



Universidade de Federal de Campina Grande - UFCG  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PPGEA  
Área de Concentração: Irrigação e Drenagem



## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

# **CULTIVO DE ALGODOEIRO DE FIBRA COLORIDA SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E APLICAÇÃO DE QUITOSANA**

**KHEILA GOMES NUNES**

Campina Grande - PB

Agosto de 2024

**KHEILA GOMES NUNES**

Engenheira Agrícola

**CULTIVO DE ALGODOEIRO DE FIBRA COLORIDA SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA  
E APLICAÇÃO DE QUITOSANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Agrícola.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientadores: Prof<sup>a</sup> Dra Vera Lucia Antunes de Lima

Prof. Dr. Geovani Soares de Lima

Prof<sup>a</sup> Dra Lauriane Almeida dos Anjos Soares

Campina Grande – PB

Agosto de 2024

N972c

Nunes, Kheila Gomes.

Cultivo de algodoeiro de fibra colorida sob restrição hídrica e aplicação de quitosana / Kheila Gomes Nunes. – Campina Grande, 2024.  
86 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Profa. Dra. Vera Lucia Antunes de Lima, Prof. Dr. Geovani Soares de Lima, Profa. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares".

Referências.

1. Algodão (*Gossypium hirsutum L.*) – Cultura. 2. Estresse Hídrico. 3. Biopolímero. 4. Quitosana – Uso na Agricultura. 5. Irrigação e Drenagem. I. Lima, Vera Lucia Antunes de. II. Lima, Geovani Soares de. III. Soares, Lauriane Almeida dos Anjos. IV. Título.

CDU 633.511(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

## FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

**KHEILA GOMES NUNES**

**“CULTIVO DE ALGODOEIRO DE FIBRA  
COLORIDA SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E  
APLICAÇÃO DE QUITOSANA”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 01/08/2024

Vera Lucia Antunes de Lima - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Geovani soares de Lima - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Lauriane Almeida dos Anjos Soares - Coorientador(a) - UAGRA/CCTA/UFCG

Carlos Alberto Vieira de Azevedo - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

André Alisson Rodrigues da Silva - Examinador(a) Externo(a) - PDJ/UFCG



Documento assinado eletronicamente por **GEOVANI SOARES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/08/2024, às 15:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Alisson Rodrigues da Silva, Usuário Externo**, em 26/08/2024, às 17:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 26/08/2024, às 17:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 29/08/2024, às 15:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **LAURIANE ALMEIDA DOS ANJOS SOARES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/09/2024, às 13:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4738444** e o código CRC **68311AE1**.

---

Ao meu pai, Sergilvan Nunes (*in memorian*), que embora não esteja presente em corpo, sempre esteve em meu coração, e ao meu bisavô, João Lourenço (*in memorian*), a quem sou eternamente grata por todo o apoio.

## **MINHA HOMENAGEM**

Aos meus pais, Sheila Gomes e Fabrício Candido, e aos meus avós Maria do Rosário, Severina Nunes, Maria José, João Macena, Oziro Amaro e Cícero Carlos, como reconhecimento por todo o apoio, amor e incentivo.

## **OFEREÇO**

A todos os meus familiares, em especial, aos meus irmãos Kelthon Nathan e Shelthon Jonas, aos meus sobrinhos, Brayan Luiz e Antony Ravi e ao meu Noivo Denis Soares.

## **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero expressar minha gratidão a Deus pelas suas infinitas misericórdias. Se não fosse Ele me sustentando, guiando, encorajando, fortalecendo e protegendo, eu não teria dado sequer um passo.

À minha mãe, Sheila Gomes, minha base, força e exemplo, que muitas vezes tirou de onde não tinha para proporcionar o máximo de conforto para mim e meus irmãos. Ela me educou, apoiou e ajudou a chegar até aqui.

Aos meus pais: Sergilvan Nunes (*in memorian*), que não está mais aqui, mas acredito que sentiria muito orgulho da pessoa que me tornei, e Fabrício Candido, também meu pai, por todos os ensinamentos, ajuda e carinho.

Aos meus irmãos, Kelthon Nathan e Shelthon Jonas, pelo apoio, compreensão, amor e carinho – só nós sabemos os obstáculos que tivemos que ultrapassar para chegarmos até aqui.

Aos meus sobrinhos, Brayan Luiz e Antony Ravi, que são minhas bênçãos e alegria diária. Às minhas cunhadas: Mariane Silva, Yasmin Soares e Jennifer Cayane.

Aos meus avós: Maria do Rosário, Severina Nunes, Maria José, Oziro Amaro, Cícero Carlos, João Macena e João Lourenço (*in memorian*), por todo o auxílio, incentivo, ajuda e amor de sempre.

Aos meus tios, tias e primos pelo companheirismo.

Ao meu noivo, Denis Soares, que sempre esteve ao meu lado e nunca me deixou sozinha. Agradeço por acreditar em mim e me encorajar a persistir nos meus objetivos. Sua presença me inspira a ser uma pessoa melhor a cada dia. Além disso, agradeço também à família Soares, em especial, a Joselita, Denise, Débora, Danessa, João e Emily, que sempre me receberam tão bem.

Minha melhor amiga e irmã, Camila Chaves, por quem agradeço a Deus diariamente pela vida e amizade. Ela é uma das responsáveis por eu ter cursado Engenharia Agrícola e agora estar concluindo o mestrado.

Aos meus orientadores, Vera Lucia Antunes de Lima, Geovani Soares de Lima e Lauriane Almeida dos Anjos Soares, agradeço pelas valiosas orientações, conselhos, paciência e pelo tempo dedicado a este trabalho.

Aos participantes da Banca Examinadora, Professor Carlos Alberto Vieira de Azevedo e André Alissom, pelo apoio e pelas valiosas contribuições no desenvolvimento desse trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em especial a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), pela concessão do espaço necessário para a execução deste trabalho.

Aos professores Luciano, Sallydelândia e demais que sempre me receberam de braços abertos e a todos os funcionários do laboratório: Marciano, Mayra, Gilvando e Ivanildo.

A todos meus amigos, Edilene, Franciele, Allesson, Dâmela, Thiago, Jailton, Larissa, Mariana, Gilmara, Anna Rebeca, Edimilson, Vitória, Felype e todas as pessoas que fazem parte do grupo “Manejo de água, solo e planta na região do semiárido” (MSAP) que de alguma forma me ajudaram nesse caminho, Deus continue abençoando todos vocês e muito obrigada.

“Porque sou eu que conheço os planos que tenho para vocês”, diz o Senhor, “planos de fazê-los prosperar e não de lhes causar dano, planos de dar-lhes esperança e um futuro.”

**Jeremias 29:11**

NUNES, K, G. **Cultivo de algodoeiro de fibra colorida sob restrição hídrica e aplicação de quitosana**. 2024. 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

### RESUMO GERAL

A região semiárida do Brasil, se destaca pela prática da cotonicultura como uma fonte de geração de emprego e renda. Todavia, a expansão das áreas de produção pode ser afetada pela ocorrência da variação temporal e espacial de chuvas, que juntamente com outros fatores climáticos, podem resultar em uma redução dos recursos hídricos disponíveis para irrigação, afetando o crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas. Nesse sentido, é necessário identificar estratégias para produzir com segurança e atenuar os efeitos prejudiciais da restrição hídrica, a exemplo do uso do biopolímero de quitosana, que é uma alternativa promissora, podendo contribuir para melhoria na absorção de água e nutrientes, redução da transpiração além da atuação no sistema antioxidante das plantas. Com base no que foi exposto, objetivou-se com este estudo, avaliar o efeito das concentrações de quitosana na morfofisiologia e nos componentes de produção do algodoeiro de fibra colorida ‘BRS Jade’ sob restrição hídrica. As plantas foram conduzidas em lisímetros de drenagem sob condições de casa de vegetação em Campina Grande – PB, por meio de delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial  $2 \times 4$ , sendo duas lâminas de irrigação (100 e 50% da necessidade hídrica da cultura) e quatro concentrações de quitosana (0,0; 0,25; 0,50 e 0,75 g L<sup>-1</sup>) com três repetições. Aplicação foliar do biopolímero de quitosana entre as concentrações de 0,25 e 0,50 g L<sup>-1</sup> mitigou os efeitos da restrição hídrica no extravasamento de eletrólitos no limbo foliar, as trocas gasosas, a síntese de pigmentos fotossintéticos, a fluorescência da clorofila *a*, o crescimento em diâmetro do caule e área foliar e incremento no peso de capulho por planta, na massa do algodão em pluma, no peso de 100 sementes, peso médio de capulho, massa de algodão em caroço, fitomassa seca total de capulhos, do caule, de folhas e da parte aérea e na eficiência no uso da água. As concentrações de 0,25 a 0,50 g L<sup>-1</sup> promoveram melhorias na porcentagem de fibra, uniformidade, maturidade, alongamento a ruptura, resistência de fibra e índice de micronaire. Mas, a quitosana não mostrou benefícios no comprimento nem no índice de fibra curta do algodoeiro ‘BRS Jade’ sob restrição hídrica em concentrações acima de 0,38 g L<sup>-1</sup>. Sendo assim, os resultados do estudo validam a hipótese de que a aplicação foliar de quitosana atenua os efeitos adversos da restrição hídrica no cultivo de algodoeiro de fibra colorida.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum* L., biopolímero, Semiárido.

NUNES, K, G. **Cultivation of colored fiber cotton under water restriction and application of chitosan**. 2024. 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

### GENERAL ABSTRACT

The semiarid region of Brazil stands out for the practice of cotton farming as a source of employment and income generation. However, the expansion of production areas has been affected by the occurrence of temporal and spatial variation in rainfall, which, together with other climatic factors, can result in a reduction in water resources available for irrigation, affecting the growth and development of agricultural crops. In this sense, there is a need to identify strategies to produce safely and mitigate the harmful effects of water restriction. Thus, the use of chitosan biopolymer is a promising alternative, which can contribute to improving the absorption of water and nutrients, reducing transpiration and acting on the antioxidant system of plants. In this sense, the objective of this study was to evaluate the effect of chitosan concentrations on the morphophysiology and production components of the colored fiber cotton 'BRS Jade' under water restriction. The plants were grown in drainage lysimeters under greenhouse conditions in Campina Grande - PB. A completely randomized design was used in a  $2 \times 4$  factorial scheme, with two irrigation levels (100 and 50% of the crop's water requirement) and four with chitosan concentrations (0.0; 0.25; 0.50 and 0.75 g L<sup>-1</sup>) with three replicates. Foliar application of chitosan biopolymer at concentrations of 0.25 to 0.50 g L<sup>-1</sup> mitigated the effects of water restriction on electrolyte leakage at the leaf blade, gas exchange, photosynthetic pigment synthesis, chlorophyll a fluorescence, growth in stem diameter and leaf area, and increased boll weight per plant, cotton lint weight, 100-seed weight, average boll weight, cotton seed weight, total dry matter of bolls, stem, leaves and shoots, and water use efficiency. Concentrations of 0.25 to 0.50 g L<sup>-1</sup> improved fiber percentage, uniformity, maturity, elongation at break, fiber strength, and micronaire index. Chitosan did not show any benefits on the length or short fiber index of 'BRS Jade' cotton under water restriction at concentrations above 0.38 g L<sup>-1</sup>. The results of this study validated the hypothesis that foliar application of chitosan attenuates the adverse effects of water restriction in colored fiber cotton cultivation.

**Keywords:** *Gossypium hirsutum* L., Biopolymer, Semiarid.

## LISTA DE TABELAS

		Pgs
<b>Capítulo II</b>		
<b>Tabela 1.</b>	Atributos químicos e físico-hídricas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	39
<b>Tabela 2.</b>	Volume total de cauda de quitosana aplicado por planta aos 15, 45 e 75 Dias após a semeadura (DAS).....	41
<b>Tabela 3.</b>	Autovalores e porcentagem da variância total explicada na análise multivariada da variância (MANOVA).....	45
<b>Tabela 4.</b>	Coeficientes de correlação (r) entre as variáveis originais e os componentes principais.....	46
<b>Tabela 5.</b>	Valores médios das variáveis analisadas por tratamento.....	48
<b>Tabela 6.</b>	Resumo da análise de variância para o extravasamento de eletrólitos (%EE), fluorescência inicial (F <sub>0</sub> ), variável (F <sub>m</sub> ), máxima (F <sub>m</sub> ) e variável (F <sub>v</sub> ) aos 60 dias após a semeadura (DAS) e índice de colheita (IC) no cultivo do algodoeiro de fibra naturalmente colorida ‘BRS Jade’ submetido a restrição hídrica e aplicação foliar de concentrações de quitosana.....	50
<b>Capítulo III</b>		
<b>Tabela 1.</b>	Atributos químicos e físico-hídricas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	61
<b>Tabela 2.</b>	Volume total de cauda de quitosana aplicado por planta aos 15, 45 e 75 Dias após a semeadura (DAS).....	63
<b>Tabela 3.</b>	Autovalores e porcentagem da variância total explicada na análise multivariada da variância (MANOVA).....	67
<b>Tabela 4.</b>	Coeficientes de correlação (r) entre as variáveis originais e os componentes principais.....	68
<b>Tabela 5.</b>	Valores médios das variáveis analisadas por tratamento.....	69
<b>Tabela 6.</b>	Resumo da análise de variância para conteúdo relativo de água (CRA) aos 85 dias após a semeadura (DAS), índice de fibras curtas (SFI), alongamento à ruptura (ELG), comprimento da fibra (UHM) e CSP (índice de fiabilidade) do algodoeiro de fibra naturalmente colorida ‘BRS Jade’ submetido a restrição hídrica e aplicação foliar de concentrações de quitosana.....	73

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pgs.</b>
<b>Capítulo II</b>	
<b>Figura 1.</b> Temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar durante a condução do experimento.....	38
<b>Figura 2.</b> Projeção bidimensional dos tratamentos (A) e das variáveis analisadas (B) nos dois componentes principais (CP1) e (CP2).....	46
<b>Capítulo III</b>	
<b>Figura 1.</b> Temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar durante a condução do experimento (30 de abril a 05 de setembro de 2023).....	60
<b>Figura 2.</b> Projeção bidimensional dos tratamentos (A) e das variáveis analisadas (B) nos dois componentes principais (CP1) e (CP2).....	68
<b>Figura 3.</b> Comprimento da fibra (UHM), índice de fibras curtas (SFI) e alongamento à ruptura (ELG) do algodoeiro de fibra naturalmente colorida ‘BRS Jade’ submetido a restrição hídrica e aplicação foliar de concentrações de quitosana.....	75

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>12</b>
<b>CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA .....</b>	<b>12</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1. Geral .....	15
2.2. Específicos.....	15
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
3.1. Aspectos gerais da cultura do algodoeiro .....	16
3.2. Cultivo do algodoeiro sob restrição hídrica.....	19
3.3. Uso de Quitosana na agricultura.....	21
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>25</b>
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>34</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>51</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>51</b>
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>56</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>60</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>67</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>76</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>77</b>
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>84</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>84</b>
<b>1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>85</b>

**CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA**

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) desempenha um papel importante nos cultivos globais voltados para a obtenção de fibras têxteis naturais. Sua presença se estende amplamente com abrangência em diversos continentes, tais como a Ásia Central, América do Sul, África Ocidental e Oceania (USDA – FAZ, 2024). Na América do Sul, em especial, no Brasil, entre as variedades cultivadas estão as de fibras brancas e coloridas. A de fibra colorida conquista cada vez mais espaço no mercado por dispensar o uso de corantes para seu tingimento, consequentemente, contribui para redução no descarte de resíduos no meio ambiente durante o processamento, evitando a contaminação do solo, da água e do ar (Nascimento et al., 2019; Vasques et al., 2020).

No Nordeste, a ascensão do cultivo do algodoeiro de fibra naturalmente colorida é em pequena escala, em geral, pela agricultura familiar, sobretudo, pelo alto valor econômico e rentabilidade que essa cultura pode resultar, além da agregação de valor à agricultura nordestina (Nascimento et al., 2019; Vasques et al., 2020). No entanto, o avanço da cotonicultura no Semiárido brasileiro possui limitações pelas características edafoclimáticas da região (Velooso et al., 2023), sendo a escassez quantitativa e qualitativa de água um desafio enfrentado pelos produtores, devido a variabilidade temporal e espacial de chuvas, elevada taxa de evapotranspiração e características geológicas que interferem diretamente na disponibilidade de água nos cultivos agrícolas (Zonta et al., 2017).

A restrição hídrica pode afetar de forma negativa a morfologia e a fisiologia das plantas e por conseguinte, a produtividade das culturas (Yousefzadeh et al., 2022). Nessas condições, a fotossíntese, por exemplo, é limitada conjuntamente por diminuições na abertura estomática, área foliar, na síntese de pigmentos fotossintéticos e eficiência fotossintética (Abdallah et al., 2017). O balanço entre a geração e a detoxificação de espécies reativas de oxigênio (EROs) também é afetado e esse acúmulo de EROs ocasiona efeitos adversos, incluindo a peroxidação lipídica (Zomorodi et al., 2022). Apesar do algodoeiro ser considerado relativamente tolerante ao déficit hídrico, o seu crescimento e desenvolvimento podem ser comprometidos, interferindo nos componentes de produção como o rendimento e qualidade de fibra, além de ocorrer alteração no sistema antioxidante e desequilíbrio no metabolismo dos carboidratos (Ul-Allah et al., 2021).

Nesse contexto, a busca por manejo de irrigação eficiente é indispensável visando uma gestão eficiente do uso da água na agricultura. Isso envolve determinar a lâmina, a frequência

e o método de aplicação da água, além de desenvolver estratégias com o uso de atenuadores para mitigar estresses abióticos, principalmente, o déficit hídrico. Nessa perspectiva, a quitosana que é um polímero biodegradável atóxico, linear não ramificado de  $\beta$ -1,4-d-glucosamina, derivado da desacetilação da quitina, pode contribuir com a redução dos efeitos deletérios do déficit hídrico no cultivo do algodoeiro (Rolim et al., 2018). Por ser uma das macromoléculas biológicas oriunda de diferentes resíduos, sobretudo, resíduos provenientes das indústrias de pesca e frutos do mar sendo uma substância potencialmente bioativa (Orzali et al., 2017; Aranaz et al., 2018; Miranjkar et al., 2019).

Esse biopolímero auxilia na absorção de água e nutrientes pelas plantas (Dzung, 2007), na síntese de pigmentos fotossintéticos, defesa antioxidante, na fotossíntese, além de atuar no incremento da atividade de enzimas-chave relacionadas ao fechamento dos estômatos, que resulta em uma redução da perda de água (Song et al., 2006). Vários estudos foram realizados em diversas culturas utilizando a quitosana na mitigação dos efeitos da restrição hídrica, como observado no morango (Abdel-Mawgoud et al. 2010), manjerição (Pirbalouti et al., 2017), milho (Reis et al., 2019; Almeida et al., 2020), trigo (Behboudi et al., 2019) e cana de açúcar (Silveira et al., 2021). No entanto, na literatura ainda são incipientes estudos que avaliam os efeitos da aplicação foliar de quitosana no cultivo do algodoeiro de fibra colorida 'BRS Jade' sob condições de restrição hídrica numa área semiárida do Brasil.

Dessa forma, esta pesquisa baseou-se na hipótese de que a aplicação foliar de quitosana pode atenuar os efeitos deletérios da restrição hídrica no crescimento, na fisiologia e nos componentes de produção do algodoeiro de fibra colorida 'BRS Jade', em razão da contribuição na redução da transpiração das plantas sem afetar negativamente a fotossíntese, atuação no sistema antioxidante e, conseqüentemente, melhora no crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura, além de promover o uso mais eficiente da água.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Avaliar o efeito de concentrações de quitosana na morfofisiologia e nos componentes de produção do algodoeiro de fibra colorida ‘BRS Jade’ sob restrição hídrica.

### **2.2. Específicos**

- Mensurar o crescimento do algodoeiro de fibra colorida ‘BRS Jade’ sob restrição hídrica e aplicação foliar de quitosana.
- Avaliar as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a*, o extravasamento de eletrólitos, o conteúdo relativo de água e os teores de pigmentos fotossintéticos do algodoeiro de fibra colorida ‘BRS Jade’ sob restrição hídrica e aplicação foliar de quitosana.
- Determinar a produção do algodoeiro de fibra colorida ‘BRS Jade’ sob restrição hídrica e aplicação foliar de quitosana.
- Analisar a qualidade de fibra do algodoeiro de fibra colorida ‘BRS Jade’ sob restrição hídrica e aplicação foliar de quitosana.
- Avaliar a eficiência do uso de água do algodoeiro de fibra colorida ‘BRS Jade’ sob restrição hídrica e aplicação foliar de quitosana.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Aspectos gerais da cultura do algodoeiro

Pertencente à família *Malvacea*, o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma dicotiledônea do gênero *Gossypium*, que possui uma distribuição geográfica extensa, compreendendo continentes como a Ásia Central, América do Sul, África Ocidental e Oceania, sendo amplamente cultivado em diversas partes do mundo, principalmente, para a obtenção de fibras têxteis naturais (USDA – FAZ, 2024). O algodoeiro possui hábito de crescimento indeterminado e germinação epígea, com seu desenvolvimento em duas fases, sendo elas: vegetativa, que se refere à germinação e de plântulas, sistemas radiculares, foliares e copa; e a reprodutiva, que corresponde à frutificação, sementes e formação das fibras (Rehman & Farooq, 2019).

Possui raiz pivotante e número reduzido de raízes secundárias grossas e superficiais, a forma do caule é do tipo herbáceo ou lenhoso com altura variável, sendo composto de ramos vegetativos, além disso, tem a presença de tricomas e glândulas internas no caule, em que é armazenado o gossipol, uma substância fenólica que atua como um mecanismo de defesa contra pragas e doenças (Lima et al., 2014).

As folhas, são do tipo pecioladas, na sua maioria cordiformes com consistência coriácea ou não, inteiras ou recortadas, possui de três a nove lóbulos, com uma elevada taxa de fotorrespiração e grande sensibilidade à baixa luminosidade, sendo sensíveis as condições ambientais (SEAGRI, 2012). A flor é hermafrodita, o que significa que possui órgãos reprodutores masculinos e femininos, o que permite a autopolinização e a produção de sementes, sua abertura completa, geralmente, é impulsionada pela presença do sol e pelo aumento da temperatura no ambiente, quando está recém-aberta, a cor pode variar entre creme e branco (Free, 1993; Sanchez Junior & Souza, 2004). Mas, após ocorrer a polinização, a cor da flor muda para rosada ou violácea (Beltrão et al., 2011).

O produto colhido é intitulado algodão em caroço e é composto pela fibra e caroço, referindo-se a fibra e as sementes com línter, respectivamente, as sementes são piriformes, com tonalidade marrom a preta (Free, 1993). Em relação ao fruto, quando se abre, as fibras ficam expostas, sendo denominado de capulho e pode variar de comprimento a depender das características de cada cultivar (Borém & Freire, 2014).

Considerando o tempo necessário para que 90% dos frutos estejam abertos, as cultivares de algodão podem ser classificadas em três grupos de maturação: precoces (120 a 130 dias), médias (140 a 160 dias) e tardias (acima de 170 dias). Embora, tenham diferenças genéticas

entre esses grupos de maturação e as condições ambientais, o início do florescimento do algodoeiro anual ocorre aproximadamente com 50 dias, se estendendo até 120 dias ou mais, com o pico de curva de florescimento por volta de 70 a 80 dias (Chiavegato et al., 2009).

O ciclo do algodoeiro pode ser subdividido em duas fases fenológicas: a fase vegetativa (V), que se inicia com a emergência da plântula e termina com a formação do primeiro ramo frutífero (VE-emergência, VC-afastamento dos cotilédones, V1, V2, V3-primeiro, segundo e terceiro nó vegetativo, respectivamente; VR-primeiro ramo frutífero); e fase reprodutiva (R1-primeiro botão floral, R2-primeira flor, R3-crescimento da primeira maçã, R4-primeira maçã visível, R5-primeira maçã cheia, R6-final do florescimento, R7- primeiro capulho, R8-maturidade plena), que tem início com o aparecimento do primeiro botão floral e termina quando as fibras nos capulhos atingem o ponto de maturidade fisiológica para colheita, considerando os dias após a sementeira (Silva et al., 2011).

Segundo a EMBRAPA (2016), o algodoeiro herbáceo deve ser cultivado sob temperatura média do ar variando entre 20 °C e 30 °C, precipitação anual entre 400 e 700 mm por ciclo, umidade relativa média do ar em torno de 60%, nebulosidade inferior a 50% e inexistência de inversão térmica. O requerimento nutricional da cultura do algodoeiro é após o aparecimento do primeiro botão floral em ordem crescente, é exigente em Nitrogênio (N), Potássio (K), Cálcio (Ca), Fósforo (P), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), nesta ordem, sendo nos primeiros 30 dias após a emergência, a maior exigência de Mg, Enxofre (S) e Fe, já na fase entre o abotoamento e o máximo florescimento, a necessidade é mais em N, P, K e Ca (EMBRAPA, 2014).

O Brasil produz o algodão de fibra branca e colorida, que possui valor diferenciado no mercado (Guaratini & Zanoni, 2000). O de fibra colorida, possui um interesse considerável tanto entre os produtores quanto pelos consumidores, por ser um segmento de mercado em ascensão, demonstra um notável potencial socioeconômico, não apenas por servir como uma fonte de matéria-prima para a indústria têxtil como também por evitar a poluição do meio ambiente, pela dispensa do uso de tingimentos químicos, que conseqüentemente, não gera resíduos tóxicos durante o processamento das fibras (Araújo et al., 2019; Barbosa et al., 2019).

A pigmentação do algodoeiro de fibra colorida ocorre pela síntese e acúmulo de pigmentos naturais no desenvolvimento de fibras e a cor natural é expressa pelos pigmentos coloridos presentes na célula de fibra (Blas-Sevillano et al., 2018). Dentre as cultivares comerciais desenvolvidas pela Embrapa, a ‘BRS 200 Marrom’ foi a primeira cultivar registrada em 2001, em seguida, foram registradas as cultivares ‘BRS Verde’, ‘BRS Rubi’ e ‘BRS Safira’, em 2004, a ‘BRS Topázio’ em 2010 e ‘BRS Jade em 2017’, todas com germoplasma de *G. hirsutum* var. *hirsutum* (Farias et al., 2017).

De acordo com Farias et al. (2017), a cultivar ‘BRS Jade’ foi selecionada a partir de cruzamento bi parental entre um material de fibra branca adaptada às condições do Nordeste e um outro de fibra colorida, ambos oriundos do Banco de Germoplasma da Embrapa Algodão. A ‘BRS Jade’ possui fibra de coloração marrom clara, com elevado potencial produtivo nos ambientes de Cerrado e Semiárido, com o ciclo de 135 dias após a emergência. A produtividade média de algodão em caroço da cultivar em ensaios conduzidos no Cerrado e Semiárido foi de 4, 471 t ha<sup>-1</sup> e uma porcentagem de fibra média superior a 40%. Ela possui boas características de fibra, como comprimento, uniformidade, resistência e índice micronaire e outras que são adequadas à indústria têxtil (Farias et al., 2017).

A cotonicultura é responsável pela movimentação mundial de aproximadamente US\$ 12 bilhões ao ano, com cultivo em mais de 60 países, o algodoeiro ocupa cerca de 35 milhões de hectares a cada ano em todo o mundo, mais de 350 milhões de pessoas participam de seu ciclo produtivo (ABRAPA, 2023). O Brasil é o quarto maior produtor mundial de algodão, ficando atrás apenas da Índia, China e Estados Unidos (ICAC, 2023).

Em 2022, a produção de algodão em caroço no Brasil atingiu um total de 6.422.030 t em uma área abrangendo 1.648.928 ha, com uma média de produtividade de 3,89 t ha<sup>-1</sup>. Os rendimentos médios mais substanciais, nessa ordem, foram registrados nas regiões Nordeste, Norte, Sudeste e Centro-Oeste. No contexto nacional, o Maranhão, Mato Grosso do Sul e Bahia se destacaram como os principais produtores. A Paraíba ocupou a 14<sup>a</sup> posição com uma média de produtividade de 1,29 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2023).

Quanto à produção de algodão de fibra colorida, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), ainda não há dados oficiais disponíveis. No entanto, a Embrapa registrou cultivos de algodão naturalmente colorido nos anos de 2019 e 2020 nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia, Piauí, Pernambuco, São Paulo, Paraná, Mato Grosso, Minas Gerais e Paraíba, resultando em uma produção média nacional de 66% (Zacharias et al., 2021).

O cultivo de algodoeiro é uma fonte versátil de recursos que atende tanto às necessidades da indústria quanto as demandas alimentares para seres humanos e animais, como o seu principal produto, a fibra, a qual desfruta de ampla aplicação na indústria têxtil, além de outros produtos valiosos, como o óleo vegetal destinado à alimentação humana e o farelo utilizado na alimentação de animais (Chitarra, 2014; Zonta et al., 2016; Alves et al., 2019). Dada a sua importância em escala global, a qualidade da fibra de algodão é um dos fatores mais relevantes para competir no mercado têxtil mundial (Van Der, 2022), além de ser uma importante fonte de renda para pequenos agricultores em regiões semiáridas (Papastylianou & Kousta, 2020).

O Nordeste do Brasil, na década de 1950, desfrutava de uma posição proeminente, sendo uma das três principais regiões produtoras de algodão no Brasil, com o envolvimento de inúmeras pessoas no setor algodoeiro, desde o plantio até o beneficiamento (Torres, 2009). Entre as décadas de 1960 e o começo de 1970, o algodão nordestino representava mais de 40% da produção nacional (Vidal Neto & Freire, 2013). Contudo, na década de 1980, em decorrência das irregularidades das chuvas, redução dos financiamentos agrícolas e do aparecimento de uma praga, denominada de bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis*) houve uma redução da produção na região (Coelho, 2019).

Atualmente, áreas de cultivo de algodão estão sendo restabelecidas no semiárido do Nordeste do Brasil (Gomes et al., 2022). E com o restabelecimento do cultivo na região, a cotonicultura se desenvolve tanto em larga escala, como também em um modo de produção em pequena escala, com a agricultura familiar, a exemplo do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e sul da Bahia (Coelho, 2019). No entanto, nessas regiões do Semiárido a produção de algodão requer cultivares com características de adaptação, precocidade e tolerância à seca, uma vez que essas áreas enfrentam condições climáticas desafiadoras (Vidal Neto & Freire, 2013).

### **3.2. Cultivo do algodoeiro sob restrição hídrica**

No cenário de mudanças climáticas, a escassez hídrica se torna cada vez mais preocupante em regiões áridas e semiáridas ocasionando fortes impactos socioeconômicos (Tavares et al., 2019). A água como se sabe é um fator primordial para o crescimento de todo ser vivo, na produção agrícola, para as plantas, a necessidade hídrica varia em função de sua taxa de metabolismo e de seu ciclo (Koch et al., 2019).

A escassez do recurso hídrico, em geral, pode alterar o funcionamento dos protoplastos, com redução do turgor, afetando o crescimento celular, ou seja, quando as plantas se encontram sob condições de déficit hídrico, ocorre fechamento estomático, havendo redução da transpiração, do transporte de assimilados da fotossíntese, da divisão e da expansão celular (Taiz et al., 2017). Ademais, para conviver com situações de seca, a planta utiliza recursos intrínsecos de modo a contribuir com sua sobrevivência, como redução da área foliar e aprofundamento das raízes (Saleh, 2012). Além dessas habilidades fisiológicas elas possuem a capacidade de expansão, que permite que tenham maiores chances de sobrevivência em condições de seca (Khan et al., 2018; Rodrigues et al., 2016).

Segundo a EMBRAPA (2016), o algodoeiro herbáceo apresenta durante seu ciclo de produção o consumo hídrico entre 400 e 700 mm de água, no entanto, em geral, na fase

vegetativa até o aparecimento dos primeiros botões florais, o requerimento hídrico é inferior a 2 mm por dia, mas após esta fase, o consumo aumenta, podendo ultrapassar 8 mm por dia.

No algodoeiro a diminuição na emissão de folhas é uma consequência comum em plantas sob estresse por ser uma forma de diminuir a superfície de transpiração e reduzir a perda de água para o ambiente (Saleh, 2012). Os estudos desenvolvidos com a cultura do algodoeiro que visam verificar os efeitos da deficiência de água no solo, apontam que essa situação provoca alterações no crescimento, na fisiologia, produtividade e na qualidade das fibras (Cordão et al., 2018).

Ainda sobre o tema, várias pesquisas destacam que o algodoeiro é sensível ao déficit hídrico durante a floração e na formação das maçãs, ocasionando abortamento de flores e, conseqüentemente, a redução na produtividade da cultura (Zonta et al., 2017; Cordão et al., 2018; Maniçoba et al., 2021; Soares et al., 2023). Os pesquisadores Carvalho et al. (2003), por exemplo, verificaram que o déficit hídrico, pode favorecer a formação de espécies reativas de oxigênio (EROS) oxidando os pigmentos fotossintéticos, lipídeos da membrana, proteínas e ácidos nucleicos. Costa & Cothren (2011) em experimentos com plantas em vasos, relataram que plantas de algodão sob déficit hídrico apresentaram taxas de condutância estomática menores em comparação com o tratamento controle (sem déficit hídrico).

Em estudo realizado por Deeba et al. (2012), com relação aos parâmetros de trocas gasosas do genótipo de algodão RAHS 187, a restrição hídrica de 75 e 50% ETr, reduziu a fotossíntese líquida em 35 e 50%, respectivamente, além dos valores de condutância estomática e transpiração em comparação com os valores do tratamento controle. Resultados semelhantes foram encontrados por Loka & Oosterhuis (2014), que monitoraram as respostas de trocas gasosas nas folhas e os efeitos nas concentrações de carboidratos e níveis de glutathione redutase nas flores de algodoeiro em condições de restrição hídrica, descobriram que o déficit hídrico durante o florescimento comprometeu a fisiologia foliar, resultando em uma redução significativa na condutância estomática, fotossíntese e taxas respiratórias em comparação ao tratamento testemunha.

A pesquisa conduzida por Rodrigues et al. (2016) avaliando nove genótipos de algodoeiro submetidos à supressão hídrica de 7 dias a partir do estágio R1 (Quando o fruto do primeiro ramo se transformar em capulho), mostrou que o número de folhas reduziu em todos os genótipos por causa da restrição hídrica.

Diversos estudos confirmam que o déficit hídrico após o florescimento e durante a fase de alongamento das fibras pode comprometer o comprimento e a uniformidade das fibras, uma

vez que os processos fisiológicos e mecânicos de alongamento celular são prejudicados pela escassez hídrica (Lima et al., 2014; Zhang et al., 2016).

No estudo conduzido por Almeida et al. (2017), o déficit hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento das cultivares BRS 286 e BRS 336 afetou a produtividade, acentuando o abortamento de flores e redução no número de capulhos, apenas a cultivar BRS 336 apresentou incremento no peso de capulho e na porcentagem de fibra.

Na avaliação de Lima et al. (2018) com relação ao efeito do déficit hídrico em diferentes fases fenológicas sobre a produtividade de algodão em pluma, a porcentagem e a qualidade das fibras das cultivares BRS 286 e BRS 336 de algodoeiro herbáceo, quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico nas fases de floração (905,1 Kg ha<sup>-1</sup>) e maça (544,95 Kg ha<sup>-1</sup>) apresentaram menores valores de produtividade de algodão em pluma com decréscimos de 55,92 e 73,46%, respectivamente, em relação ao tratamento sem déficit.

No estudo de Yi et al. (2018) com relação a influência do déficit hídrico na funcionalidade do aparato fotossintético de algodoeiro, as trocas gasosas foliares, a fluorescência da clorofila *a*, o déficit hídrico diminuiu a capacidade assimilação de CO<sub>2</sub>, mas não induziu a fotoinibição de ambos os fotossistema em plantas de algodão cultivadas a campo. A pesquisa executada por Soares et al. (2020) sobre genótipos de algodão de fibra colorida ('BRS Rubi', 'BRS Topázio' e 'BRS Safira') irrigados sob déficit hídrico durante as fases vegetativa, floração e frutificação, evidenciou que a relação raiz/parte aérea foi mais sensível aos efeitos do déficit hídrico na fase de floração e de frutificação.

Já Soares et al. (2021) ao avaliarem as trocas gasosas, o crescimento e a produção de genótipos de algodoeiro de fibra colorida ('BRS Rubi', 'BRS Jade' e 'BRS Safira') sob déficit hídrico, perceberam reduções nas variáveis fisiológicas e de crescimento nas plantas cultivadas sob déficit hídrico na fase floração. Portanto, é necessário realizar pesquisas com diferentes cultivares de algodoeiro que apresentem respostas variadas quando submetidas a irrigação deficitária controlada. O objetivo é reduzir o uso de água durante o ciclo da cultura, o que conduzirá a uma maior eficiência no uso da água, garantindo a viabilidade da produção na região semiárida (Zonta et al., 2017).

### **3.3. Uso de Quitosana na agricultura**

A quitosana pode ser obtida através da desacetilação da quitina, presente em resíduos do processamento de crustáceos e na parede celular de alguns fungos, que pode ser obtido por ação enzimática (quitinases) e pela hidrólise alcalina, sendo a última a mais empregada (Felipe et al., 2017; Malerba & Cerana, 2018; Rolim et al., 2018).

O processo a partir de resíduos de crustáceos envolve as etapas de desmineralização, desproteinização e despigmentação, para obtenção da quitina purificada, depois da desacetilação por meio de tratamento com soluções alcalinas concentradas e altas temperaturas (Kumar et al., 2019). Na desacetilação, os grupos N-acetil (-COCH<sub>3</sub>) da quitina são removidos resultando na formação de grupamentos amínicos livres (-NH<sub>2</sub>), dando origem ao copolímero de N-acetil-glucosamina e D-glucosamina ou quitosana (Kumar et al., 2020).

A quitosana, derivada da quitina, tem peso molecular elevado, assemelha-se a celulose, a única diferença está relacionada ao grupo amina (-NH<sub>2</sub>) na posição C-2 desse polímero em vez do grupo hidroxila (-OH) encontrado na celulose (Rolim et al., 2018). No entanto, ao contrário da fibra vegetal, a quitosana possui cargas iônicas positivas, o que lhe confere a capacidade de ligar-se quimicamente com lipídeos carregados negativamente, íons metálicos, proteínas e macromoléculas (Katiyar et al. 2015).

Esse biopolímero é uma das macromoléculas potencialmente bioativa, que juntamente com seus derivados estão sendo utilizados em diversos campos que incluem cosméticos, fármacos e na agricultura (Orzali et al., 2017; Aranaz et al., 2018; Miranjkar et al., 2019). A sua característica policatiônica de oligômeros, permite que ela seja capaz de realizar ligações com uma variedade de componentes celulares, como constituintes da membrana plasmática e parede celular e como ligações específicas a receptores influentes nos genes relacionados à defesa das plantas (Jardin, 2015). Além disso, possui propriedades atóxicas, não alergênicas, biodegradáveis e biocompatíveis e confere tolerância múltipla ao estresse em plantas (Malerba & Cerana 2016).

A quitina e a quitosana melhoram a fertilidade do solo, aumentam a absorção de nutrientes minerais pelas plantas (Dzung, 2007), podem contribuir para elevação do teor de clorofilas, possuem atividades antimicrobianas (contra bactérias, fungos e vírus) e antioxidantes (auxiliando no combatendo danos oxidativos causados por condições adversas) além de suas propriedades promotoras de crescimento (Hadrami et al., 2010). Essas substâncias também podem atuar como atenuantes dos efeitos do estresse abiótico, como o estresse hídrico e incrementar as enzimas-chave relacionadas ao fechamento dos estômatos, resultando em uma redução da perda de água (Song et al., 2006; Hadrami et al., 2010).

Os biorreguladores estão sendo empregados na agricultura para minimizar o estresse e aumentar a produtividade das plantas. A quitosana, em particular, tem sido disponibilizada para as plantas de várias maneiras, como via absorção radicular, através da adição direta ao solo (Boonlertnirun et al., 2008) ou dissolvida em solução nutritiva (Dzung et al., 2011), e via absorção foliar com aplicação direta nas folhas (Mondal et al., 2012). Quando aplicados de

forma exógena, eles podem atuar na sinalização ao estresse, melhorando o crescimento e o rendimento das culturas (Srivastava et al., 2016).

A aplicação foliar de quitosana tem potencial para aliviar os efeitos adversos da salinidade (Song et al., 2006; Ma et al., 2014) e do estresse hídrico (Bistgani et al., 2017). As respostas celulares das plantas à quitosana fornecida exogenamente diferem com base no tipo do bioproduto (alto/baixo MW), grau de acetilação, disponibilidade de grupo funcional, método de aplicação, fase da cultura, entre outros (Mirajkar et al., 2019).

Além de promover efeito benéfico no crescimento, a resistência às doenças e a produtividade das plantas quando aplicada em pré-colheita, a quitosana também influencia na transpiração das plantas (Mirajkar et al., 2019). Bittelli et al. (2006) observaram que, aplicação foliar de quitosana na concentração  $1 \text{ g L}^{-1}$  em pimentão (*Capsicum sp.*) sob condições de campo e monitoramento do consumo hídrico da cultura, proporcionou redução no consumo hídrico de 26 e 43% em relação ao tratamento controle. De acordo com os autores, a quitosana aplicada via foliar, induziu o fechamento dos estômatos através de uma diminuição do K nas células guardas. Entretanto, na mesma pesquisa, a diminuição no consumo de água dos tratamentos com quitosana não afetou a produção de biomassa das plantas, quando comparadas com o tratamento controle (Mirajkar et al., 2019).

Em estudo realizado por Abdel-Mawgoud et al. (2010), a aplicação de quitosana via foliar em morangueiro, favoreceu o crescimento em altura de plantas, do número de folhas, da biomassa das folhas, do número de frutos por planta e do nível de acidez e carboidratos totais presentes nesses frutos.

Os autores Pirbalouti et al. (2017), investigaram os efeitos da aplicação foliar de quitosana (0,0, 0,2 e  $0,4 \text{ g L}^{-1}$ ) sob irrigação normal e condições de estresse e também da morfologia, fisiologia e características bioquímicas de duas espécies de manjeriço, incluindo *Ocimum ciliatum* e *O. basilicum*, e constataram efeito benéfico no crescimento das plantas em ambas as espécies sob condições de estresse ou não em comparação com plantas não tratadas. Além disso, os resultados encontrados pelos mesmos autores, indicaram que os diferentes níveis de quitosana tiveram efeitos significativos nos teores de fenóis totais e a atividade antioxidante dos extratos de duas espécies.

Em pesquisa executada por Reis et al. (2019), sobre o milho em condições de estresse hídrico com a aplicação foliar de quitosana (0,5 mg por planta), os autores notaram redução na eficiência instantânea de carboxilação, aumentando os níveis de Cl *b* e Cl *t* das plantas em relação às plantas tratamento controle. Behboudi et al. (2019) ao analisarem a cultura do trigo sob estresse hídrico, observaram que a aplicação foliar de quitosana na concentração de 90 mg

L<sup>-1</sup> aumentou síntese de clorofila, em comparação com as plantas submetidas ao estresse hídrico e sem a aplicação de quitosana. Além disso, sugere-se que a contribuição da quitosana para o aumento na síntese de clorofila pode estar relacionada ao teor de nitrogênio presente na quitosana, desempenhando um papel crucial no anel tetrapirrólico da clorofila (Behboudi et al., 2019).

Durante a investigação de Almeida et al. (2020), sobre a cultura do milho submetida a déficit hídrico por 15 dias e à aplicação foliar de diferentes doses de quitosana (60, 100, 140 e 180 mg L<sup>-1</sup>) no estágio de crescimento pré-floração, foi concluído que as plantas tratadas com 140 mg L<sup>-1</sup> de quitosana apresentaram respostas semelhantes as plantas em condições favoráveis de irrigação. Segundo os autores, os efeitos benéficos observados estão relacionados ao aumento da atividade de enzimas antioxidantes, melhorias nas trocas gasosas e baixos níveis de peroxidação lipídica e peróxido de hidrogênio nas plantas, o que faz da quitosana um potencial atenuador para aumentar a tolerância ao estresse hídrico.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallah, M. B.; Methenni, K.; Nouairi, I.; Zarrouk, M.; Youssef, N. B. Drought priming improves subsequent more severe drought in a drought-sensitive cultivar of olive cv. Chétoui. *Scientia Horticulturae*, v.221, p.43–52, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.021>
- Abdel-Mawgoud, A. M. R.; Tantawy, A. S.; El-Nemr, M. A.; Sassine, Y. N. Growth and yield responses of strawberry plants to chitosan application. *European Journal of Scientific Research*, v. 39, p. 170-177, 2010.
- ABRAPA - Associação Brasileira de Produtores de Algodão: Algodão no mundo. 2023. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/default.aspx>. Acesso em: jul 2024.
- Almeida, E. S. A. B.; Pereira, J. R.; Azevedo, C. A. V. de; Araújo, W. P.; Zonta, J. H.; Cordão, M. A. Algodoeiro herbáceo submetido a déficit hídrico: produção. *Embrapa Algodão-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, v.13, p.22-28, 2017.
- Almeida, L. G.; Magalhães, P. C.; Karam, D.; Silva, E. M. D.; Alvarenga, A. A. Chitosan application in the induction of water deficit tolerance in maize plants. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.42, e42463, 2020. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.42463>
- Alves, F. A. L.; Cavalcante, F. S.; Oliveira Júnior, I. S.; Ferraz, I.; Silva, S. M. S. Competição de variedades de algodão herbáceo para cultivo no agreste pernambucano. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, v.24, p.1-8, 2019. <https://doi.org/10.12661/pap.2019.003>
- Aranaz, I.; Acosta, N.; Civera, C.; Elorza, B.; Mingo, J.; Castro, C.; Heras C. A. Cosmetics and cosmeceutical applications of chitin, chitosan and their derivatives. *Polymers*, v.10, p.213, 2018. <https://doi.org/10.3390/polym10020213>
- Araújo, W. P.; Pereira, J. R.; Zonta, J. H.; Guerra, H.O. C.; Cordão, M. A.; Lima, R. F. Production components and water efficiency of upland cotton cultivars under water deficit strategies. *African Journal of Agricultural Research*, v. 14, p. 887-896, 2019. <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.13907>
- Barbosa, J. L.; Nobre, R. G.; Souza, L. D. P.; Veloso, L. L. de S.; Silva, E. L. da; Guedes, M. A. Crescimento de algodoeiro colorido cv. BRS Topázio em solos com distintas salinidades e adubação orgânica. *Revista de Ciências Agrárias*, v.42, p.201-210, 2019. <https://doi.org/10.19084/RCA17294>
- Behboudi, F.; Tahmasebi-Sarvestani, Z.; Kassae, M. Z.; Modarres-Sanavy, S. A. M.; Sorooshzadeh, A.; Mokhtassi-Bigdoli, A. Evaluation of chitosan nanoparticles effects with two application methods on wheat under drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, v. 42, 2019. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617308>

- Beltrão, N. E. M.; Oliveira, M. I. P.; Souza Júnior, S. P.; Brito, G. G.; Cardoso, G. D. Ecofisiologia do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. *latifolium* Hutch.). In: Beltrão, N. E. M.; Oliveira, M. I. P. eds. Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-mansão e sisal. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica. 2011. p. 65-123.
- Bittelli, M.; Flury, M.; Campbell, G. S.; Nichols, E. J. Reduction of transpiration through foliar application of chitosan. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.107, p. 167-175, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00242-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00242-2)
- Bistgani, Z. E.; Siadat, S. A.; Bakhshandeh, A.; Pirbalouti, A. G.; Hashemi, M. Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. *The Crop Journal*, v.5, p.407-415, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003>
- Blas-Sevillano, R. H.; Veramendi, T.; La Torre, B.; Velezmoro-Sánchez, C. E.; Oliva, A. I.; Mena-Martínez, M. E.; Herrera-Kao, W. A.; Uribe-Calderon, J.; Cervantes-Uc, J. M. Physicochemical characterization of several types of naturally colored cotton fibers from Peru. *Carbohydrate Polymers*, v.197, p.246– 252, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.006>
- Boonlertnirun, S.; Boonraung, C.; Suvanasa, R. Application of chitosan in rice production. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, v.18, p. 47-52, 2008.
- Borém, A.; Freire, E. C. Algodão: do plantio a colheita. Minas Gerais: UFV, 2014. 312p.
- Carvalho, L. P.; Santos, J. W. dos. Respostas correlacionadas do algodoeiro com a seleção para a coloração da fibra. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.79-83, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000100011>
- Chiavegato, E. J. Salvatierra, D. K. de; Gottardo, L. C. B. Algodão. In: Monteiro, J. E. B. A (Org.). *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.
- Chitarra, L. G. Identificação e controle das principais doenças do algodoeiro. 3. ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2014. 68p.
- Coelho J. D. Produção de algodão. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 3, n.56, dez., 2018. (Caderno Setorial Etene). Disponível em: DSpace - BNB - Banco do Nordeste do Brasil: Produção de algodão Acesso em: jul 2024.
- 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*, v. 13, p.313-321, 2018. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i3.5933>

- Costa, V. A.; Cothren, J. T. Drought effects on gas exchange, chlorophyll, and plant growth of 1-methylcyclopropene treated cotton. *Agronomy Journal*, v.103, p.1230–1241, 2011. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0479>
- Deeba, F.; Pandey, A. K.; Ranjan, S.; Mishra, A.; Singh, R.; Sharma, Y. K.; Pramod A. Shirke, P. A.; Pandey, V. Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.53, p.6-18, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.01.002>
- Dzung, N. A. Chitosan and their derivatives as prospective biosubstances for developing sustainable eco-agriculture. In S. Senel, K. M.; Varum, M. M.; Sumnu, A. A. Hincal (Eds.), *Advances in chitin science X*, p. 453–459, 2007.
- Dzung, N. A.; Khanh, V.T. P.; Dzung, T. T. Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. *Carbohydrate Polymers, United Kingdom*, v.84, p.751-755, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.066>
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultivo do Algodão Irrigado, 2014. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: jul 2024.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manejo da Irrigação do Algodoeiro, 2016. Disponível <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1041572/manejo-da-irrigacao-do-algodoeiro>. Acesso em: jun. 2024.
- Farias, F. J. C.; Morello, C. D. L.; Pedrosa, M. B.; Suassuna, N. D.; Silva Filho, J. L. da; Carvalho, L. P. de; Ribeiro, J. ‘BRS JADE’: nova cultivar de algodão colorido de dupla aptidão para o Cerrado Baiano e para o Semiárido Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 11., 2017, Maceió. Inovação e rentabilidade da cotonicultura: livro de resumos. Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2017.
- Felipe, L. O.; Rabello, L. A.; Júnior, E. N. O.; Santos, I. J. B. Quitosana: da química básica à bioengenharia. *Química Nova na escola*, v.39, p.12-320, 2017. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160089>
- Free, J.B. Insect pollination of crops. New York: Academic Press, 1993.544p.
- Gomes, I. H.; Cavalcanti, J. J.; Farias, F. J.; Da Paixão, F. J.; Silva Filho, J. L. D.; Suassuna, N. D. Selection of cotton genotypes for yield and fiber quality under water stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.610-617, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n8p610-617>

- Guaratini, C. C. I.; Zanoni, M.V.B. Corantes têxteis. *Química Nova*, v.23, p.71-78, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000100013>
- Hadrami A, El.; Adam, L.R.; Hadrami, F. I. El.; Daayf, F. Chitosan in plant protection, *Mar. Drugs*, v.8, p.968–987, 2010. <https://doi.org/10.3390/md8040968>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal*, 2022. Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: jul 2024.
- ICAC – International Cotton Advisory Committee. 2023. Disponível em: <https://icac.org/DataPortal/DataPortal?Year=2021/22%20proj>. Acesso em: jul 2024.
- Jardin, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation, *Scientia Horticulturae*, v.196, p.3-14, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Katiyar, D.; Hemantaranjan, A.; Singh, B. Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. *Indian Journal of Plant Physiology*, v.20, p.1-9, 2015. <https://doi.org/10.1007/s40502-015-0139-6>
- Khan, A.; Pan, X.; Najeeb, U.; Tan, D. K. Y.; Fahad, S.; Zahoor, R.; Luo, H. Coping with drought: stress and adaptive mechanisms, and management through cultural and molecular alternatives in cotton as vitais constituents for plant stress resilience and fitness. *Biological Research*, v.51, p.1-17, 2018. <http://dx.doi.org/10.1186/s40659-018-0198-z>
- Koch, G.; Rolland, G.; Dauzat, M.; Bédiée, A.; Baldazzi, V.; Bertin, N.; Guédon, Y.; Granier, C. Leaf production and expansion: A generalized response to drought stresses from cells to whole leaf biomass—a case study in the tomato compound leaf. *Plants*, v.8, p.1-17, 2019. <https://doi.org/10.3390/plants8100409>
- Kumar, S.; YE, F.; Dobretsov, S.; Dutta, J. Chitosan nanocomposite coatings for food, paints and water treatment applications. *Applied Sciences*, v.9, 2409, 2019. <https://doi.org/10.3390/app9122409>
- Lima, B. L. C.; Silva, Ê. F. F.; Zonta, J. H.; Cordão Terceiro Neto, C. P.; Lacerda, C. F.; Ferreira, J. F. S.; Cruz, F. J. R. Irrigation with wastewater and K fertilization ensure the yield and quality of colored cotton in a semiarid climate. *Agronomy*, v. 11, 2370, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122370>
- Lima, R. F de.; Araújo, W. P.; Pereira, J. R.; Cordão, M. A.; Ferreira, F. N.; Zonta, J. H. Fibras de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.13, p.427-436, 2018. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i4.5940>.
- Lima. T. C.; Aquino, L. A.; Berger, P. G. Botânica. IN: Borém, A.; Freire, E. C. Algodão do plantio à colheita. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. Cap 3, p. 49 - 66.

- Loka, D. A.; Oosterhuis, D. M. Water-deficit stress effects on pistil biochemistry and leaf physiology in cotton (*Gossypium hirsutum*, L.). *South African Journal of Botany*, v.93, p.131-136, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.03.019>
- Ma, L. J., Li, Y. Y., Wang, L. L., Li, X. M., Liu, T., Bu, N. Germination and physiological response of wheat (*Triticum aestivum*) to pre-soaking with oligochitosan, *Int. J. Agric. Biol.* 16 (2014) 766–770.
- Malerba, M.; Cerana, R. Chitosan effects on plant systems. *International journal of molecular sciences*, v.17, p.996, 2016. <https://doi.org/10.3390/ijms17070996>
- Malerba, M.; Cerana, R. Recent advances of chitosan applications in plants. *Polymers*, v.10, p.118, 2018. <https://doi.org/10.3390/polym10020118>
- Maniçoba, R. M.; Sobrinho, J. E.; Zonta, J. H.; Junior, E. G. C.; De Oliveira, A. K. S.; Silva, I. A. S. da. Resposta do algodoeiro à supressão hídrica em diferentes fases fenológicas no semiárido brasileiro. *Irriga*, v.26, p.123-133, 2021. <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v26n1p123-133>
- Mirajkar, S. J.; Dalvi, S. G.; Ramteke, S. D.; Suprasanna, P. Foliar application of gamma radiation processed chitosan triggered distinctive biological responses in sugarcane under water deficit stress conditions. *International journal of biological macromolecules*, v.139, p.1212-1223, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.093>
- Mondal, M. M.; Malek, M. A.; Puteh, A. B.; Ismail, M. R.; Ashrafuzzaman, M.; Naher, L. Effect of foliar application of chitosan on growth and yield in okra. *Australian Journal of Crop Science, Australia*, v.6, p.918-921, 2012. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.733141128864486>
- Nascimento, P. S.; Alves, L. S.; Paz, V. P. S. Performance of colored cotton under irrigation water salinity and organic matter dosages. *Revista Ambiente e Água*, v. 14, e2369, 2019. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2369>.
- Orzali, L.; Corsi, B.; Forni, C.; Riccioni, L. Chitosan in agriculture: a new challenge for managing plant disease. *Biological activities and application of marine polysaccharides*, v. 10, p. 17-36, 2017. <https://doi.org/10.5772/66840>
- Papastylianou, P.; Kousta, A. Effect of Superabsorbent Polymer on Seedling Emergence and Growth of Cotton under Water Stress Conditions. *Bulletin UASVM Horticulture*, v.77, p.86-91, 2020. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:2020.0011>
- Pirbalouti, A. G.; Malekpoor, F.; Salimi, A.; Golparvar, A. Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimum ciliatum* and *Ocimum basilicum*) under reduced irrigation.

- Scientia Horticulturae, v. 201, p. 114-122, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017>.
- Rehman, A.; Farooq, M. Morphology, Physiology and Ecology of Cotton. Cotton Production, 2019. Cap.2. p.23–46. <https://doi.org/10.1002/9781119385523.ch2>.
- Reis, C. O.; Magalhães, P. C.; Avila, R. G.; Almeida, L. G.; Rabelo, V. M.; Carvalho, D. T.; Cabral, D. F.; Karam, D.; Souza, T. C. Action of N-Succinyl and N,O-Dicarboxymethyl chitosan derivatives on chlorophyll photosynthesis and fluorescence in drought-sensitive maize. Journal of Plant Growth Regulation, v. 38, p. 619-630, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9877-9>
- Rodrigues, J. D.; Silva, C. R. C.; Pereira, R. F.; Ramos, J. P. C.; Melo Filho, P. A.; Cavalcanti, J. J. V.; Santos, R. C. Characterization of water-stress tolerant cotton cultivars based on plant growth and in activity of antioxidant enzymes. African Journal of Agricultural Research, v.11, p.3763-3770, 2016. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11301>
- Rolim, A. E. H.; Carvalho, F. A.; Costa, R. C. C.; Rosa, F. P. Arcabouços de quitosana – Propriedades físico-químicas e biológicas para o reparo ósseo. Revista Virtual de Química, v.10, p.211-228, 2018. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180018>
- Saleh, B. Salt stress alters physiological indicators in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Soil & Environment, v.31, p.113-118, 2012.
- Sanchez Junior, J. L. B.; Malerbo-Souza, D. T. Frequência dos insetos na polinização e produção de algodão. Acta Scientiarum. Agronomy, v.26, p.461-465, 2004.
- SEAGRI – Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária. Cultura – Algodão. 2012. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/Algodao.htm>. Algodão na Bahia. Acesso em: jul 2024.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA DO ESTADO DA BAHIA - SEAGRI. Cultura: algodão. Salvador: Editora Revista Bahia Agrícola, 2012. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/Algodao.htm>. Acesso em: jul 2024.
- Silva, F. A.; Dias, M. S.; Fernandes, P. D.; Marcelino, A. D. A. L.; Lima, A. M., Pereira, R. F.; Barbosa, D. D.; Silva, M. F. C.; Silva, A. A. R.; Santos, R. C. Pyruvic acid as attenuator of water deficit in cotton plants varying the phenological stage. Brazilian Journal of Biology, v. 83, p.1-8., 2023. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.272003>.
- Silva, I. P. F.; Junior, J. F. S.; Araldi, R.; Tanaka, A. A.; Giroto, M.; Bosque, G. G.; Lima, F. C. C. Estudo das fases fenológicas do algodão (*Gossypium hirsutum* L.). Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v. 10, p. 1-10, 2011.
- Silveira, N. M.; Prativiera, P. J.; Pieretti, J. C.; Seabra, A. B.; Almeida, R. L.; Machado, E. C.; Ribeiro, R. V. Chitosan-encapsulated nitric oxide donors enhance physiological recovery of

- sugarcane plants after water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, v.190, p.104593, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104593>
- Soares, L. A. dos A.; Dias, K. M. M.; Nascimento, H. M.; Lima, G. S. de; Oliveira, K. J. A. de; Silva, S. S. da. Estratégias de manejo do déficit hídrico em fases fenológicas do algodoeiro colorido. *Irriga*, v.25, p.656-662, 2020. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n4p656-662>
- Soares, L. A. dos. A.; Felix, C. M.; Lima, G. S. de.; Gheyi, H. R.; Silva, L. D. A.; Fernandes, P. D. Gas exchange, growth, and production of cotton genotypes under water deficit in phenological stages. *Revista Caatinga*, V. 36, p. 145-157, 2023. <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n116rc>
- Soares, L. A. dos. A.; Fernandes, P. D.; Lima, G. S. de.; Silva, S. S. D.; Moreira, R. C.; Medeiros, T. L. Phytomass and production components of colored cotton under salt stress in different phenological stages. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.25, p.132-138, 2021. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n2p132-138>
- Song, S.Q.; Sang, Q.M.; Guo, S.R.; Physiological synergisms of chitosan on salt resistance of cucumber seedlings, *Acta Bot. Boreali-Occidentalia Sin.* v.26, p.435-441, (2006).
- Srivastava, A.K.; Pasala, R.; Minhas, P.S.; Suprasanna, P. Plant bioregulators for sustainable agriculture: integrating redox signaling as a possible unifying mechanism, *Adv. Agron*, v.137, p.237–278, 2016. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.002>
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6th. ed. Porto Alegre, Artmed. 2017.
- Tavares, V. C de A.; Paulino, I. R.; Silva, D. G. da. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. *Geosul*, v.34, p.385-405, 2019. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385>
- Torres F. O novo algodão do semiárido. *Revista inovação em pauta*, v.7, p. 45– 49, 2009.
- Ul-Allah, S.; Rehman, A.; Hussain, M.; Farooq, M. Fiber yield and quality in cotton under drought: Effects and management. *Agricultural Water Management*, v.255, p.2-9, 106994, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106994>
- UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE - FOREIGN AGRICULTURAL SERVICEUSDAFAS.Crop Explorer Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/2631000>; Acesso em: jul. 2024.
- Van Der Sluijs, M.H.J. Effect of nitrogen application level on cotton fibre quality. *Journal of Cotton Research*, v.5, p.2-35, 2022. <https://doi.org/10.1186/s42397-022-00116-9>.
- Vasques, R. S.; Silva, A. B. P. da; Klein, C. S.; Maia, E. R. B.; Fortunato, F. de S.; Andrade, K.; Brito, M. R. P. de; Dias, R. de C. R. *Techidoteca: Study on the culture of the textile, clothing*

- and accessories produced with brazilian organic colored cotton. *Brazilian Journal of Development*, v.6, p.95481–95494, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-147>.
- Veloso, L. L. de S. A.; Azevedo, C. A. V. de; Nobre, R. G., Lima, G. S. de; Silva, I. J. da; Lacerda, C. N. de. Hydrogen peroxide in the acclimation of colored-fiber cotton genotypes to salt stress. *Revista Caatinga*, v.36, p.414-423, 2023. <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n218rc>
- Vidal Neto, F. C.; Freire, E. C. Melhoramento genético do algodoeiro. In: Vidal Neto, F. C.; Cavalcanti, J. J. V. (Ed.) *Melhoramento genético de plantas no Nordeste*. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. Cap. 3, p.49 – 83.
- Yi, X. P.; Zhang, Y. L.; Yao, H. S.; Han, J. M.; Chow, W. S.; Fan, D. Y.; Zhang, W. F. Changes in activities of both photosystems and the regulatory effect of cyclic electron flow in field-grown cotton (*Gossypium hirsutum* L) under water deficit. *Journal of Plant Physiology*, v.220, p.74-82, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.10.011>
- Yousefzadeh, K.; Houshmand, S.; Shiran, B.; Mousavi-Fard, S.; Zeinali, H.; Nikoloudakis, N.; Gheisari, M. M.; Fanourakis, D. Joint effects of developmental stage and water deficit on essential oil traits (content, yield, composition) and related gene expression: A case study in two *Thymus* species. *Agronomy*, v.12, e1008, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051008>
- Zacharias, A. O.; Ferreira, D. da S.; Zonta, J. H. Algodão naturalmente colorido: Como um novo Nicho de mercado. Brasília: Embrapa; Sebrae Nacional, 2021. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/226851/1/Guia-de-Nego769cioalgoda771o-colorido-naturalmente.pdf>> Acesso em: jun 2024.
- Zhang, D.; Luo, Z.; Liu, S.; Li, W.; Tang, W.; Dong, H. Effects of deficit Irrigation and Plant Density on the growth, Yield and fiber quality of irrigated cotton. *Field Crops Research*. Res, v.197, p.1–9, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.003>
- Zomorodi, N.; Rezaei Nejad, A.; Mousavi-Fard, S.; Feizi, H.; Nikoloudakis, N.; Fanourakis, D. Efficiency of sodium and calcium chloride in conferring cross-tolerance to water deficit in periwinkle. *Horticulturae*, v.8, p.1091, 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111091>
- Zonta, J. H.; Brandão, Z. N.; Rodrigues, J. I. S.; Sofiatti, V. Cotton response to water deficits at different growth stages. *Revista Caatinga*, v.30, p. 980-990, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n419rc>
- Zonta, J. H.; Brandão, Z. N.; Sofiati, V.; Bezerra, I. R. C.; Medeiros, J.C. Irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in semi-arid

environment. Australian Journal of Crop Science, v.10, p.118 - 126, 2016.  
<https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.936925823726140>

**APLICAÇÃO DE QUITOSANA NO CULTIVO DO ALGODOEIRO DE FIBRA  
COLORIDA ‘BRS JADE’ SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA**

*Artigo publicado na Revista Semina: Ciências Agrária. Londrina, v. 45, n. 3, p. 765-782,  
maio/jun. 2024*

## APLICAÇÃO DE QUITOSANA NO CULTIVO DO ALGODOEIRO DE FIBRA COLORIDA ‘BRS JADE’ SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA

**Resumo:** Na região semiárida do Nordeste brasileiro é comum a ocorrência de variação temporal e espacial de chuvas, resultando em limitações hídricas que afetam a produção, especialmente, do algodoeiro. Nesse sentido, a quitosana pode ser uma estratégia para minimizar os efeitos do déficit hídrico, melhorando a absorção de água e nutrientes. Assim, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito de concentrações de quitosana no crescimento, fisiologia e produção do algodoeiro de fibra naturalmente colorida ‘BRS Jade’ sob restrição hídrica. As plantas foram conduzidas em lisímetros de drenagem sob condições de casa de vegetação com o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial  $2 \times 4$ , sendo duas lâminas de irrigação (100 e 50% da necessidade hídrica da cultura) e quatro concentrações de quitosana (0,0; 0,25; 0,50 e 0,75 g L<sup>-1</sup>) com três repetições e uma planta por parcela. A restrição em 50% da lâmina da necessidade hídrica da cultura reduziu o conteúdo relativo de água, a síntese de pigmentos fotossintéticos, a massa de algodão em caroço e fitomassa seca da parte aérea. Entretanto, a aplicação foliar de quitosana entre as concentrações de 0,25 e 0,50 g L<sup>-1</sup> amenizou os efeitos deletérios da restrição hídrica no teor de clorofila *b* e carotenoides aos 60 dias após a semeadura (DAS), além do diâmetro do caule e área foliar aos 85 DAS e peso de 100 sementes, peso médio de capulho, massa de algodão em caroço, fitomassa seca total de capulhos, fitomassa seca do caule, da folha e da parte aérea do algodoeiro de fibra colorida ‘BRS Jade’. Os resultados obtidos no presente estudo confirmaram a hipótese que a aplicação foliar de quitosana ameniza os efeitos deletérios da restrição hídrica no cultivo de algodoeiro de fibra colorida.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum* L., Aclimação, Bioestimulante, Estresse abiótico.

## APPLICATION OF CHITOSAN IN THE CULTIVATION OF COLORED FIBER COTTON ‘BRS JADE’ UNDER WATER RESTRICTION

**Abstract:** In the semiarid region of Northeastern Brazil, temporal and spatial rainfall variations are common, resulting in water limitations that affect production, especially of cotton. In this sense, chitosan can be a strategy to minimize the effects of water deficit, improving water and nutrient absorption. The objective of this study was to evaluate the effect of chitosan concentrations on the growth, physiology and production of naturally colored fiber cotton ‘BRS

Jade' under water restriction. The plants were grown in drainage lysimeters under greenhouse conditions. A completely randomized design was used in a  $2 \times 4$  factorial scheme, with two irrigation levels (100 and 50% of the crop water requirement) and four chitosan concentrations (0.0, 0.25, 0.50 and  $0.75 \text{ g L}^{-1}$ ) with three replicates and one plant per plot. The restriction of 50% of the crop's water requirement reduced the relative water content, the synthesis of photosynthetic pigments, the mass of cottonseed and the dry mass of the aerial part. However, the foliar application of chitosan between concentrations of 0.25 and  $0.50 \text{ g L}^{-1}$  mitigated the deleterious effects of water restriction on the content of chlorophyll b and carotenoids at 60 days after sowing (DAS), in addition to the stem diameter and leaf area at 85 DAS and weight of 100 seeds, average boll weight, mass of cottonseed, total dry mass of bolls, dry mass of the stem, leaf and aerial part of the colored fiber cotton plant 'BRS Jade'. The results obtained in the present study confirmed the hypothesis that the foliar application of chitosan mitigates the deleterious effects of water restriction on the cultivation of colored fiber cotton plant.

**Key words:** *Gossypium hirsutum* L., Acclimation, Biostimulant., Abiotic stress.

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um fator primordial que atua em diversos processos fisiológicos, incluindo aspectos do crescimento, desenvolvimento e metabolismo das plantas (Magalhães et al., 2020). No cenário mundial de mudanças climáticas, a sua disponibilidade é uma preocupação, tanto em termos quantitativos como qualitativos. O uso desenfreado da água tem causado limitação progressiva desse recurso natural, já que é usada para diversos fins, dentre esses, na agricultura que é responsável pelo consumo médio de 70% do volume captado (Koch et al., 2019; Medeiros et al., 2019; Tavares et al., 2019).

A região semiárida do Nordeste brasileiro enfrenta desafios significativos devido à limitação hídrica, uma condição intrínseca às suas características regionais (Soares et al., 2018). A disponibilidade limitada de água é um fato marcante, agravada pela grande variabilidade temporal e espacial das chuvas, pela alta taxa de evapotranspiração, que combinados tornam a gestão hídrica nessas áreas uma tarefa complexa e exigente (Lacerda et al., 2022; Wanderley et al., 2022). Diante das características climáticas do semiárido do Nordeste brasileiro, a prática da irrigação, comumente, é uma forma de garantir a produção agrícola com segurança (Lima et al., 2018; Silveira et al., 2019).

O cultivo do algodão de fibra colorida é vital para o Nordeste brasileiro, essas cultivares despertam o interesse de produtores e consumidores por causa do seu potencial socioeconômico e sustentável pela redução da geração de resíduos tóxicos durante a produção e beneficiamento das fibras por não necessitar do uso de tingimentos químicos (Araújo et al., 2019; Barbosa et al., 2019).

Apesar do algodoeiro ser considerado relativamente tolerante ao déficit hídrico, o avanço da cotonicultura no semiárido brasileiro passa por limitações em razão das condições hídricas da região. Em estudos realizados com a cultura do algodoeiro sob restrição hídrica, Cordão et al. (2018), Maniçoba et al. (2021) e Soares et al. (2023) verificaram que os efeitos da limitação hídrica interferem diretamente no seu crescimento e desenvolvimento, principalmente, se houver deficiência no fornecimento de água nas fases consideradas mais sensíveis, como floração e a formação das maçãs, que reflete diretamente na produtividade e qualidade das fibras de algodão.

No semiárido brasileiro, torna-se imprescindível a adoção de estratégias para enfrentar essa situação, para que seja alcançado o gerenciamento adequado através da reposição de água no solo em quantidades apropriadas, maximizando a produtividade, tendo como resultado o uso mais eficiente da água na agricultura. Em virtude das características físicas e químicas da quitosana, esse biopolímero pode estimular respostas fisiológicas para tolerância a limitação hídrica sendo uma forma alternativa para mitigar tais efeitos (Almeida et al., 2020).

A quitosana, extraída através da desacetilação da quitina, é um polissacarídeo amplamente presente na natureza, pode ser derivado dos exoesqueletos de artrópodes e crustáceos, além de estar presente na parede celular de certos fungos (Moenne & Gonzalez, 2021). É insolúvel em água, mas solúvel em soluções de ácidos diluídas (Park et al., 2001) e apresenta vantagens por ser um biopolímero não tóxico, biodegradável, bioativo e biocompatível (Coma et al., 2002; Hemantaranjan et al., 2014). Embora o modo de ação da quitosana nas plantas não tenha sido completamente elucidado, as respostas biológicas promovidas pela sua utilização dependem tanto de sua composição química, como do tempo e taxa de aplicação (Malerba & Cerana, 2016).

Pesquisas mostram o uso da quitosana como mitigador do déficit hídrico, como Almeida et al. (2020) ao constatarem que a aplicação de quitosana via foliar, na concentração de 140 mg L<sup>-1</sup>, proporcionou efeitos benéficos no desenvolvimento do sistema radicular das plantas de milho em condições de restrição hídrica em solo com tensão de -138 kPa.

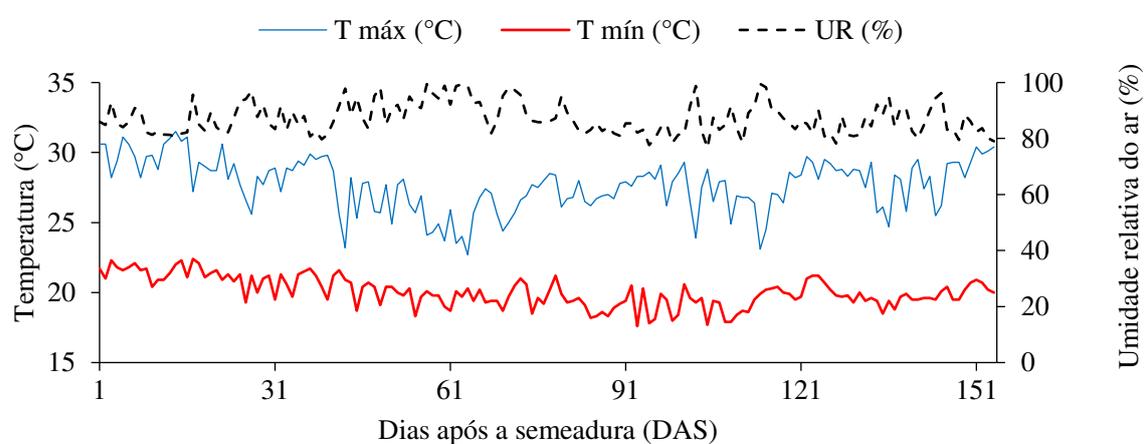
A pesquisa desenvolvida por Pirbaloutti et al. (2017) avaliando os efeitos da aplicação foliar de quitosana, mostrou que a aplicação de 0,4 g L<sup>-1</sup> de quitosana estimulou o crescimento

em duas espécies de manjeriço (*Ocimum ciliatum* e *O. basilicum*) sob condições de estresse hídrico (30% da capacidade de campo do solo), sugerindo que a quitosana pode ser uma substância promissora para redução dos efeitos deletérios do estresse hídrico.

Ante o exposto, objetivou-se com esta pesquisa avaliar o efeito das concentrações de quitosana como atenuante da restrição hídrica no cultivo do algodoeiro de fibra naturalmente colorida ‘BRS Jade’.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida entre o período de abril e setembro de 2023 sob condições de casa de vegetação com característica do tipo arco, com 30 m de comprimento e 21 m de largura, altura de pé direito de 3 m, com cobertura de polietileno de baixa densidade de 150 micras, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – UAEEA, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil (7°15’18’’ S e 35°52’28’’ W e altitude média de 529 m). Os dados de temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar coletados diariamente ao longo do período experimental são apresentados na Figura 1.



T máx. – Temperatura máxima, T mín – Temperatura mínima, UR – Umidade relativa do ar

**Figura 1.** Temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar durante a condução do experimento.

Os tratamentos foram constituídos de duas lâminas de irrigação (100 e 50% da necessidade hídrica da cultura) e quatro concentrações de quitosana (0,0; 0,25; 0,50 e 0,75 g L<sup>-1</sup>), em arranjo fatorial 2 × 4, distribuídos no delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. As lâminas de irrigação foram baseadas no estudo de Soares et al. (2020) e as

concentrações de quitosana adaptadas a partir de pesquisa desenvolvida por Almeida et al. (2020).

As plantas foram cultivadas em recipientes plásticos adaptados para lisímetros de drenagem (altura de 70 cm e diâmetro de 60 cm e volume de 200 dm<sup>3</sup>). Cada lisímetro foi perfurado na sua base para conectar duas mangueiras de 16 mm de diâmetro, como dreno, que foram acopladas a dois recipientes plásticos de 2 L para coleta da água drenada e posterior determinação do consumo hídrico das plantas. Na parte interna do lisímetro, nas saídas dos drenos foi inserida uma manta geotêxtil não tecida (Bidim) seguida de uma camada de brita para evitar a sua obstrução pelo material de solo.

Em seguida, os lisímetros foram preenchidos com 250 kg de um Neossolo Regolítico (*Entisol*), proveniente da zona rural do município de Lagoa Seca, PB, de textura franco-argiloarenoso (profundidade 0-20 cm), devidamente destorroado cujas características químicas e físicas (Tabela 1) foram analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), pertencente à UAEEA/UFCEG, conforme a metodologia de Teixeira et al. (2017).

**Tabela 1.** Atributos químicos e físico-hídricas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Características químicas								
pH	M.O	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>
1:2,5	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....					
6,5	8,1	79	0,24	0,51	14,9	5,4	0	0,0
.....Características químicas.....				.....Características física e hídrica.....				
CEes dS m <sup>-1</sup>	CTC cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	RAS (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	PST %	Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )	
				Areia	Silte	Argila	33,42 kPa <sup>1</sup>	1519,5 kPa <sup>1</sup>
2,15	16,54	0,16	3,08	572,7	100,7	326,6	25,91	12,96

pH – Potencial hidrogeniônico, M.O – Matéria orgânica; Digestão Úmida Walkley-Black; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 M pH 7,0; Al<sup>3+</sup>+H<sup>+</sup> extraídos utilizando-se CaOAc 0,5 M pH 7,0; CEes - Condutividade elétrica do extrato de saturação; CTC - Capacidade de troca catiônica; RAS - Relação de adsorção de sódio do extrato de saturação; PST - Porcentagem de sódio trocável; <sup>1,2</sup> referindo a capacidade de campo e ponto de murchamento permanente.

A cultivar de algodoeiro de fibra colorida escolhida para o experimento foi a ‘BRS Jade’, proveniente do Centro Nacional de Pesquisa de Algodão. A ‘BRS Jade’ possui fibra de coloração marrom clara, com elevado potencial produtivo nos ambientes de Cerrado e Semiárido, com ciclo em torno de 135 dias após a emergência. A produtividade média de algodão em caroço dessa cultivar em ensaios conduzidos no Cerrado e Semiárido foi de 4,47 t ha<sup>-1</sup> e uma porcentagem de fibra média superior a 40%. Os ensaios realizados com essa cultivar identificaram que ela possui boas características de fibra, como comprimento, uniformidade,

resistência e índice micronaire, além de outras que são adequadas à indústria têxtil (Farias et al., 2017).

Anterior ao processo de semeadura, em todas as unidades experimentais a umidade do solo foi elevada para próximo a capacidade de campo por lisimetria de drenagem. Em seguida foram semeadas cinco sementes por lisímetro a 2 cm de profundidade distribuídas de forma equidistante. Aos 15 dias após a semeadura (DAS), foi realizado o desbaste das plantas, sendo mantida apenas aquela que apresentou maior vigor em cada recipiente. O solo foi mantido próximo a capacidade de campo até a emissão da terceira folha definitiva quando se iniciou diferenciação da aplicação das lâminas de irrigação (100 e 50% da necessidade hídrica da cultura) aplicando-se o volume de água correspondente a cada lâmina de irrigação, determinado pelo balanço hídrico, conforme Eq. 1:

$$VI = \frac{(V_a - V_d)}{(1 - FL)} \quad (1)$$

Em que:

VI = volume de água a ser usado no próximo evento de irrigação (mL);

$V_a$  = volume aplicado no evento de irrigação anterior (mL);

$V_d$  = volume drenado (mL); e;

FL = fração de lixiviação de 0,10, a cada 10 dias nas plantas irrigadas com 100% da necessidade hídrica.

A quitosana usada possui as seguintes características: aparência: pó de cor esbranquiçada; aspecto da solução em ácido acético a 1%: Gel translúcido; Granulometria: 40 mesh; perda por dessecação: 9,41%; cinzas totais: 1,31%; pH: 7,4%; solubilidade em solução de ácido acético: 11 min e com o grau de desacetilação: 86,12%.

As concentrações de quitosana foram preparadas por dissolução em ácido acético 0,1 M (20 g L<sup>-1</sup>) com o auxílio do equipamento agitador magnético durante 11 min, posteriormente diluídas conforme cada tratamento (0,25; 0,50 e 0,75 g L<sup>-1</sup>) usando água destilada, segundo metodologia adaptada do estudo de Almeida et al. (2020).

Para diminuir a tensão superficial das gotas na superfície foliar (nas faces adaxial e abaxial), no momento da aplicação utilizou-se um adjuvante Wil fix® na concentração de 0,5 mL L<sup>-1</sup>. As aplicações foram realizadas às 17 horas com o auxílio de um pulverizador manual

com a pressão de serviço de 35 psi e para aplicação da solução na planta, sendo isolada através de cortinas plásticas para evitar a deriva da solução.

As aplicações tiveram início aos 15 DAS e o encerramento no período de plena floração. A frequência de pulverização foi com intervalo de 30 dias, totalizando três aplicações com o volume médio aplicado por planta, como descrito na tabela 2.

**Tabela 2.** Volume total de cauda de quitosana aplicado por planta aos 15, 45 e 75 Dias após a semeadura (DAS)

DAS	Volume aplicado (mL)			
	Q1	Q2	Q3	Q4
15	0,0	21,1	21,1	21,1
45	0,0	104,45	104,45	104,45
75	0,0	120,00	120,00	120,00

DAS: Dias após a semeadura, Q1, Q2, Q3 e Q4: 0,0; 0,25; 0,50 e 0,75 g L<sup>-1</sup>, respectivamente.

A adubação com nitrogênio - N, fósforo – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e potássio – K<sub>2</sub>O seguiu a recomendação de Novais et al. (1991), com aplicação equivalente a 100, 300 e 150 mg kg<sup>-1</sup> de solo de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, divididas em três aplicações, via fertirrigação, com início aos 20 DAS e depois em intervalos de 20 dias.

Como fonte de macronutrientes utilizou-se o nitrato de cálcio (15% de N) como fonte de nitrogênio, MAP- fosfato monoamônico (60% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 12% de N) para fósforo e complementação do nitrogênio e cloreto de potássio - K<sub>2</sub>O (60% K<sub>2</sub>O) como fonte de potássio. O fornecimento de micronutrientes foi por meio de adubações foliares com um composto de micronutrientes (Mg<sup>2+</sup> = 1,1%; B = 0,85 %; Cu (Cu-EDTA) = 0,5%; Fe (Fe-EDTA) = 3,4 %; Mn (Mn-EDTA) = 3,2%; Mo = 0,05%; Zn = 4,2%; 70% de agente quelante EDTA) na concentração de 1 g L<sup>-1</sup> realizada a cada 20 DAS, aplicadas nas faces adaxial e abaxial, com o auxílio de um pulverizador costal com capacidade de 20 litros.

O controle de pragas foi efetuado com auxílio de inseticida e acaricida químico classificado como sintético, empregando como princípio ativo de Abamectina e Clorfenapir para o controle de pulgão (*Aphis gossypii*), cochonilha (*Phenacoccus Solenopsis*) e mosca branca (*Bemisia tabaci*) via pulverização.

Os efeitos dos tratamentos foram determinados aos 60 DAS (fase de floração), através das variáveis conteúdo relativo de água (CRA), extravasamento de eletrólitos (EE), pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila *a*. Aos 85 DAS (transição da fase de florescimento e frutificação) através das variáveis de crescimento (altura de plantas, diâmetro de caule,

número de folhas e área foliar) e as variáveis de produção (fitomassa seca da parte aérea, massa de algodão em caroço, índice de colheita, peso de 100 sementes (P100s) e o peso médio de capulho.

O conteúdo relativo de água (CRA), utilizando três folhas, totalmente expandidas, do terço médio de cada planta. Para isso, imediatamente após a coleta das folhas, foi determinada a massa fresca (MF), em seguida, as amostras foram imersas em 50 ml de água destilada e acondicionadas por 24 horas em beakers, seguindo com a retirada do excesso de água com papel toalha, pesando para obtendo-se a massa túrgida (MT), levadas as amostras para estufa com circulação de ar forçada (temperatura  $\approx 65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , até atingir massa constante) e pesadas para obtenção da massa seca (MS). A obtenção do CRA foi feita conforme metodologia adaptada por Weatherley (1950) pelas Eq. 2:

$$\text{CRA} = \frac{(\text{MF} - \text{MS})}{(\text{MT} - \text{MS})} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

CRA - conteúdo relativo de água (%);

MF - massa fresca de folhas (g);

MT - massa túrgida (g); e,

MS - massa seca (g).

Para o extravasamento de eletrólitos (EE) foi necessário um perfurador de cobre para obter cinco discos foliares de área conhecida, os quais foram lavados e acondicionados em Erlenmeyer<sup>®</sup> contendo 50 mL de água destilada. Após fechados com papel alumínio, os Erlenmeyer<sup>®</sup> foram acondicionados à temperatura de 25°C por 24 horas, sendo aferida a condutividade elétrica inicial do meio (Xi) com auxílio de um condutivímetro de bancada. Para então os Erlenmeyer serem submetidos à temperatura de 80°C, por 120 min, em estufa de secagem e, após esse tempo retirados para resfriamento do conteúdo e para aferir a condutividade elétrica final (Xf). O extravasamento de eletrólitos é expresso como a porcentagem de condutividade em relação à condutividade total após o tratamento por 120 min a 80°C, e de acordo com Scotti-Campos et al. (2013), considerando-se a Eq. 3:

$$\text{EE} = \frac{X_i}{X_f} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

EE - extravasamento de eletrólitos (%);

Xi - condutividade elétrica inicial ( $\text{dS m}^{-1}$ ); e,

Xf - condutividade elétrica final ( $\text{dS m}^{-1}$ ).

No mesmo período foi feita a quantificação dos pigmentos fotossintéticos, sendo coletados discos foliares com área de  $1,54 \text{ cm}^2$  da terceira folha completamente expandida a partir da gema apical para aplicação da metodologia de Arnon (1949). Os extratos foram usados para a determinação dos teores de clorofilas *a*, *b*, total e carotenoides, foram preparados com 7 ml de acetona diluído a 80%, com auxílio de um espectrofotômetro foram feitas as leituras dos pigmentos fotossintéticos nos comprimentos de onda de absorbância de 470, 647 e 663 nm, respectivamente. Os teores de pigmentos foram determinados a partir das Eqs. 4, 5, 6 e 7.

$$\text{Cl } a = (12,25 \times \text{ABS663}) - (2,79 \times \text{ABS647}) \quad (4)$$

$$\text{Cl } b = (21,5 \times \text{ABS647}) - (5,10 \times \text{ABS663}) \quad (5)$$

$$\text{Cl } t = (7,15 \times \text{ABS663}) + (18,71 \times \text{ABS647}) \quad (6)$$

$$\text{Car} = (1000 \times \text{ABS470} - 1,82 \times \text{Cl } a - 85,02 \times \text{Cl } b)/198 \quad (7)$$

Em que:

Cl *a* - clorofila *a*;

Cl *b* - clorofila *b*;

Cl *t* - clorofila *total*; e,

Car - carotenoides;

Os valores obtidos para os teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides nas folhas foram expressos em  $\mu\text{g mL}^{-1}$ .

A fluorescência da clorofila *a* foi avaliada por meio de um fluorômetro de pulso modulado modelo OS5p da Opti Science, com o protocolo Fv/Fm, para determinação das variáveis de indução de fluorescência: Fluorescência inicial ( $F_0$ ), Fluorescência máxima ( $F_m$ ), Fluorescência variável ( $F_v$ ) e a eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ). O protocolo ocorreu após adaptação das folhas ao escuro por um período 30 min e às 7 horas da manhã, usando um clipe do equipamento, para garantir que todos os aceptores primários estivessem totalmente oxidados, ou seja, os centros de reação estivessem abertos (Genty et al., 1989).

O crescimento foi mensurado aos 85 DAS (transição da fase de florescimento e frutificação) pelas variáveis altura de plantas (AP), que foi determinada com auxílio de uma régua graduada, o diâmetro do caule (DC) por meio de um paquímetro digital e o número de folhas (NF) por meio de contagem direta, tomando como parâmetro aquelas com o comprimento superior a 3 cm e a área foliar (AF) por meio da metodologia proposta por Grimes e Carter (1969), utilizando a Eq. 8:

$$AF = \sum 0,4322X^{2,3002} \quad (8)$$

Em que:

AF = área foliar (cm<sup>2</sup>); e,

X = comprimento da nervura principal da folha do algodoeiro (cm).

A produção do algodoeiro foi avaliada por meio da fitomassa seca da parte aérea (FSPA), a massa de algodão em caroço (MAC), o índice de colheita – IC (massa de algodão em caroço (MAC)/fitomassa seca da parte aérea (FSPA)), o peso de 100 sementes (P100s) e o peso médio de capulho (PMC), sendo o PMC determinado de acordo com Lima et al. (2017). Para a fitomassa seca da parte aérea (caule, folhas e capulho sem a pluma) foram coletados e armazenados em sacos de papel, identificados e colocados em estufa de circulação de ar forçado a 65°C, até atingir o peso constante para serem pesados em uma balança analítica com precisão de 0,001 g.

Os dados coletados foram submetidos ao teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade (teste de Levene) (Levene et al., 1960; Shapiro & Wilk 1965). Na sequência foi realizada uma análise multivariada por meio do método dos componentes principais (CP), reduzindo a quantidade de informações relevantes contida no conjunto de dados originais em menor número de dimensões, resultantes de combinações lineares das variáveis originais geradas a partir dos autovalores ( $\lambda \geq 1,0$ ) na matriz de correlação, explicando porcentagem maior que 10% da variância total (Govaerts et al., 2007).

A partir da redução das dimensões, os dados originais das variáveis de cada componente foram submetidos à análise de variância multivariada (MANOVA) pelo teste de Hotelling (1947) a 0,05 de probabilidade, com o auxílio do software Statistica v. 7.0 (Statsoft, 2004), para lâminas de irrigação e concentrações de quitosana, assim como para interação entre os fatores. Apenas variáveis com coeficiente de correlação maior ou igual a 0,65 foram mantidas em cada componente principal (CP) (Hair et al., 2009).

As variáveis que apresentaram coeficiente de correlação menor que 0,65 foram analisadas posteriormente através da análise univariada (ANOVA),  $p \leq 0,05$ , e nos casos de significância, foi feita análise de regressão polinomial linear e quadrática para as concentrações de quitosana e teste de Tukey para lâminas de irrigação com auxílio do software estatístico SISVAR ESAL (Ferreira, 2019).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O espaço multidimensional das variáveis originais foi reduzido para dois componentes principais (CP1 e CP2) com autovalores maiores que  $\lambda \geq 1,0$ , de acordo com Kaiser (1960), com os autovalores e a porcentagem de variação explicados para cada componente, a representatividade conjunta de 78,53% da variação total, sendo o CP1 explicado por 43,63% da variância e o CP2 por 34,91% da variância restante (Tabela 3). A interação entre as lâminas de irrigação e as concentrações de quitosana ( $L \times Q$ ) influenciou significativamente os dois componentes principais (CP1 e CP2) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Autovalores e porcentagem da variância total explicada na análise multivariada da variância (MANOVA)

	Componentes Principais (CP)	
	CP1	CP2
Autovalores ( $\lambda$ )	7,42	5,93
Porcentagem da variância total ( $\sigma^2$ %)	43,62	34,91
Teste de Hotelling para as Lâminas de Irrigação (L)	0,004	0,007
Teste de Hotelling para Concentração de quitosana (Q)	0,144	0,097
Teste de Hotelling para Interação ( $L \times Q$ )	0,049	0,005

CP1 – Componente principal 1 e CP2 – Componente principal 2.

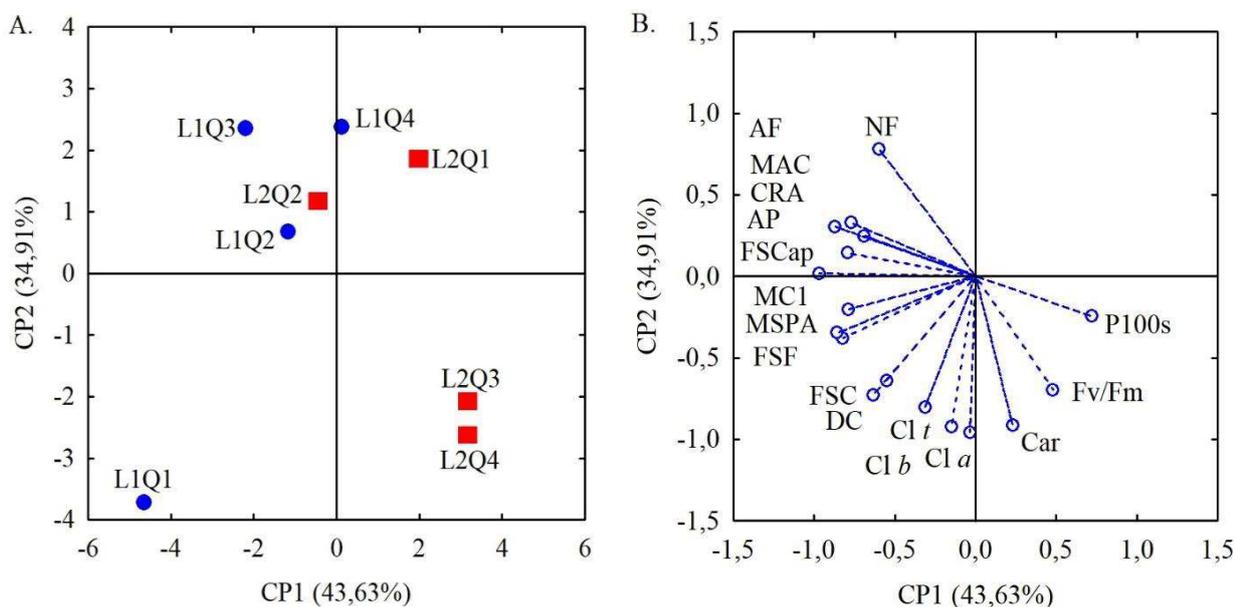
As variáveis que apresentaram coeficientes de correlação superior a 0,65 ( $r > 0,65$ ) foram consideradas relevantes. Os maiores poderes discriminatórios no CP1 foram: conteúdo relativo de água (CRA), altura de plantas (AP), área foliar (AF), peso médio de capulho (PMC), peso de 100 sementes (P100s), massa do algodão em caroço (MAC), fitomassa seca do caule (FSC), fitomassa seca do capulho (FScap) e fitomassa seca da parte área (FSPA). No CP2, as variáveis que apresentaram coeficiente de correlação superior a 0,65 foram clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), clorofila total (Cl *t*), carotenoides (Car), eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e fitomassa seca do caule (FSC) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Coeficientes de correlação (r) entre as variáveis originais e os componentes principais

		Coeficiente de correlação (r)								
		CRA	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Car	Cl <i>t</i>	Fv/Fm	AP	DC	NF
CP1		-0,69	-0,04	-0,31	0,23	-0,15	0,48	-0,79	-0,63	-0,60
CP2		0,25	-0,96	-0,80	-0,91	-0,92	-0,70	0,14	-0,73	0,78
		Coeficiente de correlação (r)								
		AF	PMC	MAC	p100s	FSC	FSF	FSCap	FSPA	
CP1		-0,77	-0,79	-0,87	0,72	-0,55	-0,82	-0,97	-0,86	
CP2		0,33	-0,20	0,31	-0,25	-0,65	-0,38	0,02	-0,35	

CP1 – Componente principal 1; CP2 – Componente principal 2; CRA – Conteúdo relativo de água(%); Cl *a* – Clorofila a ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) – Cl *b* – Clorofila b ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ); Cl *t* – Clorofila total ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ); Car – Carotenoides ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ); Fv/Fm – eficiência quântica do fotossistema II; AP – Altura de plantas (cm); DC – Diâmetro do caule (mm); NF – Número de folhas; AF – Área foliar ( $\text{cm}^2$ ); PMC – Peso médio de capulho (g por planta); MAC – Massa do algodão em caroço (g por planta); p100s – Peso de 100 sementes (g por planta); FSC – Fitomassa seca do cule (g por planta); FSF – Fitomassa seca das folhas (g por planta); FSCap – Fitomassa seca dos capulhos (g por planta) e FSPA – Fitomassa seca da parte aérea (g por planta).

As projeções biplot dos efeitos dos tratamentos e variáveis no primeiro e segundo componentes principais (CP1 e CP2) estão nas Figuras 2A e 2B.



L1 – 100% da necessidade hídrica; L2 – 50% da necessidade hídrica; Q1 – Testemunha; Q2 – 0,25 g L<sup>-1</sup> de quitosana; Q3 – 0,50 g L<sup>-1</sup> de quitosana; Q4 – 0,75 g L<sup>-1</sup> de quitosana; CP1 – Componente principal 1; CP2 – Componente principal 2; CRA – Conteúdo relativo de água(%); Cl *a* – Clorofila a ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) – Cl *b* – Clorofila b ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ); Cl *t* – Clorofila total ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ); Car – Carotenoides ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ); Fv/Fm – eficiência quântica do fotossistema II; AP – Altura de plantas (cm); DC – Diâmetro do caule (mm); NF – Número de folhas; AF – Área foliar ( $\text{cm}^2$ ); PMC – Peso médio de capulho (g por planta); MAC – Massa do algodão em caroço (g por planta); p100s – Peso de 100 sementes (g por planta); FSC – Fitomassa seca do cule (g por planta); FSF – Fitomassa seca das folhas (g por planta); FSCap – Fitomassa seca dos capulhos (g por planta) e FSPA – Fitomassa seca da parte aérea (g por planta).

**Figura 2.** Projeção bidimensional dos tratamentos (A) e das variáveis analisadas (B) nos dois componentes principais (CP1) e (CP2).

Os dois componentes principais plotados a partir das variáveis originais conseguiram abranger as diferenças entre a interação das lâminas de irrigação e as concentrações de quitosana. No CP1, constata-se que os maiores valores de AF (9763,40 cm<sup>2</sup>), PMC (7,90 g por capulho) e FScap (64,89 g por planta) foram obtidos nos algodoeiros submetidos ao tratamento LIQ2 (100% da lâmina de irrigação e concentração de 0,25 g L<sup>-1</sup>), correspondendo ao aumento de 43,92% (4288,08 cm<sup>2</sup>), 7,47% (0,59 g por planta) e 12,53% (8,13 g por planta) para AF, PMC e FScap, respectivamente, em relação as plantas submetidas ao tratamento L1Q1 (100% da lâmina de irrigação e concentração de 0 g L<sup>-1</sup>). Ainda no CP1, as plantas pulverizadas com a concentração de 0,50 g L<sup>-1</sup> de quitosana e que receberam 100% da lâmina de irrigação (L1Q3) obtiveram as maiores médias de P100s (10,45 g por planta), FSF (134,99 g por planta) e FSPA (287,44 g por planta). Os resultados podem estar relacionados com o uso da quitosana via foliar como atenuante da restrição hídrica no cultivo do algodoeiro, por sua ação na redução da transpiração, tornando disponível mais água para a absorção, consequentemente, um incremento no crescimento e produção das plantas (Pirbaloutti et al., 2017).

Referente ao conteúdo relativo de água (CRA), notou-se um aumento dessa variável com a aplicação foliar de quitosana na concentração de 0,75 g L<sup>-1</sup> mesmo em condições de restrição hídrica, com o maior CRA (76,61%) obtido no tratamento L2Q4 (50% da lâmina de irrigação e concentração de quitosana de 0,75 g L<sup>-1</sup>) (Tabela 5). Tal resultado pode ser explicado pela pulverização da quitosana, já que quando as plantas são submetidas a restrição hídrica há uma redução significativa do conteúdo de água nas células, resultando em danos celulares além de dificultar a expansão celular e o crescimento da planta, pois a ação desse biopolímero está atrelada à indução de uma resposta antioxidante que protege as plantas contra danos oxidativos, além do seu potencial como um antitranspirante em situações de estresse induzido pela restrição hídrica, via aumento da eficiência do uso da água e maior defesa contra o estresse oxidativo (Silva et al., 2007; Bistgani et al., 2017).

Já para a altura de plantas (AP), quando em restrição hídrica, o tratamento (L2Q2), ou seja, 50% da necessidade hídrica e pulverização de 0,25 g L<sup>-1</sup> de quitosana, se destacou obtendo a mesma altura média das plantas que receberam a mesma concentração de quitosana com 100% da lâmina de irrigação (L1Q2). Diante disso, é possível inferir que a aplicação foliar de quitosana foi capaz de beneficiar a altura do algodoeiro ‘BRS Jade’ em condições ambientais

de restrição, já que foi possível identificar que não houve diferença média entre os dois tratamentos (Tabela 5).

**Tabela 5.** Valores médios das variáveis analisadas por tratamento

Valores médios									
TRATAMENTO	CRA	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Car	Cl <i>t</i>	Fv/Fm	AP	DC	NF
L1Q1	72,63	1288	398,78	159,63	1686,76	0,80	117,00	15,29	69
L1Q2	71,26	1287	372,40	171,83	1659,22	0,82	114,00	18,40	75
L1Q3	69,82	415	425,17	184,03	839,79	0,83	115,50	16,20	62
L1Q4	66,91	691	117,77	132,05	809,24	0,82	115,00	15,41	77
L2Q1	71,99	710	151,16	137,25	861,16	0,82	113,00	14,82	69
L2Q2	61,83	701	184,54	132,03	885,54	0,81	114,00	14,22	78
L2Q3	69,86	626	180,00	139,51	805,77	0,82	112,00	14,45	86
L2Q4	76,61	715	226,69	121,31	941,49	0,88	114,00	13,84	69

Valores médios								
TRATAMENTO	AF	PMC	MAC	p100s	FSC	FSF	FSCap	FSPA
L1Q1	5475,54	7,31	94,23	8,06	40,01	54,51	56,76	151,28
L1Q2	9763,40	7,90	88,69	6,79	56,77	80,67	64,89	202,33
L1Q3	7655,66	7,35	79,14	10,45	111,42	134,99	41,03	287,44
L1Q4	5210,00	7,37	93,88	9,64	73,05	100,76	52,63	226,44
L2Q1	5707,44	7,54	86,35	8,79	63,67	60,57	41,67	138,82
L2Q2	6205,52	7,20	78,82	10,32	54,3	73,83	47,15	167,53
L2Q3	6205,52	6,89	112,01	9,22	49,2	84,72	54,39	188,31
L2Q4	5437,78	7,33	63,38	5,93	31,9	70,04	28,44	130,38

L1 – 100% da necessidade hídrica; L2 – 50% da necessidade hídrica; Q1 – Testemunha; Q2 – 0,25 g L<sup>-1</sup> de quitosana; Q3 – 0,50 g L<sup>-1</sup> de quitosana; Q4 – 0,75 g L<sup>-1</sup> de quitosana; CP1 – Componente principal 1; CP2 – Componente principal 2; CRA – Conteúdo relativo de água(%); Cl *a* – Clorofila *a* (µg mL<sup>-1</sup>) – Cl *b* – Clorofila *b* (µg mL<sup>-1</sup>); Cl *t* – Clorofila total (µg mL<sup>-1</sup>); Car – Carotenoides (µg mL<sup>-1</sup>); Fv/Fm – eficiência quântica do fotossistema II; AP – Altura de plantas (cm); DC – Diâmetro do caule (mm); NF – Número de folhas; AF – Área foliar (cm<sup>2</sup>); PMC – Peso médio de capulho (g por planta); MAC – Massa do algodão em caroço (g por planta); p100s – Peso de 100 sementes (g por planta); FSC – Fitomassa seca do cule (g por planta); FSF – Fitomassa seca das folhas (g por planta); FSCap – Fitomassa seca dos capulhos (g por planta) e FSPA – Fitomassa seca da parte aérea (g por planta).

Com relação a massa do algodão em caroço (MAC), o tratamento que se distinguiu dos demais com a maior média foi (L2Q3) em termos quantitativos, 112,01 g e ao relacionar com o (L2Q1) teve um incremento de 29,72% (25,66 g), evidenciando que a aplicação de quitosana na concentração de 0,50 g L<sup>-1</sup> atenuou os efeitos da restrição hídrica na produção do algodão em caroço. Os resultados evidenciam que, é um biopolímero com potencial para ser

desenvolvido como uma espécie de antitranspirante em situações de estresse agrícola, se mostrando capaz de induzir a tolerância à restrição hídrica, reforçando a defesa contra o estresse oxidativo sem comprometer a produtividade da cultura (Almeida et al, 2020).

No CP2, nota-se que, as plantas do algodoeiro irrigadas com 100% da lâmina de irrigação e pulverizadas com concentração de 0,50 g L<sup>-1</sup> de quitosana (L1Q3) se sobressaíram aos demais tratamentos, com os valores mais elevados de Cl *b* (425,17 µg mL<sup>-1</sup>), Car (184,03 µg mL<sup>-1</sup>) e FSC (111,42 g por planta). Ao confrontar os resultados obtidos nas plantas do tratamento L1Q3 com das plantas do tratamento L1Q1(100% da lâmina de irrigação e 0 g L<sup>-1</sup> de quitosana), houve acréscimo em termos percentuais de 6,21% (26,40 µg mL<sup>-1</sup>), 13,26% (24,40 µg mL<sup>-1</sup>) e 64,09% (71,71 g por planta) em Cl *b*, Car e FSC, nessa ordem. Os resultados podem ser atribuídos ao efeito da pulverização com a quitosana mesmo sem estar em restrição hídrica, por sua semelhança com a celulose, mas que ao contrário da fibra vegetal, possui cargas iônicas positivas, o que lhe confere a capacidade para se ligar quimicamente a macromoléculas carregadas negativamente (Katiyar et al., 2015). Essa característica química sugere que a interação entre clorofila e quitosana pode ocorrer através de seu grupo amino protonado, o que corrobora com a manutenção da clorofila observada na presente investigação (Rizzi et al., 2016).

Para a clorofila *a* e total quando o algodoeiro foi irrigado com 100% da lâmina de irrigação e com o aumento na concentração de quitosana houve um decréscimo dessas variáveis, se assemelhando ao comportamento das que receberam apenas 50% da lâmina de irrigação. Esse reflexo pode ser atribuído a redução na síntese dos principais complexos de pigmento e proteína, que protegem o aparelho fotossintético do dano oxidativo aos lipídios e às proteínas do cloroplasto (Pirbalouti et al., 2017).

A maior eficiência quântica do fotossistema II foi obtida para as plantas submetidas ao tratamento (L2Q4), sob restrição hídrica e aplicação foliar de 0,75 g L<sup>-1</sup> de quitosana, com o valor médio de 0,88. Provavelmente, esse parâmetro responsivo resultou da manutenção da relação da fluorescência variável e máxima, indicando que o transporte fotossintético de elétrons não foi afetado, ou seja, que não houve danos ao aparato fotossintético das plantas, pois, segundo Kalaji e Guo (2008), os valores de Fv/Fm deveriam ser inferiores a 0,70, para não serem considerados danosos ao aparelho fotossintético. Valores de eficiência máxima do PSII (Fv/Fm) inferiores a 0,70, indicam dificuldade de fixação de CO<sub>2</sub> no tecido foliar e eficiência no uso da radiação fotoquímica quando todos os centros de reação do PSII estão abertos, sendo um excelente indicador de estresse de plantas (Peripolli et al., 2021; Marques et al., 2020).

Referente ao diâmetro do caule (DC), obteve-se a maior média quando o algodoeiro recebeu 100% da lâmina de irrigação e a concentração de 0,25 g L<sup>-1</sup> de quitosana, em termos quantitativos 18,40 mm. Para número de folhas, com aplicação de quitosana mesmo as plantas sob limitação de água houve incremento nessa variável, obtendo com a lâmina de irrigação de 50% e pulverização de 0,50 g L<sup>-1</sup> (L2Q3) plantas com maior número de folhas, com 86 folhas.

O extravasamento de eletrólitos (EE), a fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), a variável (Fm), a máxima (Fm) e o índice de colheita (IC) apresentaram coeficiente de correlação menor que 0,65, por esse motivo foram removidas do banco de dados e analisadas de forma univariada. De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 6), a interação entre as lâminas de irrigação e as concentrações de quitosana não influenciou de forma significativa (p > 0,05) nenhuma das variáveis analisadas, assim como os fatores de forma isolada.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para o extravasamento de eletrólitos (EE), fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), variável (Fm), máxima (Fm) e variável (Fv) aos 60 dias após a semeadura (DAS) e índice de colheita (IC) no cultivo do algodoeiro de fibra naturalmente colorida ‘BRS Jade’ submetido a restrição hídrica e aplicação foliar de concentrações de quitosana

Fonte de variação (FV)	Quadrados médios					
	GL	EE	Fo	Fm	Fv	IC
Lâminas de irrigação (L)	1	165,37 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	15,04 <sup>ns</sup>	3,37 <sup>ns</sup>	,042 <sup>ns</sup>
Quitosana (Q)	3	361,26 <sup>ns</sup>	13,83 <sup>ns</sup>	1817,93 <sup>ns</sup>	1186,04 <sup>ns</sup>	,153 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	25,20 <sup>ns</sup>	38,53 <sup>ns</sup>	4308,0 <sup>ns</sup>	2990,01 <sup>ns</sup>	,208 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	10,53 <sup>ns</sup>	2,667 <sup>ns</sup>	975,375 <sup>ns</sup>	442,04 <sup>ns</sup>	,042 <sup>ns</sup>
Interação (LxQ)	3	290,37 <sup>ns</sup>	9,22 <sup>ns</sup>	472,93 <sup>ns</sup>	534,37 <sup>ns</sup>	,042 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	2,816 <sup>ns</sup>	3,750 <sup>ns</sup>	5320,42 <sup>ns</sup>	4335,00 <sup>ns</sup>	,067 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	520,08 <sup>ns</sup>	2,083 <sup>ns</sup>	444,08 <sup>ns</sup>	225,33 <sup>ns</sup>	,000 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	361,83	10,37	904,46	810,95	,125
CV (%)		32,45	3,97	6,92	8,06	0,41

<sup>ns</sup>, \*\*, \* respectivamente não significativo, significativo a p ≤ 0,01 e p ≤ 0,05; GL – Graus de liberdade; CV – Coeficiente de variação

Os resultados obtidos no presente estudo reforçam a hipótese que a aplicação foliar de quitosana em concentrações adequadas, pode minimizar os efeitos deletérios da restrição hídrica na fisiologia, no crescimento e nos componentes de produção do algodoeiro, tendo em vista que, a aplicação foliar de quitosana entre as concentrações de 0,25 e 0,50 g L<sup>-1</sup> no algodoeiro de fibra colorida ‘BRS Jade’ promoveram melhorias nos teores de clorofila *b*, carotenoides, diâmetro do caule, área foliar, peso de 100 sementes, peso médio de capulho, massa de algodão em caroço, fitomassa seca total de capulhos, fitomassa seca do caule, da folha e da parte aérea.

#### 4. CONCLUSÕES

1. A restrição hídrica em 50% da necessidade da cultura reduz o conteúdo relativo de água, a síntese de pigmentos fotossintéticos, a massa de algodão em caroço e fitomassa seca da parte aérea do algodoeiro de fibra colorida 'BRS Jade'.

2. A aplicação foliar de quitosana em concentrações variando de 0,25 e 0,50 g L<sup>-1</sup> atenua os efeitos deletérios da restrição hídrica na síntese de clorofila *b*, carotenoides, o crescimento em diâmetro do caule e área foliar, o peso de 100 sementes, peso médio de capulho, massa de algodão em caroço, fitomassa seca total de capulhos, fitomassa seca do caule, da folha e da parte aérea do algodoeiro de fibra colorida 'BRS Jade'.

3. Os resultados obtidos no presente estudo confirmam a hipótese que a aplicação foliar de quitosana ameniza os efeitos deletérios da restrição hídrica no cultivo de algodoeiro de fibra colorida.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L. G.; Silva, E. da M.; Magalhães, P. C.; Karam, D.; Reis, C. dos O.; Gomes, C. C.; Marques, D. M. Root system in maize plants cultivated under water deficit and application of chitosan. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.19, e1131, 2020. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.2020.v19.e1131>
- Araújo, W. P.; Pereira, J. R.; Zonta, J. H.; Guerra, H. O. C.; Cordão, M. A.; Lima, R. F. Production components and water efficiency of upland cotton cultivars under water deficit strategies. *African Journal of Agricultural Research*, v.14, p. 887-896, 2019. <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.13907>
- Arnon, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in beta vulgaris. *Plant Physiology*, v. 24, p.1-15, 1949. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Barbosa, J. L.; Nobre, R. G.; Souza, L. de P.; Veloso, L. L. de S.; Silva, E. da L; Guedes, M. A. Crescimento de algodoeiro colorido cv. BRS topázio em solos com distintas salinidades e adubação orgânica. *Revista de Ciências Agrárias*, v.42, p. 201-210, 2019. <https://doi.org/10.19084/RCA17294>
- Bistgani, Z. E.; Siadat, S. A.; Bakhshandeh, A.; Pirbalouti, A. G.; Hashemi, M. Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of thymus daenensis celak. *The Crop Journal*, v.5, p.407-415, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003>

- Coma, V.; Martial-Gros, A.; Garreau, S.; Copinet, A.; Salin, F.; Deschamps, A. Edible antimicrobial films based on chitosan matrix. *Journal of Food Science*, v. 67, p. 1162-1169, 2002. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09470.x>
- Cordão, M. A.; Araújo, W. P.; Pereira, J. R.; Zonta, J. H.; Lima, R. de F.; Ferreira, F. N. Cultivares de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico aplicado em fases fenológicas. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.13, p.313-321, 2018. <https://doi.org/10.18378/rvads.v13i3.5933>
- Farias, F. J. C.; Morello, C. de L.; Pedrosa, M. B.; Suassuna, N. D.; Silva, J. L. da, F.; Carvalho, L. P. de.; Ribeiro, J. L. (2017). BRS jade: nova cultivar de algodão colorido de dupla aptidão para o cerrado baiano e para o semiárido nordestino. *Anais do Congresso Brasileiro de Algodão*, Maceió, AL, Brasil, 11.
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, p.529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- Genty, B.; Briantais, J. M.; Baker, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, v.990, p.87-92, 1989. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(89\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(89)80016-9)
- Govaerts, B.; Sayre, K. D.; Lichter, K.; Dendooven, L.; Deckers, J. Influence of permanent planting in high bed and residue management on physical and chemical soil quality in rainfed corn/wheat systems. *Plant and Soil*, v. 291, p. 39-54, 2007. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9172-6>
- Grimes, D. W. & Carter, L. M. A linear rule for direct nondestructive leaf area measurements. *Agronomy Journal*, v.61, p.477-479, 1969. <https://doi.org/10.2134/agronj1969.00021962006100030048x>
- Hair, F. J.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L. *Análise multivariada de dados* (6a ed.). Tradução Adonai Schlup Sant'Anna. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p
- Hemantaranjan, A.; Katiyar, D.; Singh, B.; Bhanu, A. N. A future perspective in crop protection: chitosan and its oligosaccharides. *Advances in Plants & Agriculture Research*, v.1, p.1-8, 2014. <https://doi.org/10.15406/apar.2014.01.00006>
- Hotelling, H. A. R. O. L. D.; Eisenhart, C.; Hastay, M. W.; Wallis, W. A. *Multivariate quality control. Techniques of statistical analysis*. McGraw-Hill, New York, 1947.
- Kaiser, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, v.20, p.141-151, 1960. <https://doi.org/10.1177/001316446002000116>

- Kalaji, M. H.; Guo, P. Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs. *Photochemistry Research Progress*, v.29, p. 439-463, 2008.
- Katiyar, D.; Hemantaranjan, A.; Singh, B. Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. *Indian Journal of Plant Physiology*, v.20, p.1-9, 2015. <https://doi.org/10.1007/s40502-015-0139-6>
- Koch, G.; Rolland, G.; Dauzat, M.; Bédiée, A.; Baldazzi, V.; Bertin, N.; Guédon, Y.; Granier, C. Leaf production and expansion: a generalized response to drought stresses from cells to whole leaf biomass—a case study in the tomato compound leaf. *Plants*, v.8, p.1-17, 2019. <https://doi.org/10.3390/plants8100409>
- Lacerda, C. N. de.; Lima, G. S. de.; Soares, L. A. dos A.; Fátima, R. T. de, Gheyi, H. R.; Azevedo, C. A. V. de. Morphophysiology and production of guava as a function of water salinity and salicylic acid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.451-458, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n6p451-458>.
- Levene, H. Ingram, O. Hotelling, H. *Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling*. Stanford University Press, 1962. p. 278– 292.
- Lima, G. S. de.; Dias, A. S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Andrade, E. M. G. Saline water irrigation and nitrogen fertilization on the cultivation of colored fiber cotton. *Revista Caatinga*, v.31, p.151-160, 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n118rc>
- Lima, G. S. de.; Dias, A. S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Nobre, R. G.; Pinheiro, F. W. A.; Silva, A. A. R. da. Gas exchanges and production of colored cotton under salt stress and nitrogen fertilization. *Bioscience Journal*, v.33, p.1495-1505, 2017. <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n6a2017-37109>
- Magalhães, I. D.; Melo, A. S. de.; Fernandes, P. D.; Queiroz, M. F. de Arriel, N. H. C.; Ferraz, R. L. de S.; Suassuna, J. F.; Maia, S. de O. Jr.; Medeiros, A. de S.; Viegas, P. R. A.; Costa, F. da S.; Costa, P. da S. Gas exchange, photochemical efficiency, and yield of *Jatropha curcas* irrigated with saline water. *Australian Journal of Crop Science*, v.14, p.802-809, 2020. <https://doi.org/10.3316/informit.260507589787346>
- Malerba, M.; Cerana, R. Chitosan effects on plant systems. *International Journal of Molecular Sciences*, v.17, e996, 2016. <https://doi.org/10.3390/ijms17070996>
- Maniçoba, R. M.; Espínola Sobrinho, J.; Zonta, J. H.; Cavalcante Junior, E. G.; Oliveira, A. K. S. de.; Freitas, E. A. da S. Resposta do algodoeiro à supressão hídrica em diferentes fases fenológicas no semiárido brasileiro. *Irriga*, v.26, p.123-133, 2021. <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v26n1p123-133>
- Marques, R. F.; Pinheiro, G. H. R.; Araújo, P. P. dos S.; Souza, R. M. de.; Marchi, S. R. de.

- Efeito de sub doses de 2,4-d sal colina na eficiência quântica do fotossistema II do algodoeiro. *Colloquium Agrariae*, v.16, p.60-71, 2020. <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n2.a359>
- Medeiros, A. de S.; Maia, S. de O. Jr.; Gonzaga, G. B. M.; Santos, T. dos C.; Queiroz, M. M de F.; Araújo, R. A de N.; Magalhães, I. D.; Ferraz, R. L. de S.; Costa, P. da S.; Andrade, J. R. de.; Pereira, M. de O. Growth of okra under nitrogen rates and wastewater in the brazilian semiarid region. *Journal of Agricultural Science*, v.11, p. 408-418. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n5p408>
- Moenne, A.; González, A. Chitosan-, alginate-carrageenan-derived oligosaccharides stimulate defense against biotic and abiotic stresses, and growth in plants: a historical perspective. *Carbohydrate Research*, v.503, e108298, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2021.108298>
- Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F. (1991). Ensaio em ambiente controlado. In A. J. Oliveira, *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*, Brasília: EMBRAPA-SEA. 1991. p 189-253.
- Park, S. Y.; Lee, B. I.; Jung, S. T.; Park, H. J. Biopolymer composite films based on  $\kappa$ -carrageenan and chitosan. *Materials Research Bulletin*, v.36, p.511-519, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0025-5408\(01\)00545-1](https://doi.org/10.1016/S0025-5408(01)00545-1)
- Peripolli, M.; Dornelles, S. H.; Lopes, S. J.; Tabaldi, L. A.; Trivisoli, V. S.; Rubert, J. Application of biostimulants in tomato subjected to water deficit: physiological, enzymatic and production responses. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, p.90-95, 2021. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n2p90-95>
- Pirbalouti, A. G.; Malekpoor, F.; Salimi, A.; Golparvar, A. Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimum ciliatum* and *Ocimum basilicum*) under reduced irrigation. *Scientia Horticulturae*, v.201, p. 114-122, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01>.
- Rizzi, V.; Fini, P.; Semeraro, P.; Cosna, P. Detailed investigation of ROS arisen from chlorophyll a/chitosan based-biofilm. *Colloids Surfaces B-Biointerfaces*, v.142, p. 239-247, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2016.02.062>
- Scotti-Campos, P.; Pham-Thi, A. T.; Smedo, J. N.; Pais, I. P.; Ramalho, J. C.; Céu Matos, M. do. Physiological responses and membrane integrity in three *Vigna* genotypes with contrasting drought tolerance. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, v.25, p.1002-1013, 2013. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i12.16733>.
- Shapiro, S. S.; Wilk, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v.52, p.591-611, 1965. <https://doi.org/10.2307/2333709>

- Silva, M. de A.; Jifon, J. L.; Silva, J. A. G. da.; Sharma, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.19, p.193-201, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000300003>
- Silveira, R. N. C. M.; Peixoto, F. da S.; Costa, R. N. T.; Cavalcante, I. N. Efeitos da seca em perímetros irrigados no semiárido brasileiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, v.41, p. 268-275, 2019. [https://doi.org/10.11137/2018\\_2\\_268\\_275](https://doi.org/10.11137/2018_2_268_275)
- Soares, L. A. dos A.; Dias, K. M. M.; Nascimento, H. M.; Lima, G. S. de.; Oliveira, K. J. A. de.; Silva, S. S. da. Estratégias de manejo do déficit hídrico em fases fenológicas do algodoeiro colorido. *Irriga*, v.25, p.656-662, 2020. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n4p656-662>
- Soares, L. A. dos A.; Felix, C. M.; Lima, G. S. de.; Gheyi, H. R.; Silva, L. de A.; Fernandes, P. D. Gas exchange, growth, and production of cotton genotypes under water deficit in phenological stages. *Revista Caatinga*, v.36, p.145-157, 2023. <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n116rc>
- Soares, L. A. dos A.; Fernandes, P. D.; Lima, G. S. de.; Suassuna, J. F.; Pereira, R. F. Gas exchanges and production of colored cotton irrigated with saline water at different phenological stages. *Revista Ciência Agronômica*, v.49, p.239-248, 2018. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180027>
- Statsoft, I. N. C. Programa computacional Statistica 7.0. E. A. U. 2004.
- Tavares, V. C. de A.; Paulino, I. R.; Silva, D. G. da. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. *Geosul*, v. 34, p. 385-405, 2019. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385>
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solo (3a ed.). EMBRAPA solos, 2017. P. 1-40.
- Wanderley, J. A. C.; Azevedo, C. A. V. de.; Brito, M. E. B.; Ferreira, F. N.; Cordão, M. A.; Lima, R. F. de. Gas exchange in yellow passion fruit under irrigation water salinity and nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.135-141, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n2p135-141>.
- Weatherley, P. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. *New Phytologist*, v.49, p.81-97, 1950. 2021. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x>

**FISIOLOGIA, PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FIBRA DO ALGODOEIRO SOB  
RESTRICÇÃO HÍDRICA E APLICAÇÃO DE QUITOSANA**

## FISIOLOGIA, PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FIBRA DO ALGODOEIRO SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E APLICAÇÃO DE QUITOSANA

**Resumo:** A região Semiárida brasileira é caracterizada pela irregularidade das chuvas tanto ao longo do tempo, quanto no espaço, o que pode levar a períodos de escassez hídrica. O déficit de água é um dos principais estresses abióticos que afetam o crescimento e o desenvolvimento das culturas agrícolas, como o algodoeiro. Nessa perspectiva, é fundamental buscar estratégias de manejo para minimizar os efeitos deletérios causados pela restrição hídrica nas plantas. A quitosana, por exemplo, pode ser uma estratégia eficaz para estimular o crescimento e o desenvolvimento das plantas sob déficit hídrico. Nesse sentido, objetivou-se com o presente estudo, avaliar o efeito das concentrações de quitosana na mitigação da restrição hídrica na fisiologia, produção e qualidade de fibras do algodoeiro de fibra naturalmente colorida 'BRS Jade'. As plantas foram cultivadas em lisímetros de drenagem sob condições de casa de vegetação em Campina Grande - PB, em delineamento inteiramente casualizado, esquema fatorial  $2 \times 4$ , sendo duas lâminas de irrigação (100 e 50% da necessidade hídrica da cultura) e quatro concentrações de quitosana (0,0; 0,25; 0,50 e 0,75 g L<sup>-1</sup>) com três repetições. A irrigação com 50% da necessidade hídrica da cultura aumentou o extravasamento de eletrólitos, concentração interna de CO<sub>2</sub>, transpiração, condutância estomática, fluorescência inicial, índice de fibra curta e alongamento à ruptura, conseqüentemente, diminuiu a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, número de capulho por planta, massa do algodão em pluma, porcentagem de fibra, uniformidade e comprimento de fibra. A aplicação foliar de quitosana entre as concentrações de 0,25 e 0,50 g L<sup>-1</sup> mitigou os efeitos deletérios do déficit hídrico no extravasamento de eletrólitos, trocas gasosas, síntese de pigmentos fotossintéticos, fluorescência da clorofila *a* aos 85 dias após a semeadura, além disso, promoveu incremento no número de capulho por planta, na massa do algodão em pluma e aumentou a eficiência no uso da água nas plantas cultivadas sob lâmina de irrigação com 50% da necessidade hídrica. As mesmas concentrações contribuíram para uma melhor qualidade de fibra, exceto comprimento e índice de fibra curta que foram afetadas com a aplicação de concentrações acima de 0,35 g L<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum* L., biopolímero, irrigação deficitária.

## PHYSIOLOGY, PRODUCTION AND FIBER QUALITY OF 'BRS JADE' COTTON PLANT UNDER WATER RESTRICTION AND APPLICATION OF CHITOSAN

**ABSTRACT:** The Brazilian semiarid region is characterized by irregular rainfall both over time and in space, which can lead to periods of water scarcity. Water deficit is one of the main abiotic stresses that affect the growth and development of agricultural crops, such as cotton. In this perspective, it is essential to seek management strategies that minimize the deleterious effects caused by water restriction on plants. Chitosan can be an effective strategy to stimulate the growth and development of plants under water deficit. In this sense, the objective of this study was to evaluate the effect of chitosan concentrations in mitigating water restriction on the physiology, production and fiber quality of the naturally colored cotton plant 'BRS Jade'. The plants were grown in drainage lysimeters under greenhouse conditions in Campina Grande - PB, in a completely randomized design, in a  $2 \times 4$  factorial scheme, with two irrigation levels (100 and 50% of the crop water requirement) and four chitosan concentrations (0.0, 0.25, 0.50 and  $0.75 \text{ g L}^{-1}$ ) with three replicates. Irrigation with 50% of the crop water requirement increased electrolyte leakage, internal  $\text{CO}_2$  concentration, transpiration, stomatal conductance, initial fluorescence, short fiber index and elongation at break, consequently decreasing the  $\text{CO}_2$  assimilation rate, number of bolls per plant, cotton lint weight, fiber percentage, uniformity and fiber length. Foliar application of chitosan at concentrations of 0.25 to  $0.50 \text{ g L}^{-1}$  mitigated the deleterious effects of water deficit on electrolyte leakage, gas exchange, photosynthetic pigment synthesis, and chlorophyll a fluorescence at 85 days after sowing, promoted an increase in the number of bolls per plant and cotton lint mass, and increased water use efficiency in plants grown under irrigation with 50% of water requirement. The same concentrations contributed to improved fiber quality, except for length and short fiber index, which were affected by the application of concentrations above  $0.35 \text{ g L}^{-1}$ .

**Key words:** *Gossypium hirsutum* L. biopolymer. deficit irrigation.

## 1. INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma cultura de extrema importância para a economia mundial, sendo uma das principais fontes de fibra para a produção têxtil, além de fornecer matéria-prima para a produção de óleo destinado à alimentação humana e farelo utilizado na alimentação animal (Alves et al., 2019). O seu cultivo está sujeito a diversos estresses ambientais, especialmente, o hídrico, que pode ocasionar limitações na produtividade e distúrbios no crescimento e desenvolvimento da cultura durante seu ciclo (Kochhar & Gujral et al., 2020; Guedes et al., 2023).

No semiárido do Nordeste brasileiro a produção de algodão pode ser afetada negativamente pela ocorrência de longos períodos de escassez hídrica (Zonta et al., 2017), sendo o cultivo irrigado essencial para produção com segurança, sendo um dos principais problemas para o cultivo do algodoeiro, sobretudo, se ocorrer nas fases de floração e frutificação, que irá afetar a produtividade e a qualidade das fibras (Soares et al. 2020; Zou et al. 2020).

Sobre esse aspecto, vários estudos indicam que a irrigação deficitária pode oferecer vantagens significativas no contexto de escassez de água (Zonta et al., 2015; Soares et al., 2020), ganhando importante papel como forma de mitigar essa problemática, já que consiste na redução do fornecimento de água durante parte do ciclo da cultura, sendo suficiente para manutenção do rendimento sem afetar a produção e qualidade das fibras (Zonta et al., 2015; Soares et al., 2020).

Além do manejo da irrigação, o uso de quitosana também se destaca como alternativa promissora, por ser derivada da desacetilação da quitina e possuir potencial para aliviar os efeitos adversos do déficit hídrico (Bistgani et al., 2017), além de diversos outros benefícios que incluem redução da transpiração foliar (Dowom et al., 2022), contribuição para absorção de água e nutrientes (Hidangmayum et al., 2019; Bibi et al., 2021; Makhlof et al., 2022) e proporciona efeito benéfico no crescimento e desenvolvimento das plantas sob estresses abióticos (Coelho & Romano, 2022). Mas, as respostas das plantas à quitosana diferem com base no tipo de quitosana (alto/baixo MW), grau de acetilação, disponibilidade de grupo funcional, método de aplicação, fase da cultura, entre outros (Mirajkar et al., 2019).

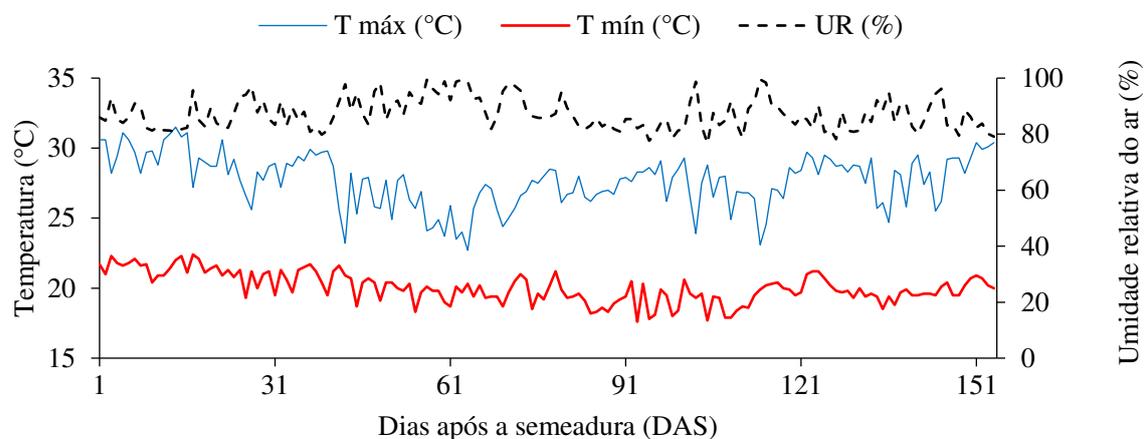
Apesar de algumas pesquisas já terem sido realizadas avaliando os efeitos da aplicação foliar de quitosana em diversas plantas, ainda são incipientes os estudos que investigam os seus efeitos na fisiologia, no crescimento e nos componentes de produção do algodoeiro de fibra colorida 'BRS Jade'. E embora os efeitos da restrição hídrica no crescimento, a fisiologia e os

componentes de produção das plantas sejam frequentemente investigados, o grau de intensidade depende de outros fatores como cultivar, condições climáticas, manejo de irrigação, adubação e da aplicação de substância elicitoras.

Diante do exposto, objetivou-se com este estudo, avaliar o efeito das concentrações de quitosana na mitigação da restrição hídrica na fisiologia e componentes de produção do algodoeiro de fibra naturalmente colorida ‘BRS Jade’.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida entre os meses abril e setembro de 2023, em ambiente de casa de vegetação, do tipo arco, com 30 m de comprimento e 21 m de largura, altura de pé direito de 3 m, com cobertura de polietileno de baixa densidade de 150 micras, vinculado a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – UAEA, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil (7° 15’ 18’’ S e 35° 52’ 28’’ W e altitude média de 529 m). Os dados de temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar foram coletados diariamente ao longo do período experimental (Figura 1)



T máx. – Temperatura máxima, T min – Temperatura mínima, UR – Umidade relativa do ar

**Figura 1.** Temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar durante a condução do experimento (30 de abril a 05 de setembro de 2023).

Os tratamentos foram constituídos de duas lâminas de irrigação (100 e 50% da necessidade hídrica da cultura) e quatro concentrações de quitosana (0,0; 0,25; 0,50 e 0,75 g L<sup>-1</sup>), em arranjo fatorial 2 × 4, disposto em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e uma planta por parcela, com um total de 24 unidades experimentais. As lâminas de irrigação foram baseadas em pesquisa com algodoeiro realizada por Soares et al. (2020). Já as

concentrações de quitosana foram estabelecidas a partir de pesquisa na cultura do milho (Almeida et al., 2020).

O cultivo das plantas foi em vasos adaptados para lisímetros de drenagem com (altura de 70 cm e diâmetro de 60 cm e volume de 200 dm<sup>3</sup>), cada um perfurado na sua base para conectar duas mangueiras de 16 mm de diâmetro, como dreno, que foram acopladas a dois recipientes plásticos de 2 L para coleta da água drenada e posterior determinação do consumo hídrico das plantas. Na parte interna do lisímetro, nas saídas dos drenos, foi colocada uma manta geotêxtil não tecida (Bidim) seguida de uma camada de brita para evitar a sua obstrução pelo material de solo.

Na etapa seguinte, os lisímetros foram preenchidos com 250 kg de um Neossolo Regolítico (*Entisol*) de textura franco-argilosa (profundidade 0-20 cm), proveniente da zona rural do município de Lagoa Seca, PB, devidamente destorroado e cujas características químicas e físico- hídricas (Tabela 1) foram determinadas de acordo com metodologia de Teixeira et al. (2017).

**Tabela 1.** Atributos químicos e físico-hídricos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Características químicas								
pH	M.O	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>
1:2,5	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....					
6,5	8,1	79	0,24	0,51	14,9	5,4	0	0,0
.....Características químicas.....				.....Características física - hídrica.....				
CEes dS m <sup>-1</sup>	CTC cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	RAS (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	PST %	Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )	
				Areia	Silte	Argila	33,42 kPa <sup>1</sup>	1519,5 kPa <sup>1</sup>
2,15	16,54	0,16	3,08	572,7	100,7	326,6	25,91	12,96

pH – Potencial hidrogeniônico, M.O – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 M pH 7,0; Al<sup>3+</sup>+H<sup>+</sup> extraídos utilizando-se CaOAc 0,5 M pH 7,0; CEes - Condutividade elétrica do extrato de saturação; CTC - Capacidade de troca catiônica; RAS - Relação de adsorção de sódio do extrato de saturação; PST - Percentagem de sódio trocável; <sup>1,2</sup> referindo a capacidade de campo e ponto de murchamento permanente.

Antes da semeadura, em todas as unidades experimentais a umidade do solo foi elevada para próximo à capacidade de campo por lisimetria de drenagem. Em seguida, foram semeadas cinco sementes por lisímetro a 2 cm de profundidade distribuídas de forma equidistante. As sementes usadas foram de algodão de fibra colorida 'BRS Jade', obtida do Centro Nacional de Pesquisa de Algodão. Essa cultivar é conhecida por sua fibra marrom clara e alto potencial produtivo em ambientes de Cerrado e Semiárido, com um ciclo de aproximadamente 135 dias após a emergência. Em ensaios conduzidos no Cerrado e Semiárido, apresentou uma

produtividade média de algodão em caroço de 4,47 t ha<sup>-1</sup> com uma porcentagem média de fibra superior a 40%. Estudos revelaram que 'BRS Jade' apresenta excelentes características de fibra, como comprimento, uniformidade, resistência e índice micronaire, sendo adequada para a indústria têxtil (Farias et al., 2017).

Aos 15 dias após a semeadura (DAS), o desbaste das plantas foi efetuado, sendo mantida apenas aquela que apresentou maior vigor em cada lisímetro. O solo foi mantido com a umidade próximo a capacidade de campo até a emissão da terceira folha definitiva, quando se iniciou a diferenciação da aplicação das lâminas de irrigação (100 e 50% da necessidade hídrica da cultura), aplicando-se o volume de água correspondente a cada lâmina de irrigação determinado pelo consumo hídrico, conforme Eq. 1:

$$VI = \frac{(V_a - V_d)}{(1-FL)} \quad (1)$$

Em que:

VI = volume de água a ser usado no próximo evento de irrigação (mL);

V<sub>a</sub> = volume aplicado no evento de irrigação anterior (mL);

V<sub>d</sub> = volume drenado (mL); e;

FL = fração de lixiviação de 0,10, a cada 10 dias nas plantas irrigadas com 100% da necessidade hídrica.

As características da quitosana usadas no experimento são: aparência, pó de cor esbranquiçada; aspecto da solução em ácido acético a 1%: Gel translúcido; Granulometria: 40 mesh; perda por dessecação: 9,41%; cinzas totais: 1,31%; pH: 7,4%; solubilidade em solução de ácido acético: 11 min e com o grau de desacetilação: 86,12%.

As concentrações de quitosana foram preparadas por dissolução em ácido acético 0,1 M (20 g L<sup>-1</sup>) durante 11 min com o auxílio do equipamento agitador magnético diluídas usando água destilada conforme cada tratamento (0,25; 0,50 e 0,75 g L<sup>-1</sup>), segundo metodologia adaptada do estudo de Almeida et al. (2020).

Para reduzir a tensão superficial das gotas sobre a superfície foliar (nas faces adaxial e abaxial), durante a aplicação foi adicionado o adjuvante Wil fix<sup>®</sup> à concentração de 0,5 mL L<sup>-1</sup>. As aplicações ocorreram às 17 horas com auxílio de um pulverizador manual com pressão de serviço de 35 psi. Para garantir a aplicação precisa da solução na planta, foram instaladas cortinas plásticas para evitar a deriva do produto.

As aplicações tiveram início aos 15 DAS, estendendo-se até o período de floração. A frequência de pulverização foi a cada 30 dias, totalizando três aplicações, com o volume médio aplicado por planta descrito na Tabela 2

**Tabela 2.** Volume total de cauda de quitosana aplicado por planta aos 15, 45 e 75 Dias após a semeadura (DAS)

DAS	Volume aplicado (mL)			
	Q1	Q2	Q3	Q4
15	0,0	21,1	21,1	21,1
45	0,0	104,45	104,45	104,45
75	0,0	120,00	120,00	120,00

DAS: Dias após a semeadura, Q1, Q2, Q3 e Q4: 0,0; 0,25; 0,50 e 0,75 g L<sup>-1</sup>, respectivamente.

O manejo de adubação ocorreu conforme recomendação de Novais et al. (1991), iniciadas aos 20 DAS, com intervalos regulares de 20 dias entre cada aplicação subsequente, com aplicação equivalente a 100, 300 e 150 mg kg<sup>-1</sup> de solo de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O por kg de solo, respectivamente, via fertirrigação, divididas em três aplicações. Como fonte de macronutrientes utilizou-se o Nitrato de cálcio (15% de N) como fonte de nitrogênio, MAP- fosfato monoamônico (60% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 12% de N) para fósforo e complementação do nitrogênio e Cloreto de potássio - K<sub>2</sub>O (60% K<sub>2</sub>O) como fonte de potássio. O fornecimento de micronutrientes foi por meio de adubações foliares com um composto de Dripsol micro® (Mg<sup>2+</sup> = 1,1%; B = 0,85 %; Cu (Cu-EDTA) = 0,5%; Fe (Fe-EDTA) = 3,4 %; Mn (Mn-EDTA) = 3,2%; Mo = 0,05%; Zn = 4,2%; 70% de agente quelante EDTA) na concentração de 1 g L<sup>-1</sup> realizada a cada 20 DAS, aplicadas nas faces adaxial e abaxial, com o auxílio de um pulverizador costal com capacidade de 20 litros, com pressão de 100 psi (6,9 bar) e o bico JD 12 (cone vazio).

O controle de pragas ocorreu por meio de inseticida e acaricida químico classificado como sintético, empregando como princípio ativo de Abamectina e Clorfenapir para o controle de pulgão (*Aphis gossypii*), cochonilha (*Phenacoccus Solenopsis*) e mosca branca (*Bemisia tabaci*) via pulverização.

Aos 85 dias após a semeadura (transição da fase de florescimento e frutificação) foi determinado o conteúdo relativo de água (CRA), o extravasamento de eletrólitos (EE), os pigmentos fotossintéticos, a fluorescência da clorofila *a* e as trocas gasosas.

O conteúdo relativo de água (CRA) do algodoeiro foi determinado utilizando três folhas, totalmente expandidas, do terço médio de cada planta. Para isso, imediatamente após a coleta das folhas, foi encontrada a massa fresca (MF), na sequência, as amostras foram imersas em 50

ml de água destilada e acondicionadas por 24 horas em beakers. Depois, foi retirado o excesso de água com papel toalha, pesando para obtendo-se a massa túrgida (MT) e levadas à estufa com circulação de ar forçada (temperatura  $\approx 65 \pm 3^\circ\text{C}$ , até atingir massa constante) e pesadas para obtenção da massa seca (MS). A obtenção do CRA foi feita conforme metodologia adaptada por Weatherley (1950) pelas Eq 2:

$$\text{CRA} = \frac{(\text{MF}-\text{MS})}{(\text{MT}-\text{MS})} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

TRA - teor relativo de água (%);

MF - massa fresca de folhas (g);

MT - massa túrgida (g); e,

MS - massa seca (g).

Para determinação do extravasamento de eletrólitos (EE) foi usado um perfurador de cobre para obter cinco discos foliares de área conhecida, os quais foram lavados e acondicionados em Erlenmeyer<sup>®</sup> contendo 50 mL de água destilada. Após fechados com papel alumínio, os Erlenmeyer<sup>®</sup> foram acondicionados à temperatura de  $25^\circ\text{C}$  por 24 horas, para então ser aferida a condutividade elétrica inicial do meio ( $X_i$ ) por meio de um condutímetro de bancada. Posteriormente, os Erlenmeyer<sup>®</sup> foram submetidos à temperatura de  $80^\circ\text{C}$ , por 120 min, em estufa de secagem e, após esse tempo retirados para resfriamento do conteúdo, para ser aferida a condutividade elétrica final ( $X_f$ ). O extravasamento de eletrólitos é expresso como a porcentagem de condutividade em relação à condutividade total após o tratamento por 120 min a  $80^\circ\text{C}$ , e de acordo com Scotti-Campos et al. (2013), considerando-se a Eq. 3:

$$\text{EE} = \frac{X_i}{X_f} \times 100$$

Em que:

EE - extravasamento de eletrólitos (%);

$X_i$  - condutividade elétrica inicial ( $\text{dS m}^{-1}$ ); e,

$X_f$  - condutividade elétrica final ( $\text{dS m}^{-1}$ ).

Os teores de pigmentos fotossintéticos foram encontrados através da coleta de discos foliares com área de  $1,54 \text{ cm}^2$  da terceira folha completamente expandida a partir da gema apical

e posteriormente por meio da metodologia de Arnon (1949). Os extratos usados para a determinação dos teores de clorofilas *a*, *b*, total e carotenoides, foram preparados com 7 ml de acetona diluído a 80%, em seguida, com auxílio de um espectrofotômetro foram feitas as leituras dos pigmentos fotossintéticos nos comprimentos de onda de absorbância de 470, 647 e 663 nm, respectivamente. Os teores de pigmentos seguiram as Eqs. 4, 5, 6 e 7.

$$Cl\ a = (12,25 \times ABS_{663}) - (2,79 \times ABS_{647}) \quad (4)$$

$$Cl\ b = (21,5 \times ABS_{647}) - (5,10 \times ABS_{647}) \quad (5)$$

$$Cl\ t = (7,15 \times ABS_{663}) + (18,71 \times ABS_{647}) \quad (6)$$

$$Car = (1000 \times ABS_{470} - 1,82 \times Cl\ a - 85,02 \times Cl\ b) / 198 \quad (7)$$

Em que:

Cl *a* - clorofila *a*;

Cl *b* - clorofila *b*;

Cl *t* - clorofila *total*; e,

Car - carotenoides;

Os valores obtidos para os teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides nas folhas foram expressos em  $\mu\text{g mL}^{-1}$ .

A fluorescência da clorofila *a*, foi avaliada por meio de um fluorômetro de pulso modulado modelo OS5p da Opti Science pelo protocolo Fv/Fm, para determinação das variáveis de indução de fluorescência: Fluorescência inicial ( $F_0$ ), Fluorescência máxima ( $F_m$ ), Fluorescência variável ( $F_v$ ) e a eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ). O protocolo foi realizado após adaptação das folhas ao escuro por um período 30 min e às 7 horas da manhã, usando um clipe do equipamento, para garantir que todos os aceptores primários estivessem totalmente oxidados, ou seja, os centros de reação estivessem abertos (Genty et al., 1989).

As trocas gasosas foram verificadas por meio da condutância estomática –  $g_s$  ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  –  $A$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração –  $E$  ( $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e concentração interna de  $\text{CO}_2$  –  $C_i$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), por meio de um equipamento portátil de trocas gasosas IRGA (Infra Red Gas Analyser, marca ADC BioScientific Ltd, modelo 31 LC-Pro).

Foram avaliados os componentes de produção através do número de capulhos por planta (NCP), massa de algodão em pluma (MAP) e percentagem de fibra (%F). A qualidade da fibra do algodão foi obtida por meio do comprimento da fibra – UHM, uniformidade de fibra - UNF, índice de fibras curtas - SFI, resistência à ruptura - STR, alongamento à ruptura - ELG, índice

de micronaire - MIC, índice de fiabilidade - CSP e maturidade - MAT (Carvalho et al., 2015). Os dados foram obtidos através do equipamento HVI (High Volume Instruments) - Uster HVI modelo 1000, no Laboratório de Fibras e Fios da Embrapa, Campina Grande - PB.

O consumo hídrico do algodoeiro foi realizado no final do experimento pelo somatório das lâminas de água aplicadas nas irrigações. A eficiência do uso da água (EUA) foi obtida por meio da relação massa de algodão em caroço (g) produzida por planta e a lâmina total de água aplicada durante o ciclo da cultura (L) em cada planta, conforme metodologia adaptada de Geerts & Raes (2009) Eq 8.

$$EUA = \frac{MAC}{I} \quad (8)$$

Em que:

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

MAC - Massa de algodão em caroço por planta (g por planta) e

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

Os dados coletados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade (teste de Shapiro-Wilk e Levene) (Levene et al., 1960; Shapiro & Wilk 1965) e depois uma análise multivariada pelo método dos componentes principais (CP), em que se reduziu em menor número de dimensões, as informações relevantes contidas no conjunto de dados originais, resultantes de combinações lineares das variáveis originais geradas a partir dos autovalores ( $\lambda \geq 1,0$ ) na matriz de correlação e que explicou uma percentagem maior que 10% da variância total (Govaerts et al., 2007).

A partir da redução das dimensões, os dados originais das variáveis de cada componente foram submetidos a análise de variância multivariada (MANOVA) pelo Roy's, a 0,05 de probabilidade para lâminas de irrigação e concentrações de quitosana, assim como para interação entre os fatores. Apenas variáveis com coeficiente de correlação maior ou igual a 0,65 foram mantidas em cada componente principal (CP) (Hair et al., 2009). As análises foram realizadas com o auxílio do software Statistica v. 7.0 (Statsoft, 2004).

As variáveis que apresentaram coeficiente de correlação menor que 0,65 foram analisadas através da análise univariada (ANOVA),  $p \leq 0,05$ , e nos casos de significância, foi realizada análise de regressão polinomial linear e quadrática para as concentrações de quitosana e teste de Tukey para lâminas de irrigação pelo software estatístico SISVAR ESAL (Ferreira, 2019).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão dispostos os resultados da análise de variância multivariada (MANOVA), em que é possível verificar efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das lâminas de irrigação (L), concentrações de quitosana (Q) e interação entre os fatores (L  $\times$  Q) para os dois componentes principais (CPs) pelo teste correlação de Roy 's.

**Tabela 3.** Autovalores e porcentagem da variância total explicada na análise multivariada da variância (MANOVA)

	Componentes Principais (CP)	
	CP1	CP2
Autovalores ( $\lambda$ )	11,25	5,98
Porcentagem da variância total ( $\sigma^2$ %)	51,13	27,21
Teste de Roy's para as Lâminas de Irrigação (L)	0,001	0,04
Teste de Roy's para Concentração de quitosana (Q)	0,001	0,02
Teste de Roy's para Interação (L $\times$ Q)	0,01	0,001

CP1 – Componente principal 1 e CP2 – Componente principal 2.

Os dois primeiros componentes (CPs) principais juntos foram responsáveis por 78,34% da variância total. O componente principal 1 (CP1) contribuiu com 51,13% da variância total, composto pelas variáveis extravasamento de eletrólitos (EE), carotenoides (Car), fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), fluorescência máxima (F<sub>m</sub>), eficiência quântica do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>), transpiração (E), condutância estomática (g<sub>s</sub>), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), número de capulho por planta (NCP), massa de algodão em pluma (MAP), consumo hídrico (CH), índice de fibras curtas (UNF), índice de micronaire (MIC) e maturidade (MAT).

O componente principal 2 (CP2) colaborou com 27,21% da variância restante, sendo constituído pela clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), clorofila *t* (Cl *t*), concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>), porcentagem de fibra (%), resistência da fibra (STR) e índice de friabilidade (CSP) (Tabela 4). Pelo coeficiente de correlação (*r*) observou-se entre as variáveis originais e CPs, que todas as variáveis foram importantes ( $r > 0,65$ ) para explicar a influência da restrição hídrica e as concentrações de quitosana no cultivo do algodoeiro 'BRS Jade' (Tabela 4)

**Tabela 4.** Coeficientes de correlação (*r*) entre as variáveis originais e os componentes principais

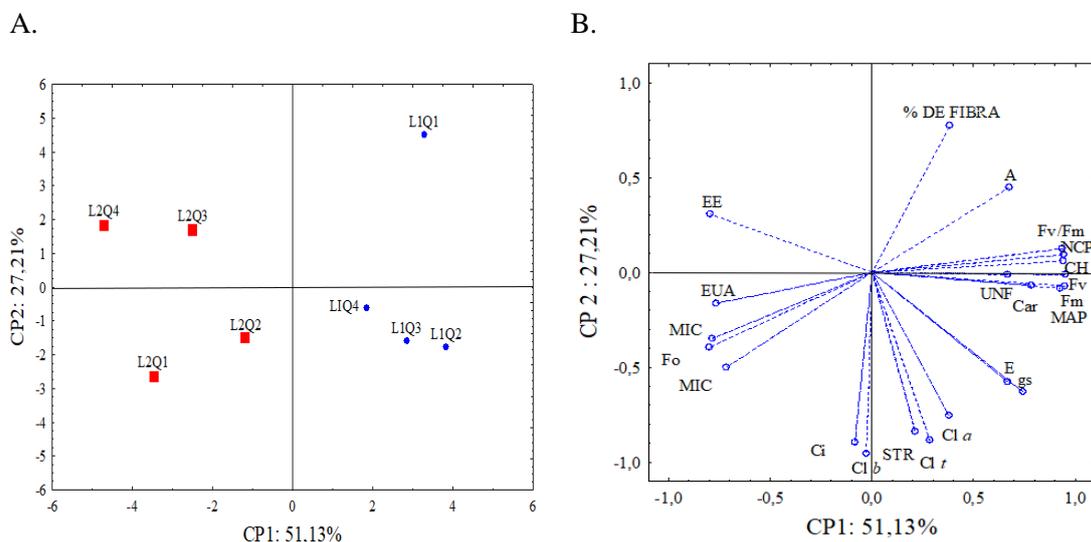
Coeficiente de correlação (r)											
	EE	ci	E	gs	A	Cl a	Cl b	Car	Cl t	Fo	Fm
CP1	-0,80	-0,08	0,67	0,75	0,67	0,38	-0,03	0,78	0,28	-0,80	0,95
CP2	0,31	-0,90	-0,58	-0,63	0,45	-0,75	-0,95	-0,07	-0,88	-0,39	-0,07

Coeficiente de correlação (r)											
	Fv	Fv/Fm	NCP	MAP	CH	EUA	%DE FIBRA	UNF	STR	MIC	MAT
CP1	0,95	0,94	0,94	0,93	0,94	-0,76	0,38	0,67	0,21	-0,78	-0,72
CP2	-0,01	0,13	0,09	-0,08	0,06	-0,16	0,78	-0,01	-0,84	-0,35	-0,50

CP1 – Componente principal 1; CP2 – Componente principal 2; EE – Extravasamento de eletrólitos (%); Cl a – Clorofila a ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) – Cl b – Clorofila b ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ); Cl t – Clorofila total ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ); Car – Carotenoides ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ); Fo - Fluorescência inicial; Fv - Fluorescência variável; Fm - Fluorescência máxima; Fv/Fm – eficiência quântica do fotossistema II; Ci - concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); gs- condutância estomática ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), A - taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); E – transpiração ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); NCP – Número de capulho por planta; MAP – Massa de algodão em pluma (g por planta); BH – Balanço hídrico (L por planta); EUA – Eficiência no uso da água ( $\text{g L}^{-1}$ ); % de fibra – Porcentagem de fibra (%); UNF – uniformidade (%); STR – Resistência (gt/tex); MIC – índice de micronaire e MAT – Maturidade.

Nas Figuras 2A e 2B estão expostas as projeções bidimensionais dos efeitos dos tratamentos e das variáveis nos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2), derivados das informações originais apresentam os tratamentos e as características que explicam as diferenças entre os sistemas.



L1 – 100% da necessidade hídrica; L2 – 50% da necessidade hídrica; Q1 – Testemunha; Q2 – 0,25  $\text{g L}^{-1}$  de quitosana; Q3 – 0,50  $\text{g L}^{-1}$  de quitosana; Q4 – 0,75  $\text{g L}^{-1}$  de quitosana; CP1 – Componente principal 1; CP2 – Componente principal 2; EE – Extravasamento de eletrólitos (%); Cl a – Clorofila a ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) – Cl b – Clorofila b ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ); Cl t – Clorofila total ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ); Car – Carotenoides ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ); Fo - Fluorescência inicial; Fv - Fluorescência variável; Fm - Fluorescência máxima; Fv/Fm – eficiência quântica do fotossistema II; Ci - concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); gs- condutância estomática ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), A - taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); E - Transpiração ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); NCP – Número de capulho por planta; MAP – Massa de algodão em pluma (g por planta); CH – Balanço hídrico ( $\text{g L}^{-1}$ ); EUA – Eficiência no uso da água ( $\text{g L}^{-1}$ ); % de fibra – Porcentagem de fibra (%); UNF – uniformidade (%); STR – Resistência (gt/tex); MIC – índice de micronaire e MAT – Maturidade.

**Figura 2.** Projeção bidimensional dos tratamentos (A) e das variáveis analisadas (B) nos dois componentes principais (CP1) e (CP2).

Para o componente principal 1, o tratamento L1Q3, que se refere ao cultivo do algodoeiro ‘BRS Jade’ irrigado com a lâmina de 100% e com a aplicação foliar de 0,50 g L<sup>-1</sup> de quitosana proporcionou os maiores valores de Car (423,02 µg mL<sup>-1</sup>), Fm (415,33), Fv (335,33), Fv/Fm (0,81) e MAP (64,12 g por planta) (Tabela 5). Ao confrontar esses resultados obtidos com o tratamento testemunha (L1Q1) observou-se que a aplicação foliar de quitosana promoveu um aumento de 34,78% (109,31 µg mL<sup>-1</sup>), 5,33% (21), 6,45% (20,33), 1,25% (0,01) e 8,22% (4,87 g por planta), para Car, Fm, Fv, Fv/Fm e MAP, respectivamente (Tabela 5).

Os maiores valores de Fv nas plantas sob maior disponibilidade hídrica e aplicação de quitosana, é um indicativo de maior capacidade na transferência de energia dos elétrons para a formação do redutor de NADPH e ATP (Ribeiro et al., 2023).

A pulverização com quitosana no algodoeiro resultou em uma manutenção na relação Fv/Fm, com o valor de 0,81, quando comparado aos tratamentos nas mesmas condições, sem aplicação de quitosana. Isso pode estar relacionado a maior eficiência com o aumento dos transportes fotossintéticos de elétrons e, provavelmente, não ocorreu uma fotoinibição nos complexos do fotossistema II (PSII) (Rabêlo et al., 2019). Isso pode ocorrer, devido a presença dos receptores de quitosana presentes na membrana plasmática através de uma cascata de sinalização, o cloroplasto como a organela primária de ação da quitosana (Hadwiger, 2013). De acordo com Ahmad et. (2017) e Zhang et al. (2016), os oligômeros de quitosana podem afetar a eficiência do uso da luz, pois essas moléculas induzem modificações positivas na fluorescência da clorofila, isso tudo contribuiu para uma maior produção de algodão em pluma (Tabela 5)

**Tabela 5.** Valores médios das variáveis analisadas por tratamento

TRATAMENTO	Valores médios										
	EE	ci	E	gs	A	Cl a	Cl b	Car	Cl t	Fo	Fm
L1Q1	43,15	246,33	2,29	0,23	13,49	1008,04	283,93	314,31	1291,97	79,33	394,33
L1Q2	34,15	281,33	2,65	0,30	12,32	1710,07	616,11	355,67	2326,18	82,33	405,33
L1Q3	42,44	282,00	2,43	0,29	11,70	1334,15	745,70	423,62	2079,85	80,00	415,33
L1Q4	43,05	299,33	2,26	0,28	10,54	1695,69	627,22	313,07	2322,90	81,67	379,33
L2Q1	50,82	311,67	2,35	0,24	9,89	1397,98	698,96	183,11	2096,94	96,33	334,67
L2Q2	41,35	293,67	2,36	0,25	12,08	1789,61	631,95	315,84	2421,56	91,67	330,00
L2Q3	46,68	266,00	2,16	0,23	11,27	1042,17	492,93	284,79	1535,09	88,33	328,00
L2Q4	68,24	256,33	2,10	0,21	10,56	878,58	486,46	247,24	1365,04	87,00	318,00

Valores médios											
TRATAMENTO	Fv	Fv/Fm	NCP	MAP	CH	EUA	%DE FIBRA	UNF	STR	MIC	MAT
L1Q1	315,00	0,80	32,33	59,25	144,82	1,10	80,39	87,22	33,53	3,79	0,85
L1Q2	323,00	0,80	28,00	60,17	144,01	0,94	63,92	86,66	36,48	4,20	0,86
L1Q3	335,33	0,81	27,67	64,12	144,33	1,11	66,09	85,46	37,01	4,54	0,87
L1Q4	297,67	0,78	26,67	61,04	144,17	0,97	72,76	86,02	33,97	4,26	0,86
L2Q1	238,33	0,71	20,00	40,69	72,41	1,41	61,68	85,78	36,64	4,63	0,87
L2Q2	238,43	0,72	22,00	37,53	72,00	1,29	66,51	86,10	35,55	4,39	0,86
L2Q3	239,67	0,73	17,00	33,94	72,17	1,11	73,37	86,05	33,54	4,64	0,87
L2Q4	231,00	0,73	16,00	34,76	72,09	1,26	64,15	82,81	33,80	4,82	0,87

L1 – 100% da necessidade hídrica; L2 – 50% da necessidade hídrica; Q1 – Testemunha; Q2 – 0,25 g L<sup>-1</sup> de quitosana; Q3 – 0,50 g L<sup>-1</sup> de quitosana; Q4 – 0,75 g L<sup>-1</sup> de quitosana; CP1 – Componente principal 1; CP2 – Componente principal 2; EE – Extravasamento de eletrólitos (%); Cl *a* – Clorofila *a* (µg mL<sup>-1</sup>) – Cl *b* – Clorofila *b* (µg mL<sup>-1</sup>); Cl *t* – Clorofila total (µg mL<sup>-1</sup>); Car – Carotenoides (µg mL<sup>-1</sup>); Fo - Fluorescência inicial; Fv - Fluorescência variável; Fm - Fluorescência máxima; Fv/Fm – eficiência quântica do fotossistema II; *C<sub>i</sub>* - concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); *g<sub>s</sub>*- condutância estomática (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), *A* - taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); *E*- Transpiração (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); NCP – Número de capulho por planta; MAP – Massa de algodão em pluma (g por planta); CH – Balanço hídrico (g L<sup>-1</sup>); EUA – Eficiência no uso da água (g L<sup>-1</sup>); % de fibra – Porcentagem de fibra (%); UNF – uniformidade (%); STR – Resistência (gt/tex); MIC – índice de micronaire e MAT – Maturidade.

Ainda no CP1, verificou-se que o tratamento L1Q1, ou seja, as plantas irrigadas com lâmina de 100% da necessidade hídrica e sem quitosana, obtiveram os maiores resultados para *A* (12,49 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), NCP (32,33 capulhos por planta), CH (144,82 g L<sup>-1</sup>) e UNF (87,22%). Em comparação com as que foram submetidas a redução hídrica de 50% e sem aplicação de quitosana (L2Q1) houve redução de 26,67% (3,60 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) para *A*, 38,14% (12,33 capulhos por planta) para NCP, 50,00% (72,41 g L<sup>-1</sup> por planta) para o BH e (16,67%) UNF (Tabela 5).

Sem restrição hídrica as concentrações de quitosana foram prejudiciais para essas variáveis. Entretanto, sob restrição hídrica, a concentração de 0,25 g L<sup>-1</sup> promoveu aumento na *A*, NCP e UNF. Esses resultados podem estar associados a diminuição da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> em plantas sob déficit hídrico com limitações de natureza não estomáticas, como a restrição da difusão de CO<sub>2</sub> nas células do mesófilo e o declínio da afinidade do RuBisCO com o CO<sub>2</sub> (Luo, et al., 2016), por causa de diversos eventos coordenados, como fechamento estomático e redução da atividade de enzimas fotossintéticas (Deeba et al., 2012). Além disso, quando o algodoeiro passa por estresse hídrico severo, a planta sofre com a diminuição no seu crescimento e atividades fotossintéticas, ocasiona diminuições do número de estruturas reprodutivas e de capulhos por planta, do rendimento de fibra, produção de algodão em caroço e, por consequência, redução da produtividade (Batista et al., 2010; Rodrigues et al., 2016; Zonta et al., 2017). Em consequência da restrição hídrica, houve uma diminuição na

uniformidade das fibras do algodoeiro, mas, mesmo nessas condições, a uniformidade ainda se manteve na categoria "muito alta", ou seja, bastante homogênea (Fonseca, 2002).

No CP1, é perceptível que os maiores valores de E ( $2,65 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e gs ( $0,30 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foram alcançados quando as plantas foram irrigadas com 100% da necessidade hídrica e com a pulverização de  $0,25 \text{ g L}^{-1}$  de quitosana (L1Q2). Inclusive, ao relacionar esses valores com o tratamento testemunha (L1Q1), notou-se um acréscimo na transpiração de 15,72% ( $0,36 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e na condutância estomática de 30,43% ( $0,07 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) com a aplicação do biopolímero (Tabela 5). Como as plantas não estavam sob restrição hídrica, houve um aumento na condutância estomática, o que sugere que não houve deficiência de água. Portanto, quando as plantas absorvem  $\text{CO}_2$ , ocorre simultaneamente a perda de água pelas folhas para atmosfera. Essa perda é regulada principalmente, pelos estômatos, que têm mecanismos para controlar sua abertura, a condutância estomática foliar é comumente usada como indicador de deficiência hídrica devido ao seu papel nesse controle (Mc Dermitt, 1990). Além disso, com base na Tabela 5, percebe-se que sob restrição hídrica o algodoeiro a partir da pulverização com  $0,25 \text{ g L}^{-1}$ , reduziu a transpiração, o que pode ter sido pelo efeito benéfico da quitosana que contribuiu para uma menor transpiração das plantas (Zeng & Luo 2012; Reis et al., 2019).

A restrição hídrica de 50% e sem a aplicação do biopolímero (L2Q1) promoveu o maior valor de  $F_0$  ( $96,33 \text{ elétrons quântum}^{-1}$ ), EUA ( $1,41 \text{ g L}^{-1}$  por planta) e MAT ( $0,874$ ), que ao comparar com o tratamento L1Q1, detectou-se que a restrição de água promoveu um aumento de 21,42% ( $17,00 \text{ elétrons quântum}^{-1}$ ), 28,18% ( $0,31 \text{ L por planta}$ ) e 2,35% nas variáveis  $F_0$ , EUA e MAT, nessa ordem (Tabela 5). As plantas sem aplicação de quitosana e sob restrição hídrica (L2Q1) tiveram maior fluorescência inicial e esse aumento pode estar intrínseco a condição de estresse que elas foram submetidas, possivelmente pela redução na capacidade de transferência de energia de excitação para o fotossistema II, indicando possível destruição do centro de reação do PSII (Kalaji et al., 2017). Isso ficou evidenciado (Tabela 5) considerando que o valor médio de  $F_m/F_v$  dessas plantas foi de 0,71, ou seja, tiveram dados ao aparato fotossintético, já que segundo Peripolli et al. (2021), quando não há danos ao aparato fotossintético o valor dessa variável fica entre 0,75 e 0,85. Ao se tratar da maturidade de fibra, os resultados obtidos se encontram dentro dos parâmetros dispostos por Fonseca (2002) mesmo as plantas sob a disponibilização reduzida de água, sendo consideradas fibras "maturas" ( $> 0,85$ ).

Em adição, as plantas que receberam a lâmina de 50% da necessidade da hídrica e concentração de  $0,75 \text{ g L}^{-1}$  de quitosana (L2Q4), tiveram um maior extravasamento de eletrólito

(68,24%) e índice de micronaire (4,82) (Tabela 5). Sob restrição hídrica, a quitosana aumentou o extravasamento de eletrólitos, possivelmente devido ao desequilíbrio na absorção e uso de energia luminosa nos cloroplastos, já esperado nas condições de déficit hídrico. Essa situação pode causar um aumento na produção de espécies reativas de oxigênio, que danificam lipídios, proteínas e ácidos nucleicos, potencialmente levando à morte do tecido vegetal (Zomorodi et al., 2022). Mas em contrapartida, a aplicação foliar de quitosana mostrou-se benéfica para o índice de micronaire, considerando que a restrição hídrica pode limitar a translocação de carboidratos para o enchimento dos frutos, afetando as características da fibra, como o micronaire e a resistência (Bachelier e Gourlot, 2018). A pulverização com quitosana, resultou em aumento no índice de micronaire, um fator crucial para a qualidade da fibra. É importante destacar que baixos valores dessa variável tendem a causar a formação de "neps" (pequenos emaranhados) no fio e no tecido acabado durante o processamento (Fonseca, 2002).

Para o CP2, constata-se que os maiores valores de  $Cl\ b$  ( $745,70\ \mu\text{g mL}^{-1}$ ) e STR (37,01  $\text{gt/tex}$ ) foram obtidos nos algodoeiros submetidos ao tratamento LIQ3 (100% da lâmina de irrigação e concentração de  $0,50\ \text{g L}^{-1}$ ), correspondendo ao aumento 163,64% ( $461,77\ \mu\text{g mL}^{-1}$ ) e 10,38% ( $3,48\ \text{gt/tex}$ ) para  $Cl\ b$  e STR, respectivamente, em relação as plantas submetidas ao tratamento L1Q1 (100% da lâmina de irrigação e sem aplicação de quitosana) (Tabela 5). Segundo Farouk & Amany (2012), a quitosana deve aumentar os níveis endógenos de citocininas que estimulam a síntese de clorofila. Ademais, a pulverização foliar de quitosana aumentou a resistência da fibra à ruptura em condições favoráveis de irrigação. No entanto, sob restrição hídrica, a resistência foi menor. Mesmo assim, em todas as situações, a resistência ainda foi considerada “muito elevada”, com valores superiores a  $30\ \text{g/tex}$  (Fonseca, 2002).

Ainda com base no CP2, as plantas pulverizadas com a concentração de  $0,25\ \text{g L}^{-1}$  de quitosana e que receberam 50% da lâmina de irrigação (L2Q2) chegaram as maiores médias de  $Cl\ a$  ( $1789,61\ \mu\text{g mL}^{-1}$ ) e  $Cl\ t$  ( $2421,56\ \mu\text{g mL}^{-1}$ ), verificando um aumento de  $391,63\ \mu\text{g mL}^{-1}$  (28,01%) e  $324,62\ \mu\text{g mL}^{-1}$  (15,48 %) ao relacionar com as plantas que não foram pulverizadas com o atenuante sob as mesmas condições de irrigação (L2Q1) (Tabela 5). Em estudos com a aplicação de quitosana e um oligômero de quitosana em folhas de cafeeiro, Dzung et al. (2011) concluíram que, a aplicação desses polímeros aumentou os teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides nas folhas.

Contudo, ainda dentro do CP2, o maior valor para a concentração interna de  $\text{CO}_2$  foi de ( $311,67\ \mu\text{mol CO}_2\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ ) e %fibra (80,39%) para plantas submetidas aos tratamentos L2Q1 e L1Q1, respectivamente. E em relação as testemunhas dos respectivos tratamentos (L1Q1) e (L2Q1), uma redução de 20,96% ( $62,33\ \mu\text{mol CO}_2\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ ) na concentração intercelular de  $\text{CO}_2$

e 23,28% na porcentagem de fibra com a restrição hídrica de 50% da necessidade da hídrica da cultura (Tabela 5).

O incremento na *Ci* está relacionado a ocorrência de danos ao aparato fotossintético na etapa de carboxilação, com redução da atividade e concentração da RuBisCO, redução da taxa de transferência de elétrons e da eficiência fotoquímica de PSII (Mafakheri et al., 2010), além disso, o fechamento estomático é um fator de restrição de CO<sub>2</sub> na câmara subestomática. Corroborando com os resultados dos valores de Fv/Fv das plantas sob restrição hídrica e sem aplicação de quitosana (L2Q1). A restrição hídrica acarretou uma redução na porcentagem de fibra, indo contra a afirmação feita por Brito et al. (2011) e Hussein et al. (2011), de que a porcentagem de fibra não é afetada pelo déficit hídrico, mas sim, determinada pelas características hereditárias das cultivares.

O conteúdo relativo de água (CRA), índice de fibras curtas (SFI), alongamento a ruptura (ELG), comprimento da fibra (UHM) e CSP (índice de fiabilidade) apresentaram coeficiente de correlação menor que 0,65, por essa razão foram removidos do banco de dados da análise multivariada e foram analisados de forma univariada.

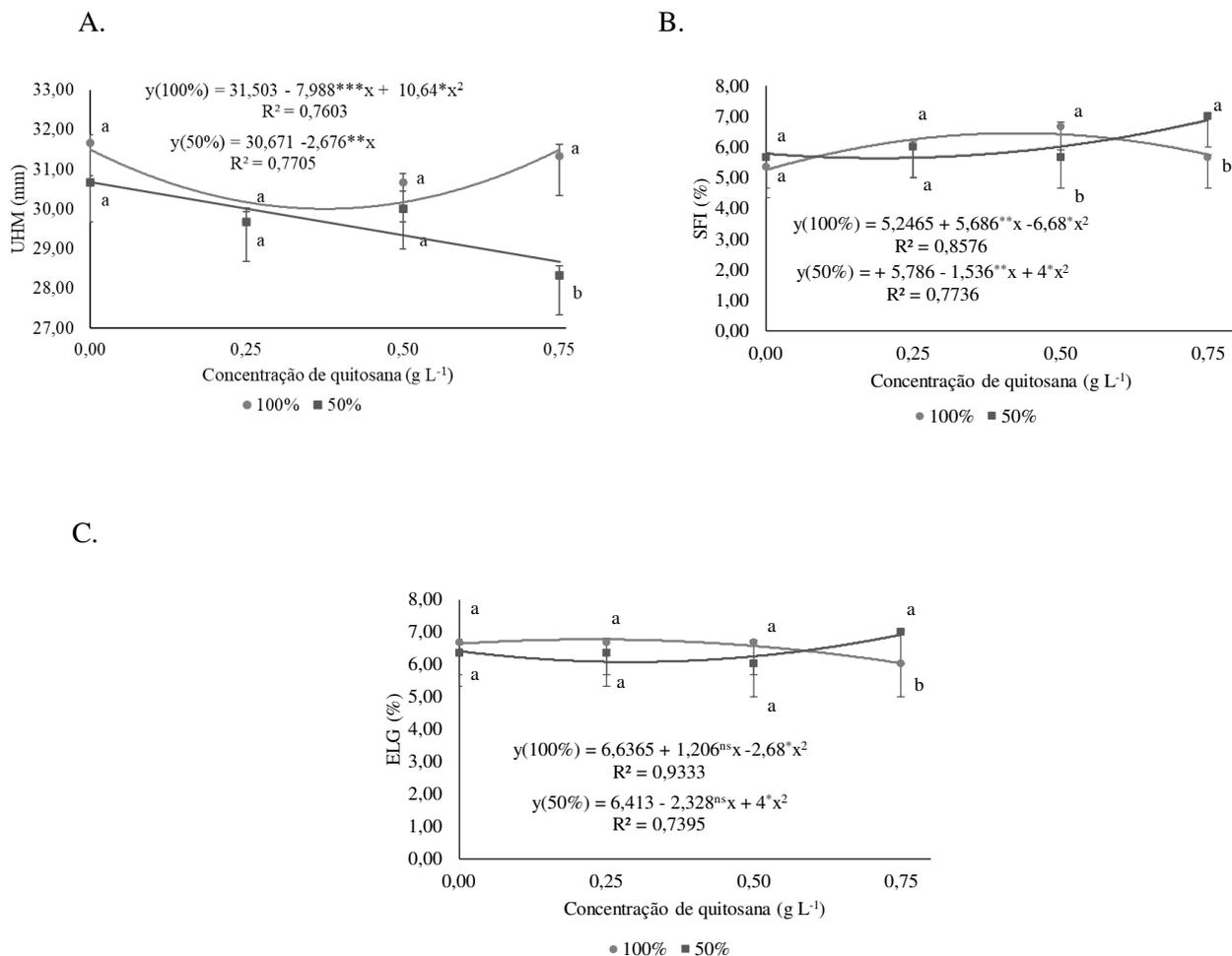
Houve efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) da interação entre as lâminas de irrigação (L) e as concentrações de quitosana (Q) no índice de fibras curtas (SFI), alongamento a ruptura (ELG) e comprimento da fibra (UHM) (Tabela 6). As concentrações de quitosana influenciaram a SFI e UHM. Já as lâminas de irrigação afetaram significativamente ( $p \leq 0,001$ ) apenas para UHM.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para conteúdo relativo de água (CRA) aos 85 dias após a semeadura (DAS), CSP (índice de fiabilidade), comprimento da fibra (UHM), índice de fibras curtas (SFI) e alongamento à ruptura (ELG) do algodoeiro de fibra naturalmente colorida ‘BRS Jade’ submetido a restrição hídrica e aplicação foliar de concentrações de quitosana

Fonte de variação (FV)	Quadrado médio					
	GL	CRA	CSP	UHM	SFI	ELG
Lâminas de irrigação (L)	1	63,37 <sup>ns</sup>	47615,04 <sup>ns</sup>	8,17 <sup>***</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Quitosana (Q)	3	48,26 <sup>ns</sup>	174901,01 <sup>ns</sup>	2,72 <sup>*</sup>	0,77 <sup>*</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	0,68 <sup>ns</sup>	45993,00 <sup>ns</sup>	3,33 <sup>*</sup>	12,13 <sup>**</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	126,04 <sup>ns</sup>	28635,04 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Interação (LxQ)	3	20,48 <sup>ns</sup>	156652,04 <sup>ns</sup>	2,50 <sup>*</sup>	1,38 <sup>*</sup>	0,81 <sup>*</sup>
Regressão linear	1	6,01 <sup>ns</sup>	780900,42 <sup>ns</sup>	6,67 <sup>**</sup>	12,16 <sup>**</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	52,08 <sup>ns</sup>	123018,42 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>*</sup>	0,75 <sup>*</sup>	0,75 <sup>*</sup>
Resíduo	16	-	-	-	-	-
CV (%)		14,64	2,69	2,13	7,61	7,07

<sup>ns</sup>, <sup>\*\*\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup> respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,001$ ,  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,05$ ; GL – Grau de liberdade; CV – Coeficiente de variação.

Com base na Figura 3A, nota-se diferença significativa no comprimento da fibra entre as lâminas de irrigação apenas nas plantas pulverizadas com a concentração de 0,75 g L<sup>-1</sup> de quitosana, com um decréscimo de 9,58% (3 mm) no UHM quando a irrigação foi reduzida em 50%. O aumento da concentração de quitosana, proporcionou decréscimo no UHM de 4,76% (1,49 mm) ao comparar o maior valor determinado sem aplicação de quitosana (31,50 mm) com o menor resultado alcançado com a concentração estimada de 0,38 g L<sup>-1</sup> (30,00 mm), para as plantas irrigadas com 100% da necessidade hídrica. No entanto, a partir da concentração estimada de 0,38 g L<sup>-1</sup> houve um aumento de 4,98% (1,49 mm) no UHM até a maior concentração (0,75 g L<sup>-1</sup>). Segundo Coutinho et al. (2015), essa característica é importante para a comercialização da fibra do algodão por estar relacionada diretamente a transformação do algodão em fio, salientando AMPA e IMAMT (2014), que o comprimento das fibras afeta a resistência, a uniformidade do fio e a eficiência do processo de fiação.



As médias seguidas por letras iguais não diferem entre si para as lâminas de irrigação, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns, \*\*\*, \*\*, \* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,001$ ,  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,05$ .

**Figura 3.** Comprimento da fibra (UHM), índice de fibras curtas (SFI) e alongamento à ruptura (ELG) do algodoeiro de fibra naturalmente colorida ‘BRS Jade’ submetidos a restrição hídrica e aplicação foliar de concentrações de quitosana.

Entretanto, para as plantas que foram irrigadas com 50% da necessidade hídrica da cultura, o incremento da concentração de quitosana promoveu uma redução linear de 6,58% (2,01 mm) no comprimento da fibra, com base no maior (30,67 mm) e menor (28,66 mm) valor, sem ( $0,0 \text{ g L}^{-1}$ ) e com ( $0,75 \text{ g L}^{-1}$ ) a pulverização do biopolímero. Sob condição de restrição hídrica a aplicação de quitosana intensificou a redução do comprimento das fibras do algodoeiro. A falta de umidade do solo induz a produção de ácido abscísico, fitohormônio que controla a abertura e o fechamento dos estômatos, reduzindo o potencial hídrico da folha, interferindo negativamente na interceptação luminosa, na assimilação de carbono e, conseqüentemente, na disponibilidade de carboidratos para o enchimento dos frutos (Allen & Aleman, 2011).

Lokhande & Reddy (2014), observaram redução da biomassa total, número de capulhos, peso de sementes e produtividade do algodão em resposta ao déficit hídrico como consequência do declínio da atividade fotossintética. Em adição, houve redução linear do comprimento da fibra, da resistência e da uniformidade com o decréscimo do potencial hídrico da folha (quanto mais negativo, mais seco) e aumento do micronaire em resposta ao aumento do déficit hídrico. Vasconcelos (2016), por sua vez, estudando diversos genótipos de algodoeiro, verificou que houve redução do comprimento da fibra quando as plantas estavam sob restrição hídrica.

Para variável índice de fibras curtas (SFI), as plantas que receberam irrigação equivalente a 100% da necessidade hídrica apresentaram um aumento de 22,69% (1,19) com o incremento da concentração de quitosana até  $0,48 \text{ g L}^{-1}$ , sendo o valor máximo estimado de 6,43 (Figura 3B). A partir desse ponto, observou-se uma redução de 10,61% (0,68) até a maior concentração de  $0,75 \text{ g L}^{-1}$ , que alcançou o valor mínimo estimado (5,75). Já quando houve restrição hídrica, as plantas apresentaram uma redução de 0,82% (0,05) até a concentração de  $0,35 \text{ g L}^{-1}$  de quitosana, logo após esse ponto, com o aumento da concentração do atenuante, notou-se um aumento do índice de fibra curtas até a maior concentração ( $0,75 \text{ g L}^{-1}$ ) de 19,96% (1,14). Além disso, na comparação com as plantas irrigadas com 100 e 50% da necessidade hídrica, percebe-se diferença significativa apenas na pulverização com a concentração de  $0,75 \text{ g L}^{-1}$ , em que, as sob restrição hídrica que obtiveram o maior índice de fibras curtas (7).

Segundo Cordão Sobrinho et al. (2015), a vantagem de uma fibra com SFI baixo (< 12%) é que se diminui o nível de ruptura dos fios, aumentando a resistência no processo de torção e

estiramento na fiação, conforme Vasconcelos (2016), o SFI é bastante demandado pela indústria têxtil, pois quanto menor esse índice, maior é o comprimento da fibra. Esses resultados confirmam os obtidos na Figura 3A, em relação ao comprimento de fibras do algodoeiro 'BRS jade' sob restrição hídrica e pulverização de quitosana.

Com relação ao alongamento à ruptura (Figura 3C), o valor máximo estimado = (6,77%) foi obtido quando se aplicou 0,22 g L<sup>-1</sup> de quitosana via foliar, e partir daí houve uma redução para 6,03%, obtido quando as plantas foram pulverizadas com 0,75 g L<sup>-1</sup> de quitosana, para a situação de irrigação 100% da necessidade hídrica (Figura 3C).

Sob restrição de 50% da necessidade hídrica com o incremento das concentrações, houve uma redução no percentual dessa variável até a concentração de 0,30 g L<sup>-1</sup>. Após esse ponto, verificou-se um crescimento no alongamento a ruptura, com o maior valor de 6,91% na concentração de 0,75 g L<sup>-1</sup> e o menor valor de 6,03% na concentração de 0,30 g L<sup>-1</sup>. Ademais, constatou-se uma diferença significativa entre as lâminas, com uma diferença de 1% nessa variável.

Portanto, as plantas irrigadas com 100% da lâmina de irrigação e aplicação foliar de quitosana até a concentração de 0,22 g L<sup>-1</sup> apresentaram um alto alongamento para ruptura. De 0,22 g L<sup>-1</sup> a 0,75 g L<sup>-1</sup> o alongamento foi classificado como médio. Para as plantas sob restrição de 50% da necessidade hídrica, até a concentração de 0,30 g L<sup>-1</sup>, foi classificado como médio e acima desse valor foi classificado como alto. Esses parâmetros foram determinados segundo a classificação de Uster HVI 1000 (2008).

Para alongamento a ruptura das fibras um valor mais alto indica que as fibras possuem uma capacidade maior de aguentar grandes acelerações que lhe sejam impostas durante as etapas de beneficiamento, sem haver a quebra (Bachelier & Gourlot, 2018).

#### **4. CONCLUSÕES**

1. A irrigação com 50% da necessidade hídrica da cultura aumenta o extravasamento de eletrólitos, concentração interna de CO<sub>2</sub>, transpiração, condutância estomática, fluorescência inicial, índice de fibra curta e alongamento à ruptura, conseqüentemente, diminui a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, número de capulho por planta, massa do algodão em pluma, porcentagem de fibra, uniformidade e comprimento de fibra.

2. A aplicação foliar de quitosana com concentrações variando de 0,22 e 0,50 g L<sup>-1</sup> mitiga os efeitos do déficit hídrico no extravasamento de eletrólitos, trocas gasosas, síntese de

pigmentos fotossintéticos, fluorescência da clorofila a, refletindo em aumento no número de capulho por planta, massa do algodão em pluma, eficiência no uso da água.

3. Além disso, concentrações de 0,25 e 0,50 g L<sup>-1</sup> promovem melhoria na porcentagem de fibra, uniformidade, maturidade, alongamento à ruptura e resistência de fibra e índice de micronaire do algodoeiro de fibra colorida 'BRS Jade'.

4. A aplicação de quitosana em concentrações maiores que 0,35 g L<sup>-1</sup> não proporciona efeitos benéficos no comprimento nem no índice de fibra curta do algodoeiro de fibra colorida 'BRS Jade' cultivado sob déficit hídrico.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, B.; Khan, M. M. A.; Jaleel, H.; Sadiq, Y.; Shabbir A.; Uddin, M. Exogenously sourced  $\gamma$ -irradiated chitosan-mediated regulation of growth, physiology, quality attributes, and yield in *Mentha piperita* L. *Turkish Journal of Biology*, v.41, p.388-401, 2017. <https://doi.org/10.3906/biy-1608-64>
- Allen, R. D.; L. Aleman. Abiotic stress and cotton fiber development. In: *Stress Physiology in Cotton*, Oosterhuis, D. M. The Cotton Foundation, Cordova, Tennessee, 2015. Cap 9, p.149-160.
- Almeida, L. G.; Magalhães, P. C.; Karam, D.; Silva, E. M. D.; Alvarenga, A. A. Chitosan application in the induction of water deficit tolerance in maize plants. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.42, e42463, 2020. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.42463>
- Alves, F. A. L.; Cavalcante, F. S.; Oliveira Júnior, I. S.; Ferraz, I.; Silva, S. M. S. Competição de variedades de algodão herbáceo para cultivo no agreste pernambucano. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, v.24, p.1-8, 2019. <https://doi.org/10.12661/pap.2019.003>
- AMPA - Associação Matogrossense dos Produtores de Algodão. Manual de beneficiamento do algodão. 1ed. Instituto Mato-grossense do Algodão, 2014, 301-368p.
- Arnon, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *beta vulgaris*. *Plant Physiology*, v.24, p.1-15, 1949. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Dowom, S. A.; Karimian, Z.; Dehnavi, M. M.; Samiei, L. Chitosan nanoparticles improve physiological and biochemical responses of *Salvia abrotanoides* (Kar.) under drought stress. *BMC Plant Biology*, v.22, p.1–17, 2022. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03689-4>.
- Bachelier, B.; Gourelot, J.P. A fibra de algodão: origem, estrutura, composição e caracterização. In : *Manual de qualidade da fibra da AMPA*. Bélot Jean-Louis. Cuiabá : IMAmt-Ampa. 2018, cap.1, p. 28-57.

- Batista, C. H.; Aquino L. A.; Silva T. R.; Silva, H. R. F. Crescimento e produtividade da cultura do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.4, p.197-206, 2010. [https://doi.org/ 10.7127/RBAI.V4N400035](https://doi.org/10.7127/RBAI.V4N400035)
- Bibi, A.; Ibrar, M.; Shalmani, A.; Rehan, T. A review on recent advances in chitosan applications. *Pure and Applied Bibliology*, v.10, p.1217–1229, 2021. <https://doi.org/10.19045/bspab.2021.100128>
- Bistgani, Z. E.; Siadat, S. A.; Bakhshandeh, A.; Pirbalouti, A. G.; Hashemi, M. Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. *The Crop Journal*, v.5, p.407-415, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003>
- Brito, G. G.; Sofiati, V.; Lima, M. M. A.; Carvalho, L. P.; Silva Filho, J. L. Physiological traits for drought phenotyping in cotton. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 33, p.117-125, 2011. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.9839>
- Chen, Y.; Feng, L.; Wei, N.; Liu, Z.; Hu, S.; Li, X. Overexpression of cotton PYL genes in *Arabidopsis* enhances the transgenic plant tolerance to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.115, p.229-238, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.03.023>
- Coelho, N.; Romano, A. Impact of chitosan on plant tissue culture: recent applications. *Plant Cell Tissue Organ Cult*, v.148, p.1–13, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11240-021-02156-6>
- Cordão Sobrinho, F. P.; Guerra, H. O; Araújo, W. P.; Pereira, J. R.; Zonta, J. H.; Bezerra, J. R. Fiber quality of upland cotton under different irrigation depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.1057-1063, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1057-1063>
- Coutinho, C. R.; Andrade, J. A. S.; Pegoraro, R. F. Produtividade e qualidade de fibra de cultivares de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) na região do semiárido mineiro. *Essentia-Revista de Cultura*, v. 16, p.62-82, 2015.
- Deeba, F.; Pandey, A. K.; Ranjan, S.; Mishra, A.; Singh, R.; Sharma, Y. K.; Shirke, P. A.; Pandey, V. Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.53, p.6-18, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.01.002>
- Dzung, N.A.; Khanh, V.T.P.; Dzung, T.T. Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. *Carbohydrate Polymers*, v.84, p.751–755, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.066>

- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de Produção Embrapa – Cultura do Algodão Herbáceo na Agricultura Familiar. 3ed. 2014.
- Farias, F. J. C.; Morello, C. D. L.; Pedrosa, M. B.; Suassuna, N. D.; Silva Filho, J. L. da; Carvalho, L. P. de; Ribeiro, J. BRS JADE: nova cultivar de algodão colorido de dupla aptidão para o Cerrado Baiano e para o Semiárido Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 11., 2017, Maceió. Inovação e rentabilidade da cotonicultura: livro de resumos. Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2017.
- Farouk, S.; Amany, A.R. Improving growth and yield of cowpea by foliar application of chitosan under water stress. *Egyptian Journal Biology*, v.14, p.14–26, 2012. <https://doi.org/10.4314/ejb.v14i1.2>
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, p.529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- Fonseca, R. G da.; Santana, J. C. F. Resultados de ensaio HVI e suas interpretações (ASTM D-4605). Embrapa algodão, 1.ed., p.1-13, 2002.
- Genty, B.; Briantais, J. M.; Baker, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, v.990, p.87-92, 1989. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(89\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(89)80016-9)
- Govaerts, B.; Sayre, K. D.; Lichter, K.; Dendooven, L.; Deckers, J. Influence of permanent planting in high bed and residue management on physical and chemical soil quality in rainfed corn/wheat systems. *Plant and Soil*, v.291, p.39-54, 2007. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9172-6>
- Guedes, W. A.; Nobre, R. G.; Soares, L. A. dos A.; de Lima, G. S. da; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D.; Ferreira, A; P. N.; Silva, A. A. R da.; Azevedo, C.A.V de.; Silva, D.V.; Medeiros, J. F de. Irrigation Strategies with Controlled Water Deficit in Two Production Cycles of Cotton. *Plants*, v.12, p.2892, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12162892>
- Hadwiger, L.A. Multiple effects of chitosan on plant systems: Solid Science or hype. *Plant Science*, v.208, p. 42-49, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.03.007>
- Hair, F. J.; Black; W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L. Análise multivariada de dados. 6.ed. Tradução Adonai Schlup Sant’Anna. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.
- Hidangmayum, A.; Dwivedi, P.; Katiyar, D.; Hemantaranjan, A. Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, v.25, p.313–326, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0633-1>

- 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, v.35, p.611-621, 2011. <http://dx.doi.org/10.3906/tar-1008-1138>
- IMAMT- Instituto Mato-grossense do Algodão. Manual de beneficiamento do algodão. 1.ed. p.301-368, 2014.
- Kalaji, H.M.; Schansker, G.; Brestic, M.; Bussotti, F.; Calatayud, A.; Ferroni, L.; Goltsev, V.; Guidi, L.; Jajoo, A.; Li, P.; Losciale, P.; Mishra, V. K.; Misra, A. N.; Nebauer, S. G.; Pancaldi, S.; Penella, C.; Pollastrini, M.; Suresh, K.; Tambussi, E.; Yanniccari, M.; Zivcak, M.; Cetner, M. D.; Samborska, I. A.; Stirbet, A.; Olsovska, K.; Kunderlikova, K.; Shelonzek, H.; Rusinowski, S.; Baba, W. Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel. Photosynth Research, v. 132, p.13–66, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11120-016-0318-y>
- Kochhar, S.L.; Gujral, S.K. Plant Physiology: Theory and Applications: Theory and Applications; Cambridge University Press: Cambridge. 2.ed. UK, 2020. 491–495p.
- Levene, H. Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling. In: Ingram Olkin, Harold Hotelling, et alia. 1.ed. Stanford University Press, 1960. 278–292p.
- Lokhande, S.; Reddy, K. R. Quantifying temperature effects on cotton reproductive efficiency and fiber quality. Agronomy Journal, v.106, p.1275-1282, 2014. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0531>
- Luo, H. H.; Zhang, Y. L.; Zhang, W. F. Effects of water stress and rewatering on photosynthesis, root activity, and yield of cotton with drip irrigation under mulch. Photosynthetica, v.54, p.65-73, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s11099-015-0165-7>
- MafakherI, A.; Siosemardeh, A.; Bahramnejad, B.; Struik, P.C; Sohrabi, Y. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. Australian Journal of Crop Science, v. 4, p. 580-585, 2010.
- Makhlouf, B. S. I.; Khalil, S. R. A. E.; Saady, H. S. Efcacy of humic acids and chitosan for enhancing yield and sugar quality of sugar beet under moderate and severe drought. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, v.22, p.1676–1691, 2022. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00762-7>
- McDermitt, D K. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. HortScience, v.25, p.1538-48, 1990.
- Mirajkar, S. J.; Dalvi, S. G.; Ramteke, S. D.; Suprasanna, P. Foliar application of gamma radiation processed chitosan triggered distinctive biological responses in sugarcane under

- water deficit stress conditions. *International journal of biological macromolecules*, v.139, p.1212-1223, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.093>
- Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In A. J. Oliveira, Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. 189-253p.
- Pirbalouti, A. G.; Malekpoor, F.; Salimi, A.; Golparvar, A. Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimum ciliatum* and *Ocimum basilicum*) under reduced irrigation. *Scientia Horticulturae*, v. 201, p. 114-122, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017>.
- Papastylianou, P.; Kousta, A. Effect of Superabsorbent Polymer on Seedling Emergence and Growth of Cotton under Water Stress Conditions. *Bulletin UASVM Horticulture*, v.77, p.86-91, 2020. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:2020.0011>
- Rabêlo, V. M.; Magalhães, P. C.; Bressanin, L. A.; Carvalho, D. T.; Reis, C. O. D.; Karam, D.; Doriguetto, A. C.; Santos, M. H dos.; Santos Filho, P. R. dos S.; Souza, T. C de. The foliar application of a mixture of semisynthetic chitosan derivatives induces tolerance to water deficit in maize, improving the antioxidant system and increasing photosynthesis and grain yield. *Scientific reports*, v.9, 8164, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44649-7>
- Reis, C. O dos.; Magalhães, P. C.; Avila, R. G.; Almeida, L. G.; Rabelo, V. M.; Carvalho, D. T.; Cabral, D. F.; Karam, D.; Souza, T. C de. Action of N-Succinyl and N, O-Dicarboxymethyl chitosan derivatives on chlorophyll photosynthesis and fluorescence in drought-sensitive maize. *Journal of Plant Growth Regulation*, v.38, p.619-630, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9877-9>
- Ribeiro, J. E. D. S.; Coêlho, E. D. S.; Figueiredo, F. R. A.; Bezerra, F. T. C.; Dias, T. J.; Cavalcanti, M. L. F.; Albuquerque, M. B. D. Morphophysiological characteristics in *Erythroxylum paufferense* Plowman plants under water stress. *Ciência Florestal*, v.33, e65886, 2023. <https://doi.org/10.5902/1980509865886>
- Rodrigues, J. D.; Silva, C. R. C.; Pereira, R. F.; Ramos, J. P. C.; Melo Filho, P. A.; Cavalcanti, J. J. V.; Santos, R. C. Characterization of water stress tolerant cotton cultivars based on plant growth and in activity of antioxidant enzymes. *African Journal of Agricultural Research*, v.11, p.3763-3770, 2016. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11301>
- Scotti-Campos, P.; Pham-Thi, A. T.; Smedo, J. N.; Pais, I. P.; Ramalho, J. C.; Céu Matos, M. do. Physiological responses and membrane integrity in three *Vigna* genotypes with contrasting drought tolerance. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, v.25, p.1002-1013, 2013. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i12.16733>
- Shapiro, S. S.; Wilk, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples).

- Biometrika, v.52, p.591-611, 1965. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- Soares, L. A. dos A.; Fernandes, P. D.; de Lima, G. S de; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Sá, F. V. D. S.; Moreira, R.C.L. Saline water irrigation strategies in two production cycles of naturally colored cotton. *Irrigation Science*. v.38, p.401–413, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00271-020-00682-3>
- Statsoft, I. N. C. Programa computacional Statistica 7.0. E. A. U, 2004.
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. EMBRAPA solos, 2016.
- USTER TECHNOLOGIES – FIBER SYMPOSIUM – USTER ® HVI 1000 – Para Seleção e Gerenciamento da Fibra de Algodão – Brasil – Maio de 2008.
- Vasconcelos, W. S.; Análise genética para caracteres de fibras em genótipos de algodoeiro submetidos a estresse hídrico. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – UFGC/PB, Paraíba. 2016.
- Weatherley, P. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. *New Phytologist*, v.49, p.81-97, 1950. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x>
- Zeng, D.; Luo, X. Physiological effects of chitosan coating on wheat growth and activities of protective enzyme with drought tolerance. *Open Journal Soil Science*, v.2, p.282–288, 2012. <https://doi.org/10.4236/ojss.2012.23034>.
- Zhang, X.; Li, K.; Liu, S.; Xing, R.; Yu, H.; Chen, X.; Li, P. Size effects of chitoooligomers on the growth and photosynthetic characteristics of wheat seedlings. *Carbohydrate Polymers*, v.138, p.27–33, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.11.050>
- Zonta, J. H.; Brandão, Z. N.; Rodrigues, J. I. S.; Sofiatti, V. Cotton response to water deficits at different growth stages. *Revista Caatinga*, v.30, p.98, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n419rc>
- Zomorodi, N.; Rezaei Nejad, A.; Mousavi-Fard, S.; Feizi, H.; Nikoloudakis, N.; Fanourakis, D. Efficiency of sodium and calcium chloride in conferring cross-tolerance to water deficit in periwinkle. *Horticulturae*, v.8, p.1091, 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111091>
- Zonta, J. H.; Bezerra, J. R. C.; Sofiatti, V.; Farias, F. J. C.; Carvalho, L. P. D. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. *Revista Caatinga*, v.28, p.43–52, 2015. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n405rc>

Zou, J.; Hu, W.; Li, Y.; He, J.; Zhu, H.; Zhou, Z. Screening of drought resistance indices and evaluation of drought resistance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Integrative Agriculture*, v.19, p.495-508, 2020. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62696-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62696-1)

**CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## 1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O algodoeiro é uma cultura de grande viabilidade econômica, sendo uma das principais fontes de fibra. A cotonicultura contribui para a geração de produtos destinados à alimentação humana e animal em diversos continentes. No Brasil, são cultivados o algodão de fibra colorida e o de fibra branca. O algodão de fibra colorida, em particular, é uma importante fonte de renda para muitas famílias, especialmente no semiárido do Nordeste brasileiro, por seu cultivo sustentável.

No entanto, a produtividade dessa cultura pode ser afetada pela falta de tecnologias adequadas durante o cultivo em sequeiro, devido as condições edafoclimáticas da região. A última, pode colaborar de forma acentuada para quantidade e qualidade de água disponível para irrigação durante o ciclo da cultura por causa da variabilidade temporal e espacial de chuvas, que pode ocasionar estresses abióticos sobretudo, o hídrico. O déficit hídrico, afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas. Nessa perspectiva, é necessário buscar estratégias como a irrigação controlada, uso de atenuantes entre alternativas visando incrementar a produtividade, especialmente, no semiárido.

Diante do exposto, o intuito da pesquisa foi analisar o efeito das concentrações de quitosana morfofisiologia e componentes de produção do algodoeiro de fibra colorida 'BRS Jade' sob restrição hídrica.

Diante dos resultados obtidos no presente estudo percebe-se que, a aplicação foliar de quitosana entre as concentrações de 0,22 e 0,50 g L<sup>-1</sup> mitigou os efeitos deletérios da restrição hídrica no extravasamento de eletrólitos, nas trocas gasosas, na síntese de pigmentos fotossintéticos, na fluorescência da clorofila a, no crescimento em diâmetro do caule e área foliar, refletindo em aumento no número de capulho por planta, massa do algodão em pluma, o peso de 100 sementes, peso médio de capulho, massa de algodão em caroço, fitomassa seca total de capulhos, fitomassa seca do caule, da folha e da parte aérea e eficiência no uso da água.

Além disso, promoveu melhoria na porcentagem de fibra, uniformidade, maturidade, alongamento à ruptura, resistência de fibra e índice de micronaire do algodoeiro de fibra colorida 'BRS Jade'. Mas, a pulverização de quitosana não proporcionou efeitos benéficos no comprimento nem no índice de fibra curta do algodoeiro de fibra colorida 'BRS Jade' cultivado sob restrição hídrica.

Os resultados obtidos no presente estudo confirmam a hipótese que a aplicação foliar de quitosana ameniza os efeitos deletérios da restrição hídrica no cultivo de algodoeiro de fibra colorida. No entanto, são necessários estudos adicionais para elucidar os mecanismos de ação

da quitosana na mitigação da restrição hídrica, por meio de análises bioquímicas e enzimáticas, além de confirmar esses achados em experimentos de campo e com outras cultivares de algodão de fibra colorida.