabela 29).

Tabela 29. Valores médios da concentração interna de CO₂ (Ci: $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$), transpiração (E: $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs: $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e fotossíntese líquida (A: $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em função das doses de silicato de cálcio e disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.

FV	p>F			
	Ci	E	gs	A
condições hídricas (H)	0,815 ^{ns}	0,691 ^{ns}	0,979 ^{ns}	0,001 ^{**}
doses silicato de cálcio (D)	0,001 ^{**}	0,021 [*]	0,768 ^{ns}	0,001 ^{**}
H*D	0,969 ^{ns}	0,972 ^{ns}	0,929 ^{ns}	0,001 ^{**}
C.V (%)	42,49	17,63	32,57	8,69
Média Geral	267,23	2,05	0,91	61,38
Condições hídricas				
30%	279,87	2,01	0,91	64,80
50%	246,25	2,13	0,92	56,29
70%	279,31	1,99	0,89	66,80
100%	246,25	2,06	0,93	57,47
p>F (linear)	0,900	0,988	0,875	0,052
p>F (quadrática)	0,755	0,821	0,824	0,800
R2 (linear %)	1,70	0,02	13,36	8,51
R2 (quadrática %)	12,14	3,56	40,16	8,65
Doses de silicato de cálcio (g ha ⁻¹)				
0	350,00	2,12	0,94	58,57
100	334,75	1,94	0,95	55,71
200	188,87	2,25	0,85	72,55
400	195,31	1,88	0,91	58,69
p>F (linear)	0,001 ⁽¹⁾	0,186	0,637	0,141
p>F (quadrática)	0,108	0,179	0,546	0,001 ⁽²⁾
R2 (linear %)	71,45	17,03	19,83	2,32
R2 (quadrática %)	80,95	34,6	52,26	39,88
⁽¹⁾ y=-0,43072x+342,6125 ⁽²⁾ y=-0,000227x ² +0,10067x+55,6671				

ns, ** e * - não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Fonte: próprio autor.

O aumento das doses de silicato de cálcio promoveu redução acentuada na Ci, resultados corroboram com os encontrados por Ferraz *et al.* (2014), que registraram redução na Ci com o aumento das doses de Si foliar em cultivares de algodoeiro herbáceo (BRS Safira e BRS Rubi). As reduções registradas na concentração interna de CO₂ reflete na diminuição da taxa de assimilação de dióxido de carbono, o que se justifica pelo fato que durante o processo de trocas gasosas, a

absorção de CO₂ acarreta na perda de água e, em sentido contrário, a redução dessa perda restringe a assimilação de dióxido de carbono e, conseqüentemente, ocasiona na menor concentração interna de CO₂ (SHIMAZAKI *et al.*, 2007).

As doses de silicato de cálcio influenciaram a transpiração das plantas, pois, a presença de Si demonstra equilíbrio evitando assim a transpiração excessiva do algodoeiro (TAKAHASHI, 1995).

Sem aplicação de silicato de cálcio a fotossíntese diminuiu linearmente com o aumento dos níveis de água. Com as doses de 200 e 400 g ha⁻¹ de CaSiO₃, há um ajuste polinomial quadrático, onde o maior valor de A ocorreu com 70% da CC.

Os níveis de água no solo de 30, 50 e 70% da CC apresentaram ajuste polinomial quadrático, tendo o maior valor da fotossíntese com a dose de 131, 140, 310 g ha⁻¹ respectivamente. O Si é considerado um promotor de fotossíntese melhorando a arquitetura da planta, permitindo assim uma melhor penetração da luz no dossel da planta (SHI *et al.* 2001).

Tabela 30. Valores médios fotossíntese líquida (A: $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em função das doses de silicato de cálcio e disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, 2019.

Doses silicato de cálcio (g ha ⁻¹)	Condições hídricas				p>F (linear)	p>F (quadrática)	r ² (linear %)	r ² (quadrática %)
	30%	50%	70%	100%				
0	71,00	60,42	49,05	53,82	0,001 ⁽¹⁾	0,006	73,00	94,73
100	58,90	52,39	56,37	55,17	0,549	0,324	11,81	44,00
200	78,32	66,95	84,38	60,54	0,004	0,024 ⁽²⁾	18,50	29,64
400	51,56	45,42	77,42	60,36	0,001	0,046 ⁽³⁾	29,38	34,50
p>F (linear)	0,001	0,020	0,001	0,057	⁽¹⁾ y=-0,2516x+74,303			
p>F (quadrática)	0,002 ⁽⁴⁾	0,006 ⁽⁵⁾	0,001 ⁽⁶⁾	0,428	⁽²⁾ y=-0,0049x ² +0,479x+65,949			
r ² (linear %)	28,56	29,46	60,97	74,34	⁽³⁾ y=-0,00436x ² +0,779x+30,455			
r ² (quadrática %)	45,92	51,72	83,18	86,83	⁽⁴⁾ y=-0,00024x ² +0,063x+66,636			
					⁽⁵⁾ y=-0,00021x ² +0,059x+57,189			
					⁽⁶⁾ y=-0,00038x ² +0,236x+45,646			

Fonte: próprio autor.

3.8 Produção e partição de massa seca

Verificou-se efeito significativo, para as condições hídricas para as variáveis, massa seca raiz (MSR), massa seca caule (MSC), massa seca folhas (MSF), massa seca parte aérea (MSPA), massa seca total (MST). Houve interação significativa entre os fatores estudados para a massa seca de folhas (MSF) (Tabela 31).

As variáveis referentes à massa seca (MSR, MSC, MSF, MSPA, MST), apresentaram crescimento linear com o aumento dos níveis de água no solo. As plantas na CC (100%) apresentaram maior massa seca que as plantas com 30% da CC. A aplicação das doses de silicato de cálcio via foliar em plantas de algodão não promoveu efeitos significativos para massa seca. Resultados semelhantes foram observados por Farias (2012) que constatou que as concentrações crescentes de silicato de cálcio não influenciaram na produção de matéria seca do algodoeiro.

Tabela 31. Massa seca raiz (MSR), massa seca caule (MSC), massa seca folhas (MSF), massa seca parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) aos 90 dias após emergência (DAE) do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum*), em função de doses de silicato de cálcio e da disponibilidade hídrica. Ilha Solteira, SP, 2020.

FV	p>F				
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST
Condições Hídricas (H)	0,001**	0,001**	0,001**	0,001**	0,001**
Doses silicato de cálcio (D)	0,321 ^{ns}	0,451 ^{ns}	0,245 ^{ns}	0,611 ^{ns}	0,731 ^{ns}
H*D	0,020*	0,451 ^{ns}	0,082 ^{ns}	0,116 ^{ns}	0,075 ^{ns}
C.V(%)	25,89	25,75	22,25	22,66	20,6
Média Geral	11,45	14,73	6,47	26,18	32,66
Condições hídricas					
30%	7,98	10,67	3,79	18,65	22,45
50%	12,25	14,40	6,02	26,65	32,68
70%	11,77	16,21	7,29	27,99	35,28
100%	13,79	17,65	8,77	31,44	40,22
p>F (linear)	0,001 ⁽¹⁾	0,001 ⁽²⁾	0,001 ⁽³⁾	0,001 ⁽⁴⁾	0,001 ⁽⁵⁾
p>F (quadrático)	0,136	0,233	0,302	0,133	0,123
r ² (linear %)	78,73	94,77	98,42	89,77	92,91
r ² (quadrático %)	85,64	99,58	99,48	95,62	97,06
Doses de silicato de cálcio (g.ha ⁻¹)					
0	11,71	15,91	6,54	27,62	34,16
100	10,88	14,03	6,59	24,92	31,51
200	10,72	14,96	6,89	25,68	32,57
400	12,47	14,04	5,87	26,51	32,39
p>F (linear)	0,344	0,284	0,177	0,830	0,631
p>F (quadrático)	0,109	0,626	0,162	0,264	0,492
r ² (linear %)	25,47	43,87	43,83	2,54	18,07
r ² (quadrático %)	99,99	52,86	90,79	72,38	55,19

ns, ** e * -não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Fonte: próprio autor.

Para a interação condições hídricas e doses de silicato de cálcio, para a massa seca de folhas houve um ajuste linear para as plantas submetidas a baixa disponibilidade hídrica (30% CC), onde o aumento das doses crescentes de Si aumentou o teor de massa seca das folhas (Tabela 32).

Quando não houve a aplicação foliar de silicato de cálcio, as plantas apresentaram um ajuste linear para massa seca de folhas, com o aumento dos níveis de água no solo, ou seja, quanto mais água no solo maior o teor de massa seca das folhas. O mesmo efeito é verificado para as doses de 100 e 200 g ha⁻¹. Com a maior dose de CaSiO₃ (400 g ha⁻¹) não houve diferença entre os níveis de água para a massa seca de folhas do algodoeiro.

Tabela 32. Desdobramento da interação condições hídricas x doses de silicato de cálcio, referente a massa seca folhas (MSF) do algodoeiro herbáceo. (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.). Ilha Solteira, 2020.

Doses silicato de cálcio (g ha ⁻¹)	Condições hídricas				p>F linear	p>F quadrático	r ² linear%	r ² quadrático%
	30%	50%	70%	100%				
0	4,69	12,58	13,32	16,23	0,001 ⁽¹⁾	0,100	85,60	94,07
100	6,82	10,83	12,20	13,68	0,002 ⁽²⁾	0,397	92,39	98,54
200	8,18	10,27	10,75	13,68	0,019 ⁽³⁾	0,778	83,24	84,38
400	12,21	14,83	11,28	11,58	0,415	0,437	18,96	36,20
p>F (linear)	0,001 ⁽⁴⁾	0,184	0,309	0,410	(1)y=0,1414x+2,870 (2)y=0,0877x+5,405 (3)y=0,0641x+6,713 (4)y=0,0185x+4,7425			
p>F (quadrático)	0,948	0,080	0,314	0,691				
r ² (linear %)	99,56	36,25	45,70	88,79				
r ² (quadrático %)	99,59	99,96	90,46	92,02				

Fonte: próprio autor.

3.9. Teor nutricional na raiz, caule e folha

As condições hídricas influenciaram os teores de nitrogênio (N), fosforo (P), potássio (K) na parte aérea (folhas e caule) do algodoeiro herbáceo. Para o N, K o efeito dos níveis de água no solo foi linear, onde o aumento dos níveis de água no solo resultou em um menor teor de N e K (Tabela 33 e 34).

Os menores teores desses nutrientes na parte aérea das plantas submetidas a maior disponibilidade hídrica podem ser atribuídos ao maior acúmulo de matéria (Tabela 31), onde ocorre uma concentração maior desses nutrientes nas plantas com menor massa seca.

Para o teor de P é possível verificar um efeito polinomial quadrático, onde o menor teor ocorre com 50% e 70% da CC, para folha e caule respectivamente.

Tabela 33. Teores de macronutrientes em folhas de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em função de doses de silicato de cálcio, e da disponibilidade de hídrica. Ilha Solteira, 2020.

FV	p>F					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g.kg ⁻¹ -----					
Condições hídricas (H)	0,001**	0,002**	0,001**	0,001**	0,606 ^{ns}	0,090 ^{ns}
Doses silicato de cálcio (D)	0,249 ^{ns}	0,096 ^{ns}	0,393 ^{ns}	0,112 ^{ns}	0,009**	0,206 ^{ns}
H*D	0,973 ^{ns}	0,454 ^{ns}	0,900 ^{ns}	0,918 ^{ns}	0,790 ^{ns}	0,319 ^{ns}
C.V	14,69	19,86	18,3	24,48	24,04	28,43
Média Geral	25,17	2,7	8,29	18,17	5,22	1,48
Condições hídricas						
30%	30,87	3,16	10,18	15,50	5,25	1,63
50%	24,06	2,45	7,94	16,07	4,98	1,48
70%	23,23	2,57	7,93	18,37	5,11	1,26
100%	22,52	2,62	7,12	22,76	5,56	1,56
p>F (linear)	0,001 ⁽¹⁾	0,016	0,001 ⁽³⁾	0,001 ⁽⁴⁾	0,467	0,350
p>F (quadrática)	0,002	0,007 ⁽²⁾	0,067	0,093	0,257	0,051
r ² linear	75,24	37,50	81,35	88,85	28,94	12,96
r ² (quadrática)	96,13	86,08	91,18	99,98	99,87	77,04
Doses de silicato de cálcio (g.ha ⁻¹)						
0	23,85	2,46	7,91	15,77	4,37	1,34
100	24,76	2,86	8,02	18,98	5,94	1,41
200	25,68	2,61	8,56	18,78	5,38	1,55
400	26,39	2,87	8,68	19,17	5,20	1,63
p>F (linear)	0,051	0,105	0,114	0,074	0,313	0,050
p>F (quadrática)	0,631	0,671	0,700	0,156	0,012 ⁽⁵⁾	0,689
r ² (linear)	94,14	40,68	84,85	52,87	8,16	94,17
r ² (quadrática)	99,68	43,40	89,76	85,81	61,25	97,58

⁽¹⁾y=-0,103x+31,644; ⁽²⁾y=0,00030x²-0,044x+4,028; ⁽³⁾y=-0,0366x+10,5909;

⁽⁴⁾y=0,0963x+12,1596; ⁽⁵⁾y=-0,00002x²+0,0106x+4,576

ns, ** e * -não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Fonte: próprio autor.

O teor de cálcio (Ca) nas folhas aumentou com a disponibilidade de água, isso pode ser justificado pelo alto teor inicial no solo. A água constitui no veículo natural para o movimento dos íons no solo (fluxo de massa, difusão). Como exemplo, considera-se o baixo teor de umidade no solo, como um fator preponderante para maiores incidências de “podridão apical” em frutos de tomate – um sintoma típico de

deficiência de cálcio na cultura – mesmo em solos considerados férteis neste nutriente (MARSCHNER, 2012).

Tabela 34. Teores de macronutrientes em caule de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em função de doses de silicato de cálcio, e da disponibilidade de hídrica. Ilha Solteira, 2020.

FV	p>F					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	g.kg ⁻¹					
Condições hídricas (H)	0,001**	0,003**	0,004**	0,056 ^{ns}	0,920 ^{ns}	0,001**
Doses silicato de cálcio (D)	0,179 ^{ns}	0,311 ^{ns}	0,449 ^{ns}	0,010*	0,017*	0,983 ^{ns}
H*D	0,678 ^{ns}	0,345 ^{ns}	0,585 ^{ns}	0,675 ^{ns}	0,569 ^{ns}	0,829 ^{ns}
C.V	23,14	19,88	15,32	15,21	16,94	37,38
Média Geral	11,75	1,32	8,97	4,21	1,52	0,36
Condições hídricas						
30%	14,58	1,59	9,82	4,06	1,55	0,50
50%	12,44	1,24	8,87	3,93	1,53	0,36
70%	10,42	1,22	9,19	4,34	1,49	0,31
100%	9,55	1,22	7,98	4,50	1,53	0,28
p>F (linear)	0,001 ⁽¹⁾	0,001	0,001 ⁽³⁾	0,180	0,690	0,001 ⁽⁶⁾
p>F (quadrática)	0,355	0,011 ⁽²⁾	0,725	0,356	0,645	0,080
r ² (linear %)	96,96	64,87	76,89	74,46	37,75	86,95
r ² (quadrática %)	99,64	94,91	77,72	85,21	76,37	99,49
Doses de silicato de cálcio (g.ha ⁻¹)						
0	11,51	1,23	8,95	3,92	1,39	0,37
100	12,71	1,35	8,55	3,99	1,50	0,36
200	10,64	1,29	9,35	4,64	1,69	0,35
400	12,17	1,41	9,03	4,27	1,51	0,36
p>F (linear)	0,844	0,120	0,579	0,063	0,155	0,804
p>F (quadrática)	0,528	0,889	0,783	0,035 ⁽⁴⁾	0,007 ⁽⁵⁾	0,781
r ² (linear %)	0,76	68,29	11,61	28,79	18,69	38,81
r ² (quadrática %)	8,69	68,83	14,47	66,16	88,78	87,34

⁽¹⁾y=-0,0684x+16,0312; ⁽²⁾y=0,00013x²-0,021x+2,036; ⁽³⁾y=-0,020x+10,2828;

⁽⁴⁾y=0,007x+3,771; ⁽⁵⁾y=-0,000005x²+0,0024x+1,3705; ⁽⁶⁾y=-0,0028x+0,5446

ns, ** e * -não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Fonte: próprio autor.

O teor de Mg nas folhas e no caule foi significativo para doses de silicato de cálcio, onde o maior teor foi encontrado com 100 e 200 g ha⁻¹ de CaSiO₃, respectivamente (Tabela 33 e 34). As doses de silicato de cálcio contribuíram para uma maior fotossíntese líquida (Tabela 30) e o Mg constitui átomo central na molécula de clorofila, que é componente chave para a realização do processo

fotossintético. Segundo Marschner (2012) uma pequena redução no teor foliar de Mg tem impacto significativo na taxa fotossintética.

Nas raízes as diferentes condições hídricas influenciaram teores de P, K, Mg e S. O aumento nos níveis de água no solo, diminuiu linearmente os teores de P, K e Mg nas raízes (Tabela 35). Uma explicação é que o estresse hídrico durante os estágios iniciais de crescimento aumenta a atividade radicular nas camadas média e superior do solo, forçando o sistema radicular para absorver a água de camadas mais profundas do solo, a fim de compensar a escassez de água (LUO *et al.* 2014), por sua vez, também favorece a absorção de nutrientes em camadas mais profundas.

Para o teor de S o efeito foi positivo, ou seja, os crescentes níveis de água aumentaram o teor de S. O fluxo de massa é o principal mecanismo de suprimento de S às raízes. Barber *et al.* (1963), utilizando auto-radiografia, demonstraram que o S aplicado uniformemente em todo o volume de solo do vaso moveu-se, juntamente com a água, para a superfície das raízes de milho.

Tabela 35. Teores de macronutrientes nas raízes de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. v. *latifolium* Hutch.) em função de doses de silicato de cálcio, e da disponibilidade de hídrica. Ilha Solteira, 2020.

FV	p>F					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g.kg ⁻¹ -----					
Condições hídricas (H)	0,125 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,001 ^{**}	0,227 ^{ns}	0,006 ^{**}	0,026 [*]
Doses silicato de cálcio (D)	0,795 ^{ns}	0,388 ^{ns}	0,285 ^{ns}	0,550 ^{ns}	0,869 ^{ns}	0,216 ^{ns}
H*D	0,488 ^{ns}	0,202 ^{ns}	0,410 ^{ns}	0,761 ^{ns}	0,243 ^{ns}	0,838 ^{ns}
C.V	28,64	20,5	16,87	19,59	14,8	28,69
Média Geral	8,21	1,02	6,91	1,84	1,46	0,94
Condições hídricas						
30	7,23	1,27	8,23	1,99	1,64	0,85
50%	9,09	1,01	6,89	1,75	1,43	0,81
70%	8,68	0,95	6,88	1,85	1,47	1,05
100%	7,84	0,87	5,61	1,76	1,29	1,05
p>F (linear)	0,597	0,001 ⁽¹⁾	0,001 ⁽²⁾	0,157	0,001 ⁽³⁾	0,010 ⁽⁴⁾
p>F (quadrática)	0,026	0,090	0,895	0,439	0,832	0,783
r ² (linear %)	4,71	87,48	90,01	46,01	82,54	71,49
r ² (quadrática %)	91,89	96,65	90,05	59,57	82,77	72,25
Doses de silicato de cálcio (g.ha ⁻¹)						
0	8,11	0,96	7,12	1,79	1,46	0,86
100	7,81	1,01	6,83	1,81	1,47	0,88
200	8,28	1,03	6,47	1,79	1,42	0,98
400	8,64	1,09	7,20	1,95	1,48	1,03
p>F (linear)	0,405	0,086	0,798	0,212	0,847	0,047
p>F (quadrática)	0,741	0,972	0,066	0,529	0,580	0,832
r ² (linear %)	68,78	99,66	1,71	75,08	5,26	90,47
r ² (quadrática %)	79,53	99,70	92,41	93,94	48,63	91,46

⁽¹⁾y=-0,0050x+1,339; ⁽²⁾y=-0,0314x+8,873; ⁽³⁾y=-0,0039x+1,7115; ⁽⁴⁾y=0,0032x+0,740

ns, ** e * -não significativo e significativo a 1% e 5% pelo Teste F, respectivamente

Fonte: próprio autor.

4 CONCLUSÕES

O aumento nos níveis de água no solo contribuiu para aumento na altura das plantas, diâmetro do caule, no número de nós, ramos e de estruturas reprodutivas, e a massa seca total.

Aos 65 DAE, o índice SPAD diminuiu com o aumento dos níveis de água.

A dose de 200 g ha⁻¹ com 70% da CC contribuiu para os maiores níveis de fotossíntese líquida.

O teor de Ca nas folhas aumentou com a disponibilidade de água.

As doses de silicato de cálcio aumentaram os teores de Mg nas folhas e no caule.

5 REFERÊNCIAS

- ARRUDA, F. P.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; PEREIRA, E. P.; GUIMARÃES, M. A. M. Emissão/Abscisão de estruturas reprodutivas do algodoeiro herbáceo, cv. CNPA 7H: efeito do estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 21-27, 2002.
- BATAGLIA, O. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).
- BARBER, S. A.; WALKER, J. M.; VASEY, E.H. Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 11, p. 204-207, 1963.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 425-431, 2009.
- BELTRÃO, N. E. de 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 Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p.283-289, 2001.
- BEZERRA, B. K. L. **Adubação com silício e tolerância ao déficit hídrico em cana-de-açúcar**. 2015, 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/126456/000845209.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 mar. 2020.
- CORDÃO, M. A.; ARAÚJO, W. P.; PEREIRA, J. R.; ZONTA, J. H.; DE LIMA, R. F.; FERREIRA, F. N. Cultivares de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico aplicado em fases fenológicas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 13, n. 3, p. 313-321, 2018.
- CORDÃO SOBRINHO, F. P.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. M.; SOARES, F. A. L.; TERCEIRO NETO, C. P. C. Crescimento e rendimento do algodoeiro BRS – 200 com aplicações de cloreto de mepiquat e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 284-292, 2007.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation & Drainage paper, 33).
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

FARIAS, A. T. V. **Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro em função de doses de silício e ácido salicílico**. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Humanas e Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

FERRAZ, R. L. D. S.; MACEDO BELTRAO, N. E. D.; MELO, A. S. D.; MAGALHAES, I. D.; FERNANDES, P. D.; ROCHA, M. D. S. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. **Semina-Ciencias Agrarias**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 735-748, 2014.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema SISVAR para análises estatísticas**. Lavras: UFV, 2000.

GODOY, L. J. G.; SOUTO, L. S.; FERNANDEZ, D. M.; BÔAS, R. L. V. Uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada para milho em sucessão a pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 38-44, 2007.

HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; NA, P.; MORITA, S.; LUXOVÁ, M.; LUX, A. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 123, p. 459-466, 2005.

HUSSEIN, F.; JANAT, M.; YAKOUB, A. Assessment of yield and water use efficiency of drip-irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as affected by deficit irrigation. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 35, p. 611-621, 2011.

KAWAKAMI, E. M.; OOSTERHUIS, D. M.; SNIDER, J. L. Physiological effects of 1-methylcyclopropene on well-watered and water-stressed cotton plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 29, p. 280-288, 2010.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: G. Koogan, 2004. 452 p.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. GPSi-ICIAGU-UFU, 2002. 23 p. (Boletim técnico, 1).

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. v. 7. 531 p.

LIMA, J. S. **Bioindicação, biomonitoramento: aspectos bioquímicos e morfológicos**. 2001.

LUO, H.; ZHANG, H.; HAN, H.; HU, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, W. Effects on water storage in deeper soil layers on growth yield, and water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) In arid areas of northwestern china. **Irrigation and Drainage**, Oxford, v. 63, n. 1, p. 59-70, 2014.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. D. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. D. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. p. 115-230, 1997.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. New York: Elsevier, 2012.

MINOLTA, C. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions, 1989.

OOSTERHUIS, D. M. **Growth and development of a cotton plant**. Fayetteville: University of Arkansas Cooperative Extension Service, 1992. 24 p.

ROSOLEM, C. A. Fatores fisiológicos que afetam a produtividade do algodoeiro. *In*: FARIAS, F. J. C.; RODRIGUES, S. M. M.; LAMAS, F. M. (ed.). **Tecnologia para o algodoeiro no cerrado do Mato Grosso**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007, p. 13-23.

SINGH, V.; PALLAGHY, C. K.; SINGH, D. Phosphorus nutrition and tolerance of cotton to water stress: I. Seed cotton yield and leaf morphology. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 96, p. 191–198, 2006.

SHI, Z. J.; PAN, Q. G.; ZHOU, Q.; XIE, Y. C.; MENG, K. T. A study on the application of silicon fertilizer to cotton. **China Cotton**, [S.l.], v. 28, n. 7, p. 17-18, 2001.

SHIMAZAKI, K. I.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, p. 219-247, 2007.

SILVA, N. M.; RAIJ, B. van. Fibrasas. *In*: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1999. Cap. 16, p.107-111. (Boletim Técnico, 100).

SOUZA, J. G ; BELTRÃO, N. E M. Fisiologia. *In*: SOUZA, J. G; BELTRÃO, N. E M. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p. 87-109, 1999.

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

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. *In*: MATSUO T.; KUMAZAWA K.; ISHII, R.; ISHIARA, K.; HIRATA, H. **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Police Research Center, 1995. Cap. 5, p. 420-433.

ZHAO, T. J. S. ;SUN, Y. ;LIU, J. M. ;LIU, Q. ;LIU, Y. B. ; ZHOU, H. M. Regulating the drought responsive element (DRE)- mediated signaling pathway by synergic functions of trans-active and transinactive DRE binding factors in Brassica napus. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 281 p. 10752- 10759, 2006.