



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA  
DOUTORADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

RUDAH MARQUES MANIÇOBA

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM CULTIVARES DE ALGODOEIRO HERBÁCEO NO  
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

MOSSORÓ

2019

RUDAH MARQUES MANIÇOBA

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM CULTIVARES DE ALGODOEIRO HERBÁCEO NO  
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Manejo de Solo e Água na Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. José Espínola Sobrinho  
Coorientador: Dr. João Henrique Zonta

MOSSORÓ

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M278m Maniçoba, Rudah Marques.  
Manejo da irrigação em cultivares de algodoeiro herbáceo no semiárido brasileiro / Rudah Marques Maniçoba. - 2020.  
123 f. : il.

Orientador: José Espínola Sobrinho.  
Coorientador: João Henrique Zonta.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2020.

1. Fases fenológicas. 2. Gossypium L. 3. Déficit hídrico. 4. Termometria por infravermelho.  
I. Sobrinho, José Espínola, orient. II. Zonta, João Henrique, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RUDAH MARQUES MANIÇOBA

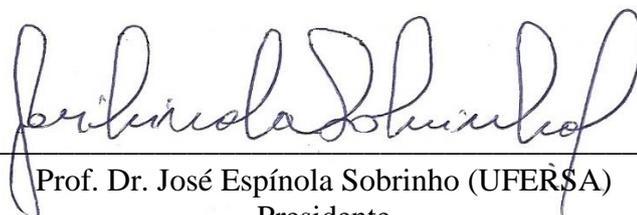
**MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM CULTIVARES DE ALGODOEIRO HERBÁCEO NO  
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Manejo de Solo e Água na Agricultura.

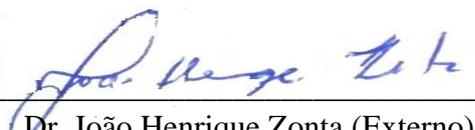
Defendida em: 08 / 11 / 2019

**BANCA EXAMINADORA**



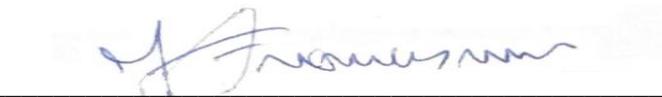
---

Prof. Dr. José Espínola Sobrinho (UFERSA)  
Presidente



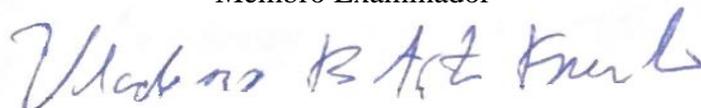
---

Dr. João Henrique Zonta (Externo)  
Membro Examinador



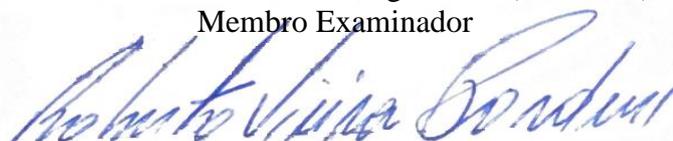
---

Prof. Dr. José Francismar de Medeiros (UFERSA)  
Membro Examinador



---

Prof. Dr. Vladimir Batista Figueirêdo (UFERSA)  
Membro Examinador



---

Prof. Dr. Roberto Vieira Pordeus (UFERSA)  
Membro Examinador

À minha avó, **Marilene Marques Dias** (in memoriam), e especialmente ao meu super tio, **Elias Marques Dias** (in memoriam), por ter sido meu mentor e meu guia.

## DEDICO

Aos meus pais **Eliane Marques Dias** e **José Railson Lopes Maniçoba**.

A minha querida avó, **Maria Bernadete Lopes Morais**.

À minha irmã, **Isaura Raquel Marques Maniçoba**.

À minha esposa, **Fernanda Patrícia da Silva Câmara**.

Ao meu filho, **Pedro Lucas Câmara Marques**.

Dedico, com muito amor e carinho.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado uma vida amável e satisfatória, me colocando ao lado de pessoas tão maravilhosas, que através dele me guiam e me ajudam dia após dia.

À minha mãe, Eliane Marques Dias, por ser um verdadeiro anjo em minha vida. Dona de um coração puro e sorriso sincero. Tem sido minha mentora e guia, sempre me instruindo para seguir no caminho correto.

Ao meu pai, José Railson Lopes Maniçoba, pelas palavras reflexivas e sinceras, e pelo exemplo de bondade e simplicidade.

À minha avó, Maria Bernadete Lopes Morais, que sempre acreditou no meu potencial, inclusive em momentos que eu já não mais acreditava.

Aos meus tios, e pais, Eudo Marques Dias e Cesarnildo Lopes Maniçoba, pelo inexplicável amor e carinho a mim concebidos, que resultam em muita felicidade e paz.

Aos meus tios, Edson Marques Dias, Lindomar Marques Dias e Pollyanna Maniçoba, pelo carinho e pelas palavras de ensinamento.

À minha irmã Isaura Raquel Marques Maniçoba, por ter sido paciente durante todo esse período tão estressante.

À minha esposa Fernanda Patrícia da Silva Câmara, por toda dedicação, companheirismo, paciência e amor. Muito obrigado por ter me ajudado, me aconselhado e principalmente, por ter me escutado nos momentos mais difíceis.

Aos primos, Ney Filho, Maíra Lopes, Laisa Lopes e Letícia Lopes.

Aos meus sogros, Fernando César e Ana Cleide, pela companhia e exemplo de casal.

Ao professor, amigo e orientador, José Espínola Sobrinho, que abriu as portas da pesquisa para mim, sempre me apoiando e confiando na minha capacidade. É o meu pai no mundo acadêmico.

Ao meu coorientador e amigo, João Henrique Zonta, também conhecido por Lebron Antetonkounmpo da pesquisa, que é ser humano incrível e um espelho para mim. Agradeço por todo conhecimento transmitido durante as temporadas na EMPARN e no desenvolvimento deste trabalho. As preciosas “reuniões” resolvidas por e-mail e Whatsapp também foram geniais.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, Luís César de Aquino Lemos Filho, Rafael Oliveira Batista e Jeane Cruz Portela, pelo conhecimento fornecido e pelo apoio nos momentos importantes.

Aos meus colegas de pesquisa, Laio Ariel, Edmilson Cavalcante Junior, Anna Kézia, Isaac Alves, Tecla Ticiane, Itala Tavares, Aline Alves, Renato Leandro, Talyana Kadja e Joseane Dunga.

A todos os meus amigos do AUFC, em especial Max Alberto, George de Oliveira, Fábio da Silva, Dyego Tavares, Daniel Balada, Everton Tales e Fidel Nunes.

Aos meus amigos Vandems, Mayko Douglas, Rafael de Carvalho, Luiz Henrique, Zé Hélio, Werllon Melo, Diego Cabeça, Raúl Campelo, Luiz Paulo, Paulo Morais e Pedro Vitor, pelos momentos de insanidade, descontração e desordem. companheirismo.

Aos meus amigos de vida, Icaro Solano, Rickson Campos, Tereza Raquel, Bruno Morais, Diego Melo, Marina Melo, Ana Alice e Otávio Botrel, pelo companheirismo.

À banca: Roberto Vieira Pordeus, Vladimir Batista Figueirêdo e José Francismar de Medeiros, por toda contribuição e ensinamentos a mim concebidos.

Ao PPGMSA e a UFERSA pela oportunidade de realizar este sonho do curso de doutorado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), as quais agradeço imensamente por me proporcionar essa realização profissional.

*Grandes batalhas só são dadas a grandes guerreiros.*

**Mahatma Gandhi**

## RESUMO GERAL

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma cultura de clima tropical e cultivada na maioria das regiões de clima quente, apresentando características ideais para a região semiárida do Nordeste brasileiro. Devido às secas que ocorrem periodicamente nesta região, faz-se necessário o uso da prática da irrigação para minimizar o efeito do déficit hídrico nesta cultura. Objetivou-se avaliar os manejos de irrigação, supressões hídricas e déficits hídricos, nas diferentes fases fenológicas, em cultivares de algodoeiro herbáceo, no semiárido brasileiro, e seus efeitos sobre os componentes da produção, eficiência hídrica, qualidade da fibra e graus dias acumulados. Durante dois anos consecutivos foram conduzidos experimentos de campo na região de Apodi – RN. No ano de 2016, os tratamentos foram constituídos de períodos de supressão hídrica durante diferentes fases fenológicas (Primeiros botões florais, Início do florescimento, Pico do florescimento e Abertura dos capulhos) e 4 cultivares (BRS 368 RF, BRS 336, BRS 432 B2RF, BRS 430 B2RF). No segundo ano, em 2017, o experimento foi dividido entre métodos de manejo de irrigação (Irrigâmetro, Evapotranspiração da cultura e SmartCrop) e períodos de déficit hídrico (70% e 50% da evapotranspiração da cultura no início do florescimento e 70% e 50% da evapotranspiração da cultura no pico do florescimento) e 4 cultivares (BRS 433 FL B2RF, BRS JADE, BRS 416 e BRS 430 B2RF). Os experimentos foram realizados em blocos casualizados, dispostos em faixas, com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância através do teste F, sendo as médias dos tratamentos dos fatores comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram avaliadas a produtividade de algodão em caroço, a percentagem de fibra, o rendimento de algodão em pluma, o número de capulhos por planta e a qualidade das fibras do algodoeiro. As variáveis da fibra analisadas foram: percentagem de fibra, comprimento, uniformidade, índice de fibras curtas, resistência, alongamento à ruptura, índice micronaire, maturidade, grau de amarelamento, reflectância e índice de fiabilidade. Os manejos SmartCrop e Evapotranspiração da cultura proporcionaram os melhores resultados dos componentes de produção e qualidade de fibra, enquanto o Irrigâmetro resultou na maior eficiência do uso da água. As supressões hídricas durante a floração resultaram nos menores valores dos componentes de produção. De forma geral, as supressões hídricas e déficits hídricos aplicados nas diferentes fases fenológicas das cultivares do algodoeiro herbáceo não resultaram em severas perdas da qualidade da fibra, pois a fibra produzida está dentro do intervalo de qualidade aceitável pela indústria têxtil nacional. Os graus dia acumulados variaram em função da supressão hídrica, com as plantas completando seu ciclo mais precocemente para os tratamentos início do florescimento e pico do florescimento.

**Palavras-chave:** Fases fenológicas. *Gossypium* L. Déficit hídrico. Termometria por infravermelho.

## ABSTRACT

Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) is a tropical climate crop and Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) grown in most warm climate regions, presenting ideal characteristics for the semiarid region of northeastern Brazil. Due to the droughts that occur periodically in this region, it is necessary to use technologies such as irrigation practice to minimize the effect of water deficit on this crop. This study was conducted to evaluate irrigation management, water suppression and water deficit in different phenological phases, in herbaceous cotton cultivars in the Brazilian semiarid, and their effects on yield components, water efficiency, fiber quality and accumulated degree days. For two consecutive years, field experiments were conducted in the Apodi - RN. In 2016, the treatments were constituted during different phenological stages (First Square, First Flower, Peak Bloom and First Open Boll) and four cultivars (BRS 368 RF, BRS 336, BRS 432 B2RF, BRS 430 B2RF). In 2017, the experiment was divided between irrigation management methods (Irrigameter, Crop evapotranspiration and SmartCrop) and periods of water deficit (70% and 50% of the crop evapotranspiration at the beginning of flowering and 70% and 50% of the crop evapotranspiration at the peaky of flowering) and 4 cultivars (BRS 433 FL B2RF, BRS JADE, BRS 416 e BRS 430 B2RF). The experiments consisted in randomized block, arranged in a split-plot design with four replicates. The data were subjected to variance analysis by F test, being the treatment means of the factors compared by Tukey test at 5% probability. Productivity of the cotton seed, lint percent, lint yield, number of open bolls per plant, fiber quality traits determined were evaluated. The analyzed fiber quality variables were: fiber percentage, length, uniformity, short-fiber index, resistance, elongation at rupture, micronaire index, maturity, degree of yellowing, reflectance degree and count strength product (CSP) index. SmartCrop and ETc managements provided the best results of fiber quality and yield components, while Irrigameter resulted in higher water use efficiency. The suppressions in flowering resulted in lower values of crop yield components. Except for the elongation at rupture, in general, there was no significant difference for fiber characteristics between control treatment and applied deficits, because all fiber quality characteristics acceptable for the domestic textile industry. Accumulated degree days also varied according to water stress, with a shortened phenological cycle for treatments with water deficit in comparison to the control without stress.

**Keywords:** Phenological cycle. *Gossypium* L. Water deficit. Infrared thermometry.

## LISTA DE FIGURAS

### **CAPÍTULO 2 - RESPOSTA DO ALGODOEIRO SOB SUPRESSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

- Figura 1 - Evapotranspiração de referência e lâminas brutas de irrigação acumuladas para cada tratamento.....41
- Figura 2 - Altura das plantas em função das quatro épocas de supressão hídrica aplicadas para média de quatro cultivares de algodoeiro (dados agrupados).....46
- Figura 3 - Área foliar em função das quatro épocas de supressão hídrica aplicadas para quatro cultivares de algodoeiro (dados agrupados).....47
- Figura 4 - Fitomassa fresca total por planta em função das quatro épocas de supressão hídrica aplicadas para quatro cultivares de algodoeiro (dados agrupados).....48

### **CAPÍTULO 3 - TEMPERATURA DO DOSEL E GRAUS DIAS ACUMULADOS EM ALGODOEIRO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

- Figura 1 - Temperatura média diurna do dossel a 46 DAE para cada tratamento com supressão hídrica. Considerou-se estresse as temperaturas maiores que 32°C.....77
- Figura 2 - Graus dias acumulados durante a estação de crescimento para os tratamentos de supressão hídrica de temperatura do dossel e temperatura do ar.....80
- Figura 3 - Variação do início, duração e final do período de enchimento das maçãs em função da aplicação dos tratamentos de supressão hídrica, com os graus dias acumulados baseados nas temperaturas do dossel e do ar.....81

### **CAPÍTULO 4 - MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FIBRAS DE ALGODOEIRO HERBÁCEO COM DÉFICIT HÍDRICO**

- Figura 1 - Evaporatório (direita) e Pluviômetro (esquerda) que compõem o Irrigâmetro (a) e Sensor SmartCrop instalado em campo (b).....92
- Figura 2 - Evapotranspiração de referência e lâminas brutas de irrigação acumuladas para cada tratamento.....105

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2 - RESPOSTA DO ALGODOEIRO SOB SUPRESSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Tabela 1	- Características químicas do solo da área experimental em Apodi, RN, de 0-40 cm de profundidade.....	38
Tabela 2	- Características físicas do solo da área experimental em Apodi, RN, de 0-40 cm de profundidade.....	38
Tabela 3	- Dados agronômicos e parâmetros de irrigação durante o ciclo do algodão.....	39
Tabela 4	- Período de supressão hídrica em cada tratamento.....	40
Tabela 5	- Resumo da análise de variância dos dados de crescimento, obtidos em diferentes datas: altura de planta (AP), área foliar por planta (AFP) e fitomassa fresca total por planta (FFT) do algodoeiro, submetido aos diferentes tratamentos.....	43
Tabela 6	- Resumo da análise de variância da produtividade em caroço (PROD), porcentagem de fibras (%FIBRAS), rendimento de algodão em pluma (PLUMA) e número de capulhos por planta (CAPULHOS) de cultivares de algodão submetidas a supressão hídrica em diferentes estágios do ciclo da cultura.....	49
Tabela 7	- Análise de variância e teste de médias para as variáveis produtividade de algodão em caroço, porcentagem de fibras e rendimento de algodão em pluma em função das cultivares e supressões hídricas.....	50
Tabela 8	- Valores médios da porcentagem de fibras para a interação cultivares x supressões hídricas.....	51
Tabela 9	- Valores médios do rendimento de algodão em pluma para a interação cultivares x supressões hídricas.....	53
Tabela 10	- Valores médios do número de capulhos por planta para a interação cultivares x supressões hídricas.....	53
Tabela 11	- Resumo da análise de variância para comprimento (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibras curtas (SFI), resistência (STR), alongamento à ruptura (ELG), índice de micronaire (MIC), maturidade da fibra (MAT), reflectância (Rd), grau de amarelo (+b) e índice de fiabilidade (CSP) de cultivares de algodão submetidas a déficit hídrico em diferentes estágios do ciclo da cultura.....	54

Tabela 12	- Análise de variância e teste de médias para as variáveis comprimento (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibra curta (SFI), resistência (STF), alongamento à ruptura (ELG), índice de micronaire (MIC), maturidade da fibra (MAT), reflectância (Rd), grau de amarelo (+b) e índice de fiabilidade (CSP) em função das cultivares e supressões hídricas.....	55
Tabela 13	- Valores médios do índice de micronaire (MIC) para a interação cultivares x supressões hídricas.....	58
Tabela 14	- Valores médios da maturidade da fibra (MAT) para a interação cultivares x supressões hídricas.....	59

### **CAPÍTULO 3 - TEMPERATURA DO DOSEL E GRAUS DIAS ACUMULADOS EM ALGODOEIRO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Tabela 1	- Características químicas do solo da área experimental em Apodi, RN, de 0-40 cm de profundidade.....	71
Tabela 2	- Dados agronômicos e parâmetros de irrigação durante o ciclo do algodão.....	71
Tabela 3	- Período de supressão hídrica em cada tratamento.....	73
Tabela 4	- Temperatura do dossel do algodoeiro e produtividade para quatro tratamentos de supressão hídrica, no período de 46 a 108 DAE.....	75
Tabela 5	- Temperatura média diurna do dossel durante o período de supressão hídrica.....	78
Tabela 6	- Variação na acumulação de graus dias acumulados resultante de diferentes tratamentos de supressão hídrica baseados na temperatura do dossel e temperatura do ar.....	79

### **CAPÍTULO 4 - MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FIBRAS DE ALGODOEIRO HERBÁCEO COM DÉFICIT HÍDRICO**

Tabela 1	- Características físicas do solo da área experimental em Apodi, RN, de 0-40 cm de profundidade.....	90
Tabela 2	- Características químicas do solo da área experimental em Apodi, RN, de 0-40 cm de profundidade.....	90
Tabela 3	- Dados agronômicos e parâmetros de irrigação.....	91
Tabela 4	- Período de déficit hídrico em cada tratamento.....	93

Tabela 5	- Manejos de irrigação.....	95
Tabela 6	- Resumo da análise de variância da produtividade em caroço (PROD), porcentagem de fibra (%FIBRAS), rendimento de algodão em pluma (PLUMA), e número de capulhos por planta (CAPULHOS) de cultivares de algodão submetidas a diferentes manejos de irrigação.....	96
Tabela 7	- Análise de variância e teste de médias para as variáveis produtividade de algodão em caroço, porcentagem de fibras, rendimento de algodão em pluma e número de capulhos por plantas em função das cultivares e manejos de irrigação.....	97
Tabela 8	- Resumo da análise de variância para comprimento (UHM_mm), uniformidade (UNF_%), índice de fibras curtas (SFI_%), resistência (STR_gf tex <sup>-1</sup> ), alongamento à ruptura (ELG_%), índice de micronaire (MIC_μg pol <sup>-1</sup> ), maturidade da fibra (MAT_%), reflectância (Rd_%), grau de amarelo (+b) e índice de fiabilidade (CSP) de cultivares de algodão submetidas a diferentes manejos de irrigação.....	99
Tabela 9	- Análise de variância e teste de médias para as variáveis comprimento (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibra curta (SFI), resistência (STF), alongamento à ruptura (ELG) em função das cultivares e manejos de irrigação.....	100
Tabela 10	- Valores médios do comprimento da fibra (UHM) para a interação cultivares x manejos de irrigação.....	100
Tabela 11	- Valores médios do índice de fibras curtas (SFI) para a interação cultivares x manejos de irrigação.....	101
Tabela 12	- Valores médios do alongamento a ruptura (ELG) para a interação cultivares x manejos de irrigação.....	101
Tabela 13	- Análise de variância e teste de médias para as variáveis índice de micronaire (MIC), maturidade da fibra (MAT), reflectância (Rd), grau de amarelo (+b) e índice de fiabilidade (CSP) em função das cultivares e manejos de irrigação.....	102
Tabela 14	- Valores médios do índice de micronaire (MIC) para a interação cultivares x manejos de irrigação.....	104
Tabela 15	- Valores médios da maturidade da fibra (MAT) para a interação cultivares x manejos de irrigação.....	104
Tabela 16	- Eficiência do uso da água dos déficits hídricos aplicados.....	105
Tabela 17	- Resumo da análise de variância da produtividade em caroço (PROD), porcentagem de fibra (%FIBRAS), rendimento de algodão em pluma	

	(PLUMA), e número de capulhos por planta (NCP) de cultivares de algodão submetidas a déficit hídrico em diferentes estágios do ciclo da cultura.....	106
Tabela 18	- Análise de variância e teste de médias para as variáveis produtividade de algodão em caroço, porcentagem de fibras, rendimento de algodão em pluma e número de capulhos por plantas em função das cultivares e déficits hídricos.....	107
Tabela 19	- Valores médios da produtividade de algodão em caroço para a interação cultivares x déficits hídricos.....	109
Tabela 20	- Redução da produtividade sob déficit hídrico em relação ao tratamento controle (ETc100%) para a interação cultivares x déficits hídricos.....	110
Tabela 21	- Eficiência do uso da água para a interação cultivares x déficits hídricos...	111
Tabela 22	- Resumo da análise de variância para comprimento (UHM_mm), uniformidade (UNF_%), índice de fibras curtas (SFI_%), resistência (STR_gf tex <sup>-1</sup> ), alongamento à ruptura (ELG_%), índice de micronaire (MIC_μg pol <sup>-1</sup> ), maturidade da fibra (MAT_%), reflectância (Rd_%), grau de amarelo (+b) e índice de fiabilidade (CSP) de cultivares de algodão submetidas a diferentes déficits hídricos.....	111
Tabela 23	- Análise de variância e teste de médias para as variáveis uniformidade (UNF), índice de fibra curta (SFI), alongamento à ruptura (ELG), resistência (STR) e comprimento (UHM), em função das cultivares e déficits hídricos.....	112
Tabela 24	- Valores médios da resistência das fibras (STR) para a interação cultivares x déficits hídricos.....	113
Tabela 25	- Valores médios do comprimento (UHM) para a interação cultivares x déficits hídricos.....	114
Tabela 26	- Análise de variância e teste de médias para as variáveis maturidade da fibra (MAT), reflectância (Rd), grau de amarelo (+b), índice de micronaire (MIC) e índice de fiabilidade (CSP) em função das cultivares e déficits hídricos..	115
Tabela 27	- Valores médios do índice de micronaire (MIC) para a interação cultivares x déficits hídricos.....	116
Tabela 28	- Valores médios do índice de fiabilidade (CSP) para a interação cultivares x déficits hídricos.....	117

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. A cultura do algodão.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Importância econômica da cultura do algodão.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Características agronômicas e de produtividade do algodoeiro herbáceo...</b>	<b>6</b>
<b>2.4. Déficit hídrico na cultura do algodão.....</b>	<b>9</b>
<b>2.5. Manejo de irrigação.....</b>	<b>11</b>
2.5.1. Evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) e Evapotranspiração da cultura (ET <sub>c</sub> )	13
2.5.2. Irrigâmetro.....	14
2.5.3. Sensor infravermelho SmartCroop.....	15
<b>2.6. Uso eficiente da água na irrigação.....</b>	<b>16</b>
<b>2.7. Efeito da temperatura no desenvolvimento do algodoeiro.....</b>	<b>18</b>
<b>2.8. Temperatura do dossel e graus dias acumulados em algodoeiro.....</b>	<b>19</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>22</b>
<b>CAPÍTULO 2 - RESPOSTA DO ALGODOEIRO SOB SUPRESSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....</b>	<b>34</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>

<b>CAPÍTULO 3 - TEMPERATURA DO DOSSEL E GRAUS DIAS ACUMULADOS EM ALGODOEIRO SOB DÉFICIT HÍDRICO.....</b>	<b>68</b>
1. INTRODUÇÃO.....	70
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	71
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
4. CONCLUSÕES.....	82
REFERÊNCIAS.....	83
<b>CAPÍTULO 4 - MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FIBRAS DE ALGODOEIRO HERBÁCEO COM DÉFICIT HÍDRICO.....</b>	<b>86</b>
1. INTRODUÇÃO.....	88
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	89
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	95
4. CONCLUSÕES.....	119
REFERÊNCIAS.....	120

## **CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA**

### **1. INTRODUÇÃO GERAL**

O Brasil foi o quarto maior produtor de algodão do mundo na safra 2018/2019, produzindo mais 2,73 milhões de toneladas de pluma, 36% maior do que a ocorrida no ano anterior (CONAB, 2019). O algodão é cultivado comercialmente por suas fibras e sementes. A fibra do algodão possui diversas utilidades na indústria, destacando-se: fios, tecidos, confecção, linhas, cotonetes, ataduras, filmes fotográficos e placas radiográficas, obtenção de celulose e preparação de algodão absorvente para enfermagem, além dos usos do óleo do caroço do algodão, que são, alimentação de animais ruminantes, adubo, óleo refinado, margarina e produção de biodiesel.

Os recursos hídricos no semiárido da região nordeste do Brasil têm sofrido sérios problemas devido ao aumento da demanda hídrica nos centros urbanos, fator decorrente do crescimento populacional e da melhoria de renda da população, que conseqüentemente resultam na necessidade de maior produção para abastecer, principalmente, os setores têxtil, alimentício e de biocombustíveis.

A produção agrícola irrigada nas regiões áridas e semiáridas do mundo é fundamental para sustentar o aumento crescente da população, criando-se a necessidade de se desenvolver pesquisas que visem o uso sustentável dos recursos, tanto nas zonas urbanas quanto na agricultura, a qual, com uso da irrigação, é responsável por 54% da água consumida no Brasil (ANA, 2013). Porém, nessa região, a disponibilidade da água para consumo humano e para a prática agrícola vem sendo gradativamente reduzida tanto em qualidade como em quantidade, fazendo assim necessário o uso racional e eficiente da água.

O principal fator que causa variação na produtividade das culturas na maior parte das áreas agrícolas é a água (Lopes et al., 2011; Zhang et al., 2014), pois ela condiciona as atividades fisiológicas e metabólicas das plantas (Lima et al., 2014). O manejo da irrigação constitui uma técnica muito importante do ponto de vista econômico e ambiental numa atividade agrícola irrigada, proporcionando economia de água, energia, aumento da produtividade da cultura e melhoria na qualidade do produto (Bonomo et al., 2013). No entanto, no Brasil a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não adota qualquer estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação.

O decréscimo na disponibilidade hídrica pode acarretar uma necessidade de alterações e adaptações nas estratégias de irrigação, visto que a rega poderá ser limitada pela baixa disponibilidade hídrica (Snowden et al., 2013). É importante identificar quais os estádios de

desenvolvimento com maior dependência hídrica, visando definir uma estratégia de economia e otimização da água utilizada com pequeno impacto na produtividade. Nas fases em que o fornecimento de água tem pouco impacto na produção, deve-se reduzir a lâmina aplicada, ou suprimir a irrigação, gerando economia sem comprometer a produtividade. Por outro lado, a maioria das culturas possui períodos críticos quando submetidas a situações de deficiência hídrica, ocasionados por veranicos ou problemas de irrigação, durante os quais a falta de água pode levar a alterações no desenvolvimento das plantas, resultando, dessa forma, em redução da produtividade final.

As necessidades hídricas das culturas variam de acordo com seus estádios de crescimento e desenvolvimento, sendo que a maioria das culturas necessita de um valor mínimo na germinação até um valor máximo quando a cultura atinge seu pleno desenvolvimento, e decresce a partir do início da maturação (Carvalho et al., 2013). As características tecnológicas da fibra do algodão são condicionadas por fatores hereditários, mas também sofrem decisivas influências dos fatores ambientais (temperatura, luminosidade, disponibilidade hídrica) e dependem das condições do cultivo (Sestren & Lima, 2015). A resposta ao estresse hídrico depende da frequência, intensidade e duração do déficit, assim como o genótipo, estágio de desenvolvimento e potencial de tolerância/aclimatação da espécie, sendo difícil de se fazer generalizações e avaliar a relevância dos dados disponíveis para plantas cultivadas em campo (Zonta et al., 2017).

Dentro de um contexto que essas regiões são bastante afetadas pela escassez e a irrigação é a atividade que mais consome água, uma das práticas que vem sendo difundida para reduzir o gasto de água na irrigação é o uso de supressão hídrica, irrigação de salvamento ou déficit hídrico controlado, a qual mantém a produtividade das culturas, elevando a eficiência de uso da água, de modo a garantir o retorno da produção por unidade de água aplicada, aumentando a sustentabilidade do sistema.

Baseado nesses relatos observa-se a importância de se estudar o efeito do déficit hídrico e supressão hídrica, nas diferentes fases do ciclo de cultivo, na temperatura do dossel, produtividade e qualidade das fibras, visto que atualmente a indústria têxtil tem aumentado cada vez mais seu padrão de exigência em qualidade. Ainda, observa-se que em nenhuma dessas pesquisas foi quantificado o efeito do estresse hídrico na quantificação de capulhos e qualidade das fibras de diferentes cultivares sujeitas a déficit hídrico e supressão hídrica em uma determinada fase do ciclo de cultivo. Com isso o objetivo geral do presente estudo foi avaliar o efeito do manejo da irrigação e déficit hídrico na temperatura do dossel, crescimento, produtividade e qualidade de fibras do algodoeiro herbáceo.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. A cultura do algodão**

A cultura do algodão é originária do México e da América Central, onde evidências desta espécie foram encontradas, em escavações arqueológicas no Vale do Tehuacan, há 5000 anos atrás, sendo uma das culturas mais importantes na agricultura mundial (Carvalho et al., 2000). A domesticação do algodoeiro ocorreu há mais de quatro mil anos, no sul da Arábia (Borém & Freire, 2014). A palavra algodão deriva da palavra árabe al-quTum, idioma do povo que primeiro fabricou tecidos e papéis com essa fibra; a Europa começou a usá-lo regularmente na época das Cruzadas, e no século XVIII, o surgimento de novas máquinas de descaroçamento e de fiação fizeram a tecelagem de algodão dominar o mercado mundial de fios e tecidos (AMPA, 2017).

No Brasil, o algodão é a matéria-prima básica da cadeia agrotêxtil, representando cerca de 90% do total de fibras naturais consumidas e produzidas em todo o território nacional (Echer et al., 2010). Outras vantagens importantes são o uso das sementes de algodão, gerando fiapos, óleo comestível de valor agregado para consumo humano e o algodão para complementar a dieta do gado (Jerônimo et al., 2014). A fibra, principal produto do algodão, possui várias aplicações industriais, dentre as quais pode-se citar: confecção de tecidos para a tecelagem de vários tipos de tecidos, preparação de algodão hidrófilo para enfermagem, confecção de feltro, cobertores e estofamentos, obtenção de celulose, películas fotográficas e chapas para radiografia (Richetti & Melo Filho, 2001).

O algodoeiro é uma angiosperma da classe das dicotiledôneas, pertencente à ordem Malvales, família das Malvaceae, gênero *Gossypium*. As raízes são subterrâneas, axial ou pivotantes, profundas e com pequeno número de raízes secundárias grossas e superficiais; o caule é herbáceo e lenhoso, e de acordo com Gridi-Papp (1965), o caule do algodoeiro é cilíndrico, ereto e às vezes pode apresentar-se ligeiramente quadrangular ou mesmo pentangular, com presença de ramos vegetativos e ramos frutíferos; as folhas são pecioladas, geralmente cordiformes, apresentando consistência coriácea ou não, atingindo o índice de área foliar máximo próximo à floração (Hearn & Constable, 1984); o aparelho reprodutor do algodoeiro é a flor, que é hermafrodita, simétrica, tem sua polinização realizada principalmente por abelha, são isoladas e pedunculares, e apresentam cor variando de branco a creme e, normalmente, sem manchas, tornando-se violáceas após o processo de fecundação; os frutos são cápsulas de deiscência longitudinal, chamados de maçã quando verdes e de capulhos após a abertura.

Os estádios de crescimento e desenvolvimento são caracterizados basicamente em função de suas fases fenológicas, ou seja, vegetativa, formação de botões florais, abertura da flor e abertura do capulho. A duração de cada fase é bastante variável verificando-se diferenças dentro e entre períodos determinados, principalmente, pelas condições fornecidas às plantas durante o seu ciclo vegetativo, época de semeadura das plantas e da cultivar (Brown, 1958).

Atualmente são cultivados no mundo dois tipos de algodão: o arbóreo e o herbáceo. O algodão arbóreo se assemelha a uma árvore mediana, sendo considerado de cultivo perene, pois produz economicamente por 4 ou 5 anos. Por outro lado, o herbáceo é um arbusto de cultivo anual, com ciclos curtos, de aproximadamente 110 a 150 dias.

Devido ao melhoramento genético, predomina, hoje, espécies herbáceas que favorecem o cultivo. Das quatro espécies cultivadas de algodão, *Gossypium hirsutum*, *Gossypium barbadense*, *Gossypium herbaceum* e *Gossypium arboreum*, a *Gossypium hirsutum* é a mais cultivada, respondendo por mais de 90% da produção mundial de algodão, sendo produtora de fibra média quanto a comprimento, finura e resistência. Estima-se que, na atualidade, mais de 2.500 cultivares estejam em uso nos mais de cem países que exploram economicamente o algodão (Beltrão, 2004).

O algodoeiro é uma cultura de clima tropical e cultivada na maioria das regiões de clima quente, apresentando características ideais para a região semiárida do Nordeste brasileiro, particularmente às suas condições edafoclimáticas. É considerada uma planta de sol, com elevada capacidade de resistência à seca, apesar de apresentar metabolismo fotossintético do tipo C3 ineficiente, com elevada taxa de fotorrespiração, e que compromete até 45% do total da fotossíntese, reduzindo substancialmente o coeficiente fotossintético e, assim, o saldo da assimilação clorofiliana (Beltrão, 2006). Além disso, outro fator que altera a resposta fotossintética da planta é a idade da folha (Echer & Rosolem, 2018), cuja longevidade é geneticamente programada (Taiz et al., 2017).

Visando boa produtividade, as condições climáticas prevaletentes devem permitir à planta, em seus estádios de crescimento e desenvolvimento, quantidades suficientes de água de boa qualidade e temperatura na faixa ótima. A germinação é favorecida na faixa entre 18 °C e 30 °C. Temperaturas do ar médias entre 27 °C e 32 °C são ideais para o crescimento e desenvolvimento dos frutos, que requerem mais de 150 mg de açúcares por dia e por unidade (Beltrão, 2006).

O algodoeiro herbáceo é muito sensível à ausência ou mesmo à baixa presença de oxigênio no solo, como ocorre quando na presença de compactação ou em locais sujeitos a encharcamento. É uma espécie que tolera bem condições de média salinidade e alcalinidade, suportando aproximadamente até 6,5 g de sais por litro de água. A radiação solar é de vital

importância para o algodoeiro herbáceo, devendo ser evitadas áreas com mais de 50% de nebulosidade. O ideal é uma nebulosidade entre 10% e 30% no máximo, para o melhor crescimento e desenvolvimento da planta (Beltrão, 2006).

As principais demandas de pesquisa para o algodoeiro herbáceo são: adaptação ampla; aumento de produtividade e rendimento de fibra; tolerância à seca; resistência às principais pragas (bicudo-do-algodoeiro, pulgão, lagarta-rosada e curuquerê) e doenças (ramulose, fusariose e bacteriose); fibras brancas extralongas, melhoria da fibra colorida e novas cores, obtidas por melhoramento convencional ou transgenia (Vidal Neto & Carvalho, 2006).

## **2.2 Importância econômica da cultura do algodão**

O algodão é produzido economicamente em mais de 60 países e outros 150 produzem ou consomem algodão em pluma, cobrindo mais de 33 milhões de hectares, em uma diversa gama de condições ambientais (Saranga et al., 2001; Constable & Bange, 2015), sendo considerada uma das culturas mais antigas e importantes na extração de fibra e óleo. Em 2019, o Brasil se tornou o quarto maior produtor mundial de algodão, atrás de China, Índia e Estados Unidos (CONAB, 2019).

No Brasil, o cultivo comercial se iniciou em 1760, mais especificamente no Nordeste, com a exportação das primeiras sacas do produto para a Europa, que eram de algodoeiro arbóreo, de fibra longa. O algodoeiro herbáceo, de fibra mais curta e mais produtivo, começou em São Paulo, centro produtor até a safra 1978/1979, sendo superado pelo Paraná, na safra seguinte (AMPA, 2017; CONAB, 2017). Além das fibras, o algodão destaca-se como a segunda oleaginosa do Brasil e sua importância vêm aumentando também em decorrência do óleo, uma importante alternativa para a produção de energia (biodiesel) (Beltrão & Azevedo, 2008).

Atualmente, a cotonicultura é bastante mecanizada, em seu modo empresarial de produção, que atua principalmente na região de cerrado do Centro-Oeste e, no Nordeste, nas regiões de cerrado da Bahia, Piauí e Maranhão, com produtores oriundos principalmente do Sul e Sudeste. No Nordeste, há ainda o modo de produção no semiárido, de pequena escala, comum no sertão do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e sul da Bahia.

A região Centro-Oeste viu no algodão uma alternativa para rotação com de cultura com a soja. O sucesso da cultura do algodoeiro no cerrado tem sido impulsionado pelas condições de clima favorável, terras planas, que permitem mecanização total da lavoura, programas de incentivo à cultura implementada pelos estados da região e, sobretudo, o uso intensivo de tecnologias modernas. Este último aspecto tem feito com que o cerrado brasileiro detenha as

mais altas produtividades na cultura do algodoeiro no Brasil e no mundo, em áreas não irrigadas (Freire, 2011).

A produção do Brasil para a safra 2018/2019 foi de 2,73 milhões de toneladas, numa área total de 1,6 milhão de hectares. No Nordeste, o aumento foi de 20,4% na produção e de 28,0 % em área, elevando-se de 546,2 mil toneladas na safra anterior para 657,5 mil toneladas na atual. A expectativa positiva se deve à possibilidade de melhoria nas condições climáticas. Nos três grandes produtores, Bahia, Maranhão e Piauí, o aumento de área deveu-se aos ótimos resultados obtidos na safra anterior, que estimularam o produtor a aumentar investimentos na cotonicultura, confiando na expectativa de um bom clima e de uma boa produtividade (CONAB, 2019).

O crescimento de muitas cidades do sertão nordestino está diretamente relacionado com a produção do algodão, que alcançou o auge na década de 1970. O plantio, colheita, comercialização e beneficiamento do conhecido “ouro branco” trouxe riqueza para industriais, agricultores e ocupação e renda para os trabalhadores rurais. No entanto, o cultivo do algodão no Nordeste praticamente desapareceu. A área colhida, de 2,56 milhões de ha, em 1976/77, foi reduzida para 546,2 mil ha, em 2017/2018 (CONAB, 2018).

Nas regiões semiáridas nordestinas, a cultura do algodão destaca-se como sendo uma das principais culturas por seu valor social e econômico. Porém, no Estado do Rio Grande do Norte, o algodão tem sido pouco cultivado, sendo realizado predominantemente em pequenas e médias propriedades, em regime de sequeiro, com baixo investimento tecnológico e utilização de colheita manual. Apesar do menor custo de produção, as menores produtividades, a falta de escala de produção e a desorganização da cadeia produtiva dificultam a competição no mercado atual (Vidal Neto & Carvalho, 2006).

A retomada do cultivo do algodão no semiárido nordestino e a conquista definitiva de mercados importantes, passa obrigatoriamente pelo desenvolvimento de novas técnicas no manejo de irrigação para combater a escassez hídrica e as irregularidades pluviométricas da região, utilização de cultivares adaptadas as condições ambientais locais, além de organização e gestão técnica dos agricultores nos seus núcleos de produção.

### **2.3. Características agronômicas e de produtividade do algodoeiro herbáceo**

O algodoeiro é uma planta de aproveitamento integral (fibra, semente, planta), sendo usada como matéria-prima na indústria têxtil, alimentícia, de ração animal, de cosméticos, farmacêutica, de celulose, entre outras, o que resulta em uma cadeia produtiva das mais longas

e complexas. Atualmente, o óleo representa uma importante alternativa para a produção de energia baseada no biodiesel (Vidal Neto & Freire, 2013).

A indústria têxtil requer matéria-prima com características específicas de qualidade e uniformes para permitir o maior rendimento das máquinas com o menor custo; ao beneficiador interessa uma boa porcentagem e um baixo nível de impurezas, enquanto o produtor deseja: produtividade elevada, adaptação ao ambiente e ao sistema de cultivo, resistência às principais pragas, doenças e demais estressores ambientais (Vidal Neto & Freire, 2013).

A composição da fibra apresenta aproximadamente 94% de celulose, 1,3% de proteína, e os demais constituintes de cinza, substâncias pécnicas, ácidos málicos, ceras, pigmentos e açúcares (Sestren & Lima, 2015). A fibra representa 35% a 45% da produção total e corresponde à fibra natural mais consumida no mundo, abastecendo 50% do mercado mundial de fibras têxteis (Santos et al., 2008), sendo resultante de um complexo processo biológico que se desenrola desde a abertura da flor até à deiscência do capulho (Sabino et al., 1976).

As características tecnológicas da fibra, apesar de serem condicionadas por fatores hereditários, sofrem decisiva influência dos fatores ambientais conforme as situações de cultivo, alguns incontroláveis como as condições climáticas e outros passíveis de controle, como o manejo cultural, envolvendo a fertilidade do solo, a incidência de pragas e o aparecimento de doenças, entre outros (Araújo et al., 2003).

As fibras são quantificáveis por meio de análises em HVI (High Volume Instruments). As principais características são o comprimento, a finura (micronaire) e a resistência da fibra, que são os principais determinantes do seu preço e têm alta herdabilidade, enquanto a uniformidade de comprimento e o alongamento são importantes no processo de industrialização da fibra. As características da fibra mais importantes para a indústria têxtil são: finura, comprimento, resistência, alongamento, índice de fibras curtas, fiabilidade, grau de cor (reflectância/grau de amarelo). Além das características citadas anteriormente, Aguiar Neto (1996) destaca a maturação como sendo uma das principais características técnicas das fibras de algodão.

Da sua superfície à parte mais interna, a fibra pode conter ceras, gomas, óleos, cutícula, celulose, proteínas, glicose, ácidos málico, cítrico, entre outros, sendo que, para produzir o fio de algodão, a fibra deve apresentar comprimento adequado, uniformidade, resistência, finura e pureza. O comprimento das fibras classificadas como inferiores é abaixo de 22 mm, o das fibras curtas varia entre 22 e 28 mm, o das fibras médias varia entre 28 e 34 mm e, nas fibras longas, o comprimento é superior a 34 mm (Sestren & Lima, 2015). É importante mensurar o comprimento para definir qual tipo de produto acabado será realizado a partir das fibras; verificar as regulagens dos equipamentos de descaroçamento; definir o preço comercial das

fibras; e para permitir a regulação dos equipamentos de transformação em fiação (Bachelier & Gourlot, 2018).

A maturação, ou maturidade da fibra, corresponde à espessura da parede celular em relação ao diâmetro da fibra. Ou seja, as fibras muito maduras são aquelas que apresentam uma parede secundária bastante espessa e quase nenhum lúmen, a parede das fibras maduras apresenta uma espessura mediana e as imaturas apresentam pouco espessamento e bastante lúmen.

De acordo com a norma NBR 11913/91, a finura é medida através do micronaire, índice através do qual se verifica a resistência ao ar de uma massa fibrosa definida em fluxo de ar a uma pressão constante, ou por militex, peso em miligramas de 1000 metros de fibra. Os valores micronaire resultantes dos ensaios sofrem influências da finura e da maturidade das fibras, relacionadas à variedade da cultivar (semente) e às condições ambientais durante o cultivo do algodoeiro.

A resistência à tração é uma das características físicas mais importantes da fibra de algodão: afeta diretamente a tenacidade do fio e, indiretamente, a qualidade dos tecidos. É afetada decisivamente pelo grau de maturidade do algodão produzido e, logo, por todos os fatores que influem no processo de maturação, pois estes podem favorecer ou desfavorecer a deposição de celulose nas fibras, conferindo-lhes maior ou menor resistência (Gridi-Papp et al., 1985).

Outras características importantes são o alongamento à rotura da fibra, que significa o quanto o feixe de fibras cede ao sentido longitudinal até o momento da rotura, expresso em percentual, em função do comprimento inicial do corpo de prova; o índice de fibras curtas, que é o percentual de fibras menores que 0,50 polegadas ou 12,7 milímetros presentes nos corpos de prova, podendo ser estimado por fórmula matemática ou pela curva fibrograma; e cor, que é basicamente responsabilidade da parede secundária e da variedade do algodão. Normalmente, e dependendo da variedade, o algodão poderá ser branco, ligeiramente creme ou creme. São utilizados três índices para caracterizar a cor: grau de cor, grau de amarelamento e grau de reflectância. A reflectância (Rd %) representa uma escala que varia do branco ao cinza. Quanto maior a reflectância da fibra, menor será o seu “acinzentamento” e, portanto, maior o interesse da indústria têxtil (Lima, 2018).

O porte e arquitetura da planta são características genéticas importantes para uma cultivar de algodoeiro. As cultivares modernas têm evoluído para a redução do porte e arquitetura compacta, que estão, de certo modo, associadas à precocidade, adaptação ao manejo e aumento da produtividade, com base no aumento do número de frutos por área, em vez do número de frutos por planta (Vidal Neto & Freire, 2013).

Algumas características do capulho não interferem diretamente no desempenho quantitativo ou qualitativo da cultivar, mas são particularmente importantes, dependendo do tipo de colheita. Para a colheita manual, devem-se preferir cultivares que possuam capulhos com peso médio maior do que 6 g, mais abertos e com menor retenção da pluma, enquanto, para a colheita mecanizada, é desejável capulhos com 4,5 g a 6 g e com maior retenção da pluma, por resultarem em menores perdas e maior rendimento da colheita (Beltrão & Carvalho, 2004; Farias et al., 2008).

O número de ramos reprodutivos e o número de nós por planta também são tidos como características de relativa importância, respectivamente, para o desempenho na fase reprodutiva do algodão e para o desenvolvimento da planta e tem aproximação direta com outras características como a altura da planta e o número de ramos.

A produtividade é o caráter de maior importância econômica para o produtor e precisa ser avaliada com cuidado, por ser de natureza genética quantitativa e sofrer grande influência do ambiente, fazendo com que as diferenças observadas entre cultivares possam não ser devidas ao seu potencial genético (Vidal Neto & Freire, 2013).

#### **2.4. Déficit hídrico na cultura do algodão**

O principal fator que causa variação na produtividade das culturas na maior parte das áreas agrícolas é a água (Lopes et al., 2011; Zhang et al., 2014), pois ela condiciona as atividades fisiológicas e metabólicas das plantas. Para o algodoeiro, diversos autores como Pettigrew (2004), De Tar (2008), Brito et al. (2011), Wen et al. (2013) e Zonta et al. (2017), têm demonstrado que a cultura sofre influência tanto na produtividade quanto na porcentagem e qualidade de fibras quando submetido à irrigação com déficit hídrico.

O efeito da água no crescimento do algodoeiro está diretamente relacionado a manutenção da temperatura do dossel, ou seja, a água é importantíssima para o resfriamento da planta, fornecendo condições favoráveis para a atividade enzimática. Além disso, a água apresenta importância em três processos: fornece a força para expandir as células e rigidez para as estruturas da planta; atua como solvente, já que os nutrientes do solo e metabólitos dentro da planta são dissolvidos na água e translocados pela planta no xilema e floema; é um componente (atua como substrato) nos processos essenciais biogeoquímicos (Yates, 2014).

O estresse hídrico reduz a expansão da célula e folha, o alongamento de haste e das raízes e o índice de área foliar. Além disso, o estresse hídrico encurta as fibras do algodão, ocasiona queda de flores e frutos (Baldo et al., 2009). A correlação entre queda de folhas e baixos potenciais de água na planta têm sido comumente publicados, e identificado uma relação

linear entre taxas de perda de folha e níveis impostos de estresse hídrico; contudo, a perda de folha ocorre após a aplicação do estresse e não durante (Loka et al., 2011).

Estresses causados por curtos períodos secos são bastante comuns. Por exemplo, estresse hídrico de curto prazo pode ocorrer devido a um período de clima anormalmente seco; manutenção necessária no sistema de irrigação; ou devido a necessidade de desviar a água para outra cultura em estágio crítico de crescimento (Snowden et al., 2014). Atualmente, períodos secos e curtos são frequentes, devido a mudança climática, causando consideráveis perdas de produtividade no Cerrado, a mais importante área produtora de algodão no Brasil (Zonta et al., 2017).

Por outro lado, destaca-se que, a rega com déficit hídrico controlado vem sendo uma prática difundida para reduzir o gasto da água na irrigação, a qual mantém a produtividade das culturas elevando a eficiência de uso da água, de modo a garantir o retorno da produção por unidade de água aplicada, aumentando a sustentabilidade do sistema. A aplicação regulada de pequenos déficits deve ocorrer no estágio inicial de crescimento e após a abertura dos capulhos (Zonta et al., 2017). A utilização de estratégias de irrigação como o déficit hídrico controlado, pode reduzir a utilização de água e de energia elétrica sem prejudicar a produtividade (Gava et al., 2015).

O efeito do estresse hídrico no algodoeiro depende da severidade e da duração do estresse, além do estágio de crescimento em que o estresse foi imposto e do genótipo da planta (Saini & Westgate, 1999). Diversos estudos foram realizados, mostrando que o déficit hídrico prolongado durante o ciclo de cultivo do algodão afeta o crescimento, a produtividade e a qualidade das fibras (Snowden et al., 2013; Zonta et al., 2015a; Zonta et al., 2015b). O estresse por deficiência hídrica também pode levar à diminuição do número de estruturas reprodutivas e de capulhos por plantas e da produção de algodão em caroço (Passos et al., 1987; Batista et al., 2010).

Os relatos são contraditórios para o estágio de crescimento mais sensível a maiores déficits de água. A natureza perene e padrão indeterminado de crescimento do algodão resulta na ocorrência simultânea de vários estágios de floração e frutificação. Esta ambiguidade tem contribuído para resultados conflitantes publicados na literatura (Yates, 2014; Loka et al., 2011).

O estresse durante o florescimento e no enchimento das maçãs tem provocado, mais comumente, as maiores reduções de produtividade (Yates, 2014; Dagdelen et al., 2009). De acordo com Reddell et al. (1987) e Snowden et al. (2014), o algodoeiro é mais sensível quando o déficit ocorre durante o início do florescimento, enquanto Zonta et al. (2017) concluíram que o estágio mais sensível é desde o aparecimento da primeira flor até o pico do florescimento.

Loka & Oosterhuis (2012) afirmam que a fase de desenvolvimento reprodutivo do algodoeiro é a mais sensível ao estresse hídrico. Burke (2002) concluiu em seu estudo que a fase de desenvolvimento do pólen e crescimento do tubo polínico são altamente sensíveis aos estresses ambientais. Por outro lado, inúmeras pesquisas como as de Radin et al. (1992), Cook et al. (1993) e Barreto et al. (2003) demonstraram que o período de formação das maçãs, logo após o final do florescimento, é o mais sensível ao estresse hídrico.

## **2.5. Manejo de irrigação**

O manejo da água de irrigação tem por objetivo principal manter o solo com a umidade dentro de uma faixa que permita o armazenamento de água nos poros do solo, que seja facilmente absorvida pelo sistema radicular da planta sem risco de limitação à planta, quer por excesso quer por deficiência (Coelho et al., 2012). O manejo adequado constitui uma técnica muito importante do ponto de vista econômico e ambiental numa atividade agrícola. Através de um manejo adequado da irrigação, pode-se economizar água, energia, aumentar a produtividade da cultura e melhorar a qualidade do produto.

Um bom manejo da irrigação possibilita aumentar a produção sem necessidade de aumentar as áreas de plantio. Isso pode contribuir, inclusive, para diminuir desmatamentos como é o caso da Floresta Amazônica, na qual as principais causas de desmatamento são a abertura de novas áreas para produção de soja (Gava et al., 2015). O manejo da irrigação deve iniciar-se antes mesmo do plantio, pois, para a melhor germinação das sementes, a semeadura deve ser realizada em solo úmido. A lâmina de água a ser aplicada antes da semeadura deve ser suficiente para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo na camada até 60 cm, sendo este valor dependente do tipo de solo e da umidade inicial do mesmo (Zonta et al., 2016).

Uma das principais causas do insucesso de muitos projetos de irrigação tem sido a falta de um manejo de irrigação adequado. Geralmente, por desconhecimento ou por falta de assistência técnica ou por ambos os fatores. A decisão sobre o momento apropriado e a quantidade adequada de água a ser aplicada, muitas vezes, é baseada em conceito prático do agricultor, acarretando o déficit ou o excesso hídrico para a cultura. Sabe-se que o produtor rural normalmente irriga em excesso, uma vez que teme o déficit hídrico da cultura, desse modo, a não utilização de um método adequado pode comprometer a produção (Turco et al., 2009) e resultar em perdas excessivas de água.

O déficit de água pode reduzir a produção e/ou a qualidade do produto, enquanto o excesso de irrigação, além das perdas de água e energia, pode contribuir para a lixiviação dos nutrientes e agroquímicos para as camadas inferiores do solo ou até mesmo atingindo o lençol

freático (Resende & Albuquerque, 2002). Segundo Zonta et al. (2016), irrigações baseadas apenas em observações visuais do solo e da planta podem acarretar em redução na produtividade, maior incidência de doenças e menor eficiência no uso de água, energia e nutrientes, devido às plantas serem submetidas a condições de excesso e/ou falta de água.

Os critérios usados para o manejo da água de irrigação constituem-se em uma série de recomendações referentes ao estado da água no solo, na planta e na atmosfera. Estes refletem, em última análise, a interação da planta com o meio ambiente, visando à maximização do desenvolvimento e produtividade da mesma (Coelho et al., 2012). Silva et al. (2012) relatam que o manejo da irrigação é um dos fatores indispensáveis para o avanço e sucesso na produção, tanto na produtividade como na qualidade dos frutos, os parâmetros climáticos como temperatura, umidade relativa, insolação e velocidade do vento, associado ao estágio fenológico das culturas, textura, cobertura do solo e índice de área foliar, são variáveis determinantes no cálculo da necessidade de água à cultura e a frequência de irrigação.

Existem vários métodos disponíveis para o controle da irrigação e todos apresentam vantagens e desvantagens, sendo que o poder aquisitivo e o nível tecnológico dos produtores determinam as estratégias a serem utilizadas. Os métodos baseados em medidas no solo se fundamentam na determinação do seu teor de água; os que utilizam medidas na planta consideram o monitoramento do seu potencial hídrico e avaliações da resistência estomática, da temperatura da folha, dentre outros; já os métodos baseados no clima consideram, desde simples medições da evaporação da água num tanque, como o Classe A, até complexas equações para estimativa da evapotranspiração (Rocha et al., 2003). Essas metodologias objetivam apresentar alternativas do manejo da água nas culturas irrigadas em qualquer estágio fenológico da planta. Dessa forma, torna-se oportuno o estudo de parâmetros que auxiliem na tomada de decisão.

Oliveira et al. (2010) relatam que o conhecimento da evapotranspiração das culturas (ETc) é fundamental para que se tenha um manejo adequado da irrigação, principalmente em regiões como o Semiárido nordestino, em que a escassez e a irregularidade pluviométrica são os fatores limitantes da produção agrícola.

De acordo com Zonta et al. (2016), o algodoeiro pode ser irrigado com uso de vários sistemas de irrigação, sendo os mais utilizados: o sistema por aspersão convencional, o pivô central, o gotejamento e a irrigação por sulcos. O sistema de irrigação a ser utilizado depende das condições do solo, clima, topografia, disponibilidade hídrica e do aporte financeiro e tecnológico do produtor.

A irrigação, atualmente, está sendo amplamente explorada em diversas culturas e condições edafoclimáticas distintas (Melo et al., 2010). Porém, com a limitação na

disponibilidade de água para a agricultura, os altos custos de energia (López-Mata et al., 2010; Mantovani et al., 2013) e a crescente preocupação mundial com os recursos hídricos, torna-se necessária a adoção de estratégias de manejo de irrigação. Dessa forma, é possível contribuir para a economia de água sem prejuízos a produtividade das culturas que demandam irrigação (Delazari et al., 2017).

### **2.5.1. Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e Evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>)**

O termo evapotranspiração (ET) é empregado para designar o processo de evaporação e transpiração ocorrendo simultaneamente (Rocha et al., 2011). Devido à importância desse processo e a sua complexidade, envolvendo características do solo, da vegetação e da atmosfera, muito esforço tem sido despendido por pesquisadores do mundo inteiro na compreensão e estabelecimento de métodos de estimativa desse processo e segundo Pereira & Allen (1997) a primeira citação foi efetuada por Thornthwaite, no início da década de 40.

Segundo Bernardo et al. (2006), a ET é a quantidade de água evaporada e transpirada por uma superfície vegetal, durante determinado período. Isto inclui a evaporação da água do solo, a evaporação da água depositada pela irrigação, chuva ou orvalho na superfície das folhas, e a transpiração vegetal. A ET pode ser expressa em valores totais, médios ou diários, em volume por unidade de área ou em lâmina de água, no período considerado. A quantificação da ET permite estabelecer estratégias de manejo dos recursos hídricos e edáficos de forma racional e sustentável e torna a estimativa do consumo hídrico de culturas fundamental à maximização da produção e dos lucros, assim como à redução dos impactos ambientais advindos do processo de produção agrícola.

Dentre as várias definições de ET existentes na literatura, tem-se a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), que é definida como sendo a transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera, sob condições padronizadas, ou seja, área com extensa superfície natural, totalmente coberta por vegetação baixa, de altura uniforme e com elevado índice de área foliar (IAF), de crescimento ativo na fase adulta e teor de água no solo próximo a capacidade de campo (Carvalho et al., 2011).

A ET<sub>o</sub> engloba os fenômenos físicos e fisiológicos que transformam em vapor a água presente em plantas, superfícies de solos, lagoas, rios e oceanos, sendo um processo reverso ao da precipitação (Thornthwaite, 1948; Pereira & Allen, 1997; Chang, 2002; Ward & Trimble, 2004; Kobiyama, 2009), e as principais variáveis meteorológicas que proporcionam energia para a vaporização e remoção de vapor de água, a partir de superfícies evaporantes são: radiação

solar, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, déficit de pressão de vapor e nebulosidade.

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) notou a necessidade de se padronizar um método apropriado para diferentes climas e localidades surgindo assim à equação de Penman-Monteith FAO (PM FAO 56) derivada da equação de Penman-Monteith, por ser o que apresenta os melhores resultados em comparação às medidas obtidas em lisímetros de precisão nas diversas condições climáticas. O método de Penman-Monteith combina um termo energético, o qual exprime a contribuição do saldo de energia ( $R_n$ ) no processo de evaporação, e um termo aerodinâmico, que indica a contribuição do ar na manutenção da demanda evapotranspirativa (Allen et al., 1998).

O modelo PM-FAO é a equação padrão para estimar a  $E_{To}$  na escala diária e mensal em todos os climas, e pode ser usado globalmente sem qualquer calibração local e até para estimativas horárias, devido a incorporação de parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos, sendo validada em diferentes ambientes usando medidas precisas obtidas a partir de lisímetros. O processo de cálculo pelo método padrão PM-FAO exige medições confiáveis de elementos meteorológicos tais como: temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento (Lima Júnior et al., 2016).

A evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ) difere da evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) pelo tipo de cobertura do solo, propriedade do dossel e a resistência aerodinâmica. Os efeitos das características que distinguem os cálculos da  $E_{To}$  e  $E_{Tc}$  são integrados pelo coeficiente da cultura ( $K_c$ ) (Allen et al 1998; Doorenbos & Pruitt, 1997). Os valores de  $K_c$  variam em função do estágio de crescimento da cultura, transpiração das plantas, superfície molhada do solo, condutividade hidráulica e a energia disponível para evaporação da água pelo solo.

### **2.5.2. Irrigâmetro**

O Irrigâmetro é um aparelho evapo-pluviométrico desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa para ser utilizado no manejo da irrigação, visando otimizar o uso da água na agricultura irrigada. A patente do aparelho está depositada no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome da Universidade Federal de Viçosa, sendo resultado de pesquisa desenvolvida no âmbito da universidade pública brasileira (Tagliaferre et al., 2015).

O equipamento apresenta grande potencial de uso na agricultura irrigada, pois, além de ser um equipamento simples, de fácil manuseio, ele fornece resposta prática às duas perguntas básicas do manejo de irrigação: quando e quanto irrigar. Assim, o irrigante não precisa ter conhecimentos técnicos especializados sobre irrigação (Oliveira et al., 2008).

É uma alternativa de simples operação – a qual consiste simplesmente em abertura e fechamento de válvulas nele existentes, obedecendo uma sequência predefinida – e economicamente viável aos produtores rurais, haja vista que a aplicação da lâmina necessária à cultura evita o consumo desnecessário de energia, evitando a degradação do meio ambiente e refletindo na redução dos custos de produção e aumento da produtividade e qualidade das culturas (Oliveira & Ramos, 2008).

O Irrigâmetro estima diretamente a evapotranspiração da cultura por meio da evaporação da água presente no evaporatório do aparelho e indica o valor da lâmina necessária à cultura no tubo de alimentação, o momento de irrigar na régua de manejo – ajustada de acordo com a cultura a ser irrigada e o tipo de solo – e o tempo de irrigação na régua temporal – ajustada para cada sistema de irrigação (Oliveira et al., 2008).

O aparelho tem se mostrado capaz de estimar a evapotranspiração com boa precisão, superior a um milésimo de milímetro, sendo esse processo dependente diretamente dos elementos meteorológicos e suas inter-relações, associados ao correto ajuste do aparelho (Oliveira et al., 2008; Tagliaferre et al., 2012a). Os elementos meteorológicos umidade relativa média do ar e a radiação solar global apresentam alta correlação com a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro (Oliveira et al., 2011; Tagliaferre et al., 2015; Giovanelli et al., 2016).

De acordo com Tagliaferri et al. (2012b), o Irrigâmetro pode ser indicado para utilização no manejo da água na agricultura irrigada, por apresentar resultados de estimativa de ETo semelhantes aos métodos recomendados nos Boletins FAO 24 e 56. Em estudos envolvendo a aplicabilidade da tecnologia do Irrigâmetro para obtenção direta da evapotranspiração da cultura nos diversos estádios de desenvolvimento, Tagliaferre et al. (2014) encontraram bom desempenho e ajuste dos valores diários de ETo, apresentando valor médio da lâmina de água de irrigação próxima à obtida pelo método padrão e por outros métodos consagrados na literatura.

### **2.5.3 Sensor infravermelho SmartCrop**

Os sensores da Smartcrop® System (Smartfield Inc., Lubbock, Texas, USA, <http://www.smartfield.com/>), que são termômetros infravermelhos sem fio, medem a temperatura do dossel vegetativo da cultura, possibilitando medição contínua ao longo do crescimento. O sistema Smartcrop® usa uma combinação de uma estação base, situada próxima a área experimental, e sensores sem fio de termômetros infravermelhos, instalado em campo.

Contaty (2010) utilizou o sensor Smartcrop para a irrigação de precisão no algodoeiro sob déficit hídrico. Mahan et al. (2010) concluíram que a operação sem fio é mais adequado

para aplicações de pesquisa e produção, fornecendo resolução confiável para os diversos usos do monitoramento contínuo. A temperatura do dossel, através de sensores Smartcrop, é uma ferramenta em regiões áridas como o Texas (Porter et al., 2015).

## **2.6. Uso eficiente da água na irrigação**

A eficiência do uso da água (EUA) é um dos parâmetros utilizados para quantificar a relação entre a produtividade obtida por uma cultura sob determinado volume de água aplicado (Loomis, 1983). De acordo com Farquhar & Richards (1984), a EUA é geralmente definida como a razão entre o carbono assimilado e a quantidade de água transpirada por uma cultura durante o período de crescimento. No entanto, é importante destacar que a EUA é um termo bastante flexível que pode ser expresso em várias escalas espaciais e temporais (Tambussi et al., 2007; Battie-Laclau et al., 2016).

Três diferentes abordagens têm sido propostas para caracterizar a EUA de agroecossistemas (Tallec et al., 2013): (i) EUA agronômica - é definida como sendo a razão entre a produção da biomassa (ou a colheita da produtividade) e a quantidade de água usada durante a estação de crescimento em escala de campo ou parcela; (ii) EUA do ecossistema - corresponde a integral, ou instantânea, relação entre a troca líquida de CO<sub>2</sub> no ecossistema e a evapotranspiração; e (iii) EUA na planta - representa a habilidade do dossel ou de organismos individuais da planta em assimilar carbono para uma determinada quantidade de transpiração.

Sob a perspectiva da EUA agronômica, se faz importante construir uma relação entre a produtividade das culturas e a quantidade de água requerida na produção, que na irrigação pode ser relacionado ao total de água utilizado por quilograma produzido de biomassa de interesse comercial (Paz et al., 2000; Martín et al., 2012). Zonta et al., (2017) obtiveram valores de EUA do algodoeiro, após aplicação de déficit hídrico em diferentes fases fenológicas, próximos aos valores do tratamento controle e semelhantes aos valores publicados na literatura, em tratamentos bem irrigados, que variam de 0,4 a 0,8 kg/m<sup>3</sup> (Zonta et al., 2016; Singh et al., 2010; Dagdelen et al., 2009). Zonta et al., (2015), em trabalho realizado sobre lâminas de irrigação e produtividade, concluíram que o maior valor de eficiência foi obtido com a lâmina igual a 70% da Evapotranspiração da cultura, e que a EUA reduziu com o aumento da lâmina de irrigação. Isso demonstra que a irrigação com déficit de água regulado pode ser uma boa opção para aumentar a EUA, em plantações de algodão, particularmente se feito nas fases e culturas mais tolerantes.

A EUA na planta pode ser medida em diferentes escalas, variando de medições instantâneas na folha até as mais integrativas nos níveis da planta e da cultura. A decisão sobre

a metodologia mais apropriada depende da capacidade, facilidades, e escala do específico estudo (Medrano et al., 2015). A maioria dos estudos de EUA são realizados com base de medições instantâneas da fotossíntese e transpiração, na suposição que eles são representativos da EUA da planta inteira, embora poucos trabalhos tenham avaliado a EUA a nível de planta inteira (Tomás et al., 2012; Poni et al., 2009; Tarara et al., 2011). A comparação entre valores instantâneos e da planta inteira as vezes revelam uma relação clara e direta (Flexas et al., 2010), mas as vezes não apresenta relação. Essa falta de correspondência é uma limitação importante para a aplicabilidade das pesquisas realizadas nessa área. Suas causas precisam ser esclarecidas para escalonamento da estimativa da EUA para a planta inteira.

A disponibilidade da água para consumo humano e para a prática agrícola vem sendo gradativamente reduzida tanto em qualidade como em quantidade, fazendo assim necessário o uso eficiente de água (Silva et al., 2014). Um desafio significativo da agricultura irrigada é produzir alimentos seguros, utilizando a água de forma eficiente. A “produtividade de água” (produção por unidade de água utilizada) deve ser aumentada (Du et al., 2015).

Em regiões semiáridas, a EUA é um assunto muito importante, devido ao aumento de áreas sob irrigação e da alta necessidade de água pelas culturas (que consome cerca de 70% da água disponível para os seres humanos). A escassez dos recursos hídricos está levando a crescente controvérsia sobre o uso dos recursos hídricos pela agricultura e indústria, diretamente pelos humanos, e para outros propósitos. A melhora na EUA das culturas está se tornando um objetivo principal para agricultura e segurança alimentar. Além disso, as previsões para as mudanças climáticas mostram aumentos na temperatura do ar (e conseqüentemente no aumento da evapotranspiração potencial) e maior frequência de anomalias climáticas, como longos períodos de seca e ondas de calor (IPCC, 2013; Jones & Vaughan, 2010), sendo grande parte desses fenômenos de mudanças climáticas prevaletentes nas regiões semiáridas (Vicente-Serrano, 2014).

O uso eficaz de água implica na máxima captura de umidade do solo para a transpiração que envolve também reduzida transpiração não-estomática e mínima perda de água por evaporação do solo, resultando em melhorias na condição hídrica e garantia de sucesso produtivo (Blum, 2009). O segredo é o manejo adequado do potencial de água no solo, utilizando sensores capazes de identificar os limites estabelecidos como suas capacidades mínima e máxima de retenção de água; ou medindo o fluxo de seiva das plantas, que monitora a atividade estomática, relacionada às estruturas que regulam a evapotranspiração e fazem parte do processo de fotossíntese. Essas técnicas devem estar sempre associadas a tecnologias para monitoramento climático, provendo dados de ajustes para as condições locais, permitindo manejos mais precisos.

Melhorias na EUA têm sido observadas através de mudanças nas práticas agrícolas, métodos de irrigação, desenvolvimento de cultivares e seleção da cultura com base nas condições ambientais (Howell et al., 2004). Entre as estratégias para reduzir o consumo de água na produção irrigada, destaca-se o uso mais eficiente na distribuição da água, como por exemplo, utilizar a microaspersão e gotejamento, que têm eficiência maior que 90%, ao invés de utilizar sistemas menos eficientes, como canhão autopropelido, com eficiência menor que 80%.

A simples melhora de 1 % na eficiência do uso da água de irrigação, nos países em desenvolvimento de clima semiárido ou árido, significaria uma economia de 200 mil litros de água, por agricultor, por hectare/ano. A irrigação utilizada de forma racional pode promover uma economia de aproximadamente 20 % da água e 30 % da energia consumida. Do valor relativo à energia, a economia de 20 % seria devido à não aplicação excessiva da água e 10 % devido ao redimensionamento e otimização dos equipamentos utilizados (Lima et al., 1999).

## **2.7. Efeito da temperatura no desenvolvimento do algodoeiro**

Na produção agrícola, muitos são os fatores influentes na produtividade, tais como: variações de temperatura do ar, período e intensidade de chuva, práticas culturais, características do solo e da cultura. Estima-se que as constantes variações climáticas ano após ano, somando-se ainda o aumento da temperatura, resultem em perdas significativas na agricultura. Segundo o IPCC (2014), as condições de temperatura do ar nas próximas décadas serão diferentes das atuais. A previsão é de que a temperatura média global aumente entre 0,3°C (cenário otimista) e 4,8°C (cenário pessimista) até o ano de 2100. Portanto, compreender as respostas agronômicas a temperatura é vital no suporte a tomada de decisões dos produtores e governantes.

No crescimento da planta de algodão, o principal fator ambiental que influencia no crescimento e maturidade é a temperatura (Baker, 1965; Bibi et al., 2008). As temperaturas cardinais para o desenvolvimento e crescimento do algodoeiro são em torno de 12 a 15°C (temperatura mínima) e entre 20 e 30°C (temperatura ótima) (Reddy et al., 1991). No entanto, é comum o algodoeiro ser cultivado em regiões com temperaturas abaixo de 15°C (ex. EUA - período de emergência) e acima de 40°C (ex. Índia).

A produtividade e o crescimento do algodão são severamente afetados pelas baixas temperaturas, especialmente na germinação e emergência (Ashraf, 2002). Redução no crescimento e desenvolvimento de processos, lesões por frio e maturação tardia do algodão podem ser atribuídos a baixas temperaturas (Bange et al., 2004).

O futuro da produção de algodão deverá ocorrer sob um aumento de múltiplos estresses abióticos, incluindo altas temperaturas extremas e prolongadas (Timothy & Michael, 2014), e embora o algodoeiro seja considerado uma espécie que tem a capacidade de manter a temperatura da planta bem abaixo da temperatura ambiente, as temperaturas foliares podem variar substancialmente em escalas curtas de tempo. O crescimento, desenvolvimento de maçãs, floração e características de qualidade da fibra são bastante influenciados pelas altas temperaturas (Khan et al., 2014; Saifullah et al., 2015). Estresses causados por altas temperaturas causam impactos negativos nas propriedades das sementes e na frutificação (Oosterhuis, 1999). Os efeitos das condições de estresse na altura da planta, número de internódios, número de ramos simpodiais, número de ramos monopodiais e número de sementes por capulho no algodão dependem da duração e intensidade do estresse causado pelas altas temperaturas (Ekinci et al., 2017).

A temperatura máxima diária deve ser, para o crescimento vegetativo e período de florescimento, respectivamente, de 21 a 27°C e 27 a 32°C (Waddle, 1984; Reddy, 1996), sendo o período do florescimento o mais sensível para as altas temperaturas. Segundo Snider & Oosterhuis (2012), o desenvolvimento reprodutivo é possivelmente a fase mais sensível ao estresse térmico. Snider et al. (2011) demonstraram que as estruturas reprodutivas (pistilo da flor) podem apresentar temperaturas mais quentes que a do ambiente, o que pode agravar os impactos negativos da ocorrência de temperaturas altas durante a fase de frutificação do algodoeiro. Esse fato está relacionado à alta sensibilidade do algodoeiro na fase de desenvolvimento das flores, quando inúmeros processos, como o desenvolvimento do pólen e fertilização, são inibidos mesmo com aumentos moderados nas temperaturas (> 32°C) (Burke et al., 2004; Kakani et al., 2005; Oosterhuis & Snider, 2011; Snider et al., 2011; Snider & Oosterhuis, 2012).

## **2.8. Temperatura do dossel e graus dias acumulados em algodoeiro**

A temperatura do dossel é uma medida direta da energia que está sendo liberada pela planta, sendo considerada uma das melhores formas de diagnóstico do potencial hídrico da mesma. Endres et al. (2010) sugerem que a relação entre temperatura do dossel e o ambiente pode ser usada como indicador das condições hídricas da planta o qual, devidamente obtido, pode ser utilizado para indicar o estresse térmico.

Segundo Bockhold et al. (2011), a temperatura do dossel pode ser usada para quantificar o estresse hídrico das plantas, uma vez que as plantas em condições não estressadas transpiram eficientemente mantendo a temperatura dentro de um intervalo ótimo. Além da temperatura do

dossel, o estresse hídrico pode alterar o balanço de energia, a transpiração, a fotossíntese, o uso eficiente da água e o rendimento da cultura (Li et al., 2010).

A temperatura do dossel é uma função da temperatura do ar, intensidade de radiação, do conteúdo de água da folha, velocidade do ar, assim como dimensões e ângulo de orientação da folha em relação à radiação incidente (Ansari & Loomis, 1959). As plantas ao entrarem em estresse, apresentam elevação de temperatura do dossel, e assim como os animais em estresse fisiológico, sinalizam que algo está errado naquele organismo.

De acordo com Wanjura et al. (1995) e Mahan et al. (2005), a temperatura média do dossel vegetativo, dentro do intervalo ótimo para funções fisiológicas do algodão e características bioquímicas, é 28°C. Bockhold et al. (2011) encontraram valor de 28,5°C para tratamento com algodão bem irrigado e com déficit hídrico. No entanto, Mahan et al. (2014) encontraram valor de 23,1°C para algodão bem irrigado e 25,7°C para algodão em sequeiro sob déficit hídrico.

O desenvolvimento de termômetros a infravermelho portáteis e de baixo custo, no início dos anos 70, permitiu o aumento das pesquisas sobre o uso de sensores remotos para a medição da temperatura do dossel vegetativo e sobre a detecção de ocorrência de estresse hídrico (Garcia et al., 2000). Entre as vantagens da termometria por infravermelho estão a relativa facilidade de uso, a rapidez nas medições e o fato de ser um método não destrutivo (Kirkhan, 2004). Por exemplo, tem-se o sensor SmartCrop®, cujo sistema usa uma combinação de sensores sem fio de termômetros infravermelhos instalados no campo e uma estação base, situada próxima a área experimental, para coleta contínua de dados. O sistema SmartCrop® foi previamente descrito por Mahan & Yeater (2008) e Mahan et al. (2010).

Segundo Tanner (1963), o termômetro a infravermelho mede a radiação emitida pelas plantas e relaciona esta radiação com a temperatura das folhas, por intermédio da lei de Stefan-Boltzmann, que mostra que quando a temperatura de uma folha exposta à radiação solar se eleva, a energia infravermelha que esta emite também aumenta. Assim, a medida da temperatura radiativa pode ser convertida na temperatura da planta com um pequeno erro.

As três principais vantagens da técnica da termometria a infravermelho são: a rapidez nas medições, a relativa facilidade de uso e o fato de não ser um método destrutivo, possibilitando o contínuo monitoramento em tempo real do estado térmico da cultura. O uso de termômetros e sensores a infravermelho no monitoramento da temperatura do dossel das plantas é capaz de gerar respostas rápidas e não destrutivas, sinalizando ao operador o nível de estresse, o índice de estresse hídrico e a taxa de evapotranspiração das plantas (Mahan et al, 2014).

O monitoramento da temperatura do dossel vegetativo é uma confiável alternativa de obter os graus-dia acumulados no algodoeiro, especialmente sob condições de estresse hídrico,

já que na prática, usa-se a temperatura do ar, que não reflete as mudanças fisiológicas e metabólicas da planta, como o fechamento estomático e a redução da transpiração (Reddall et al., 2007; Mahan et al., 2014).

Os graus-dia são unidades térmicas ou exigência térmica das culturas, que representam o acúmulo diário de energia, acima da condição mínima e abaixo da máxima exigida pela planta (Souza et al., 2009). O conceito de graus-dia parte do seguinte princípio: o desenvolvimento de uma espécie vegetal está relacionado com o meio em cada fase fenológica ou no ciclo da cultura e é controlado a partir da soma térmica diária necessária para cada estágio (Renato et al., 2013).

Graus-dia têm sido utilizados para predição do desenvolvimento de culturas e ajudado, entre outras coisas, na seleção de variedades e no tempo de irrigação (Viator et al., 2005). Os valores de graus-dia são diferentes entre as variedades de plantas (Schöffel & Volpe, 2001), como também os métodos de cálculo (Ometto, 1981; Snyder, 1985; Dufault, 1997). Peng et al. (1989) e Mahan et al. (2014) observaram que os graus-dia acumulados na cultura do algodão é mais útil em áreas irrigadas bem manejadas e menos útil em áreas onde ocorre déficit hídrico.

A medida contínua da temperatura do dossel fornece uma excelente resolução da condição hídrica durante todos os estágios fisiológicos de desenvolvimento (Mahan et al., 2012), possibilitando o cálculo dos graus dias acumulados. Bange et al. (2010) concluíram que o período de espessamento da fibra do algodão ocorre no intervalo entre 926 e 1112 graus-dia acumulados, e durante esse período a temperatura causa maior efeito no índice micronaire da fibra. Mahan et al. (2014) encontraram variações no período de espessamento da fibra entre 14 e 33 dias, com os menores valores sendo encontrados para os tratamentos com estresse hídrico. Esse encurtamento do período de espessamento da fibra também pode resultar em problemas de micronaire (Haigler et al., 1991; Roberts et al., 1992), degradando a qualidade da fibra, o que mostra a importância de evitar estresse hídrico nesse estágio.

## REFERÊNCIAS

- Aguiar Neto, Pedro Pita. Fibras têxteis. Rio de Janeiro: SENAI CETIQT, v.2, 1996. 293p.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M.; Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANA. Agência Nacional das Águas. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2013. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/ANA\\_Conjuntura\\_Recursos\\_Hidricos\\_Brasi/ANA\\_Conjuntura\\_Recursos\\_Hidricos\\_Brasil\\_nov.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasi/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil_nov.pdf)>. Acesso em: 25 jun. 2018.
- Ansari, A. Q.; Loomis. Leaf temperatures. American Journal of Botany, v.46 p 713-717, 1959.
- Araújo, A. E.; Silva, C. A. D.; Freire, E. C. Cultura do algodão herbáceo na agricultura familiar. Campina Grande PB, 2003.
- Araújo, L. F. de; Bertini, C. H. C. de M.; Bleicher, E.; Vidal Neto, F. das C.; Almeida, W. S. de. Características fenológicas, agronômicas e tecnológicas da fibra em diferentes cultivares de algodoeiro herbáceo. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 8, n.3, p.448-453, 2013.
- Associação Matogrossense Dos Produtores De Algodão - AMPA. História do Algodão. Disponível em: [http://www.ampa.com.br/site/qs\\_historia.php](http://www.ampa.com.br/site/qs_historia.php). Acesso em: 04 fev. 2017.
- Ashraf, M. Salt tolerance of cotton: some new advances. Critical Reviews in Plant Science, v.21, n.1, p.1-30, 2002.
- Bachelier, B.; Gourlot, J-P. A fibra de algodão: origem, estrutura, composição e caracterização. In: Belot, J-L (Ed). Manual de qualidade de fibra da AMPA. Cuiabá: AMPA; IMAmt, 2018, p. 28-57.
- Baker, D. N. The effects of certain environmental factors on net assimilation in cotton. Crop Science, v.5, p.53-56, 1965.
- Baldo, R.; Scaloni, S. de P. Q.; Rosa, Y. B. C. J.; Mussury, R. M.; Betoni, R.; Barreto, W. dos S. Comportamento do algodoeiro cultivar Delta Opal sob estresse hídrico com e sem aplicação de bioestimulante. Ciência e Agrotecnologia, vol.33, Edição Especial, p.1804-1812, 2009.
- Bange, M. P.; Constable, G. A.; Johnston, D. B.; Kelly, D. A method to estimate the effects of temperature on cotton micronaire. Journal of Cotton Science, v.14, n.3, p.164-172, 2010.
- Bange M. P.; Milroy, S. P.; Thongbai, P. Growth and yield of cotton in response to waterlogging. Field Crops Research, v.88, p.129-142, 2004.
- Barreto, A. N.; Amaral, J. A. B. do.; Sousa, E. F. de. Avaliação da demanda hídrica das culturas irrigadas: estudo de caso - algodão herbáceo, amendoim, girassol e côco. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. 14 p. (Circular Técnica, 73).

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

Battie-Laclau, P.; Delgado-Rojas, J. S.; Christina, M.; Nouvellon, Y.; Bouillet, J.; Piccolo, M. de C.; Moreira, M. Z.; Gonçalves, J. L. de M.; Roupsard, O.; LAclau, J. Potassium fertilization increases water-use efficiency for stem biomass production without affecting intrinsic water-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. *Forest Ecology and Management*, v.364, p.77-89, 2016.

Beltrão, N. E. M.; Azevedo, D. M. P. de (Org.). *O agronegócio do algodão no Brasil*. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.1, p.31-60.

Beltrão, N. E. M.; Carvalho, L. P. de. Algodão colorido no Brasil, e em particular no Nordeste e no Estado da Paraíba. Campina Grande: Embrapa Algodão. Documentos, 128. 2004. 18p.

Beltrão, N. E. M. Clima regula produção e qualidade da fibra do algodoeiro. *Visão Agrícola*. Piracicaba, p. 76-77, v.6, 2006.

Beltrão, N. E. M. *Fisiologia da Produção do Algodoeiro*. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006b. 8p. (Circular Técnica, 94).

Bernardo, S. *Manual de irrigação*. 6 ed. Viçosa, MG: Editora UFV. 2006. 596p.

Bibi, A. C.; Oosterhuis, D. M.; Gonias, E. D. Photosynthesis, quantum yield of photosystem II and membrane leakage as affected by high temperatures in cotton genotypes. *Journal of Cotton Science*, v.12, p.150-159, 2008.

Blum, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, v.112, n. 26, p. 119–123, 2009.

Bockhold, D. L.; Thompson, A. L.; Sudduth, K. A.; Henggeler, J. C. Irrigation scheduling based on crop canopy temperature for humid environments. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v.54, n.6, p.2021-2028, 2011.

Bonomo, D, Z.; Bonomo, R.; Partelli, F. L.; Souza, J. M.; Magiero, M. Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro Conilon submetido a diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, v.7, n.2, p. 157-169, 2013.

Borém, A.; Freire, E. C. *Algodão: do plantio à colheita*. 1ª ed. Viçosa: UFV, 2014. 312p.

Brito, G. G.; Sofiatti, V.; Lima, M. M. de A.; Carvalho, L. P. de; Silva Filho, J. L. da. Physiological traits for drought phenotyping in cotton. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.33, n.1, p.117-125, 2011.

Brown, H. B. *Cotton*. 3ª ed. New York, McGraw-Hill. 1958. 592p.

Burke, J. J. Moisture Sensitivity of Cotton Pollen. *Agronomy Journal*, v.94, n.4, p.883-888, 2002.

- Burke, J. J.; Velten, J.; Oliver, M. J. In vitro analysis of cotton pollen germination. *Agronomy Journal*, v.96, p.359-368, 2004.
- Carvalho, I. R.; Korcelski, C.; Pelissari, G.; Hanus, D. A.; Rosa, G. M. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 17, p. 969–985, 2013.
- Carvalho, J. de A.; Rezende, F. C.; Aquino, R. F.; Freitas, W. A. de; Oliveira, E. C. Análise produtiva e econômica do pimentão-vermelho irrigado com diferentes lâminas, cultivado em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.569-574, 2011.
- Carvalho, L. P.; Costa, J. N.; Freire, E. C.; Farias, F. J. C. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de algodoeiro originários de materiais silvestres. *Revista Ceres*, v.47, n.271, p.303-310, 2000.
- Chang, M. *Forest hydrology: An introduction to water and forests*. USA: CRC Press, 2002. 373 p.
- Coelho, E. F.; Silva, A. J. P. da; Marouelli, W. A.; Costa, F. da S. Manejo da água de irrigação. In: Coelho, E. F. (Ed.). *Irrigação da bananeira*. Brasília: Embrapa, 2012. p.191-275.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra brasileira de Grãos, v.5, Safra 2017/2018 – N.10 – Décimo levantamento, Brasília, p.1-178. Jul. 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 05 jan. 2018.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, v.4 Safra 2016/17 – N.12 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p.1-158. Setembro 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 05 jan. 2018.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos. Décimo segundo Levantamento, Setembro - 2019. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 11 set. 2019.
- Cook, C. G.; El-Zik, K. M. Fruiting of cotton and lint yield of cotton cultivars under irrigated and non-irrigated conditions. *Field Crops Research*, v.33, n.4, p.411-421, 1993.
- Constable GA, Bange MP. The yield potential of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crop Research*, v.182, p.98–106, 2015.
- Dagdelen, N.; Basal, H.; Yilmaz, E.; Gurbuz, T.; Akcay, S. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. *Agricultural Water Management*, v.96, n.1, p.111–120, 2009.
- Delazari, F. T.; Ferreira, M. G.; Silva, G. H. da; Dariva, F. D.; Freitas, D. S. de; Nick, C. Eficiência no uso da água e acúmulo de matéria na batata-doce em função de lâminas de irrigação. *Irriga*, v.22, n.1, p.115-128, 2017.
- De Tar, W. R. Yield and growth characteristics for cotton under various irrigation regimes on sandy soil. *Agricultural water management*, v.95, n.1, p.69-76, 2008.

- Doorenbos, J.; Pruitt, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Roma: FAO, 1977. 144 p. Irrigation and Drainage Paper, 24.
- Dufault, R. J. Determining heat unit requirements for broccoli in coastal South Carolina. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.122, n.2, p.169-174, 1997.
- Du, T.; Kang, S.; Zhang, J.; Davies, W. J. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. *Journal of Experimental Botany*, v.66, n.8, p.2253-2269, 2015.
- Ekinci, R.; Barsag, S.; Karademir, E.; KarademiR, C. The effects of high temperature stress on some agronomic characters in cotton. *Pakistan Journal of Botany*, v.49, n.2, p.503-508, 2017.
- Echer, F. R.; Rosolem, C. A.; Raphael, J. P. A. Desenvolvimento da planta e qualidade da fibra. In: Belot, J-L. (Ed). Manual de qualidade da fibra da AMPA. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão – IMAmt, p.206-237, 2018.
- Echer, F. R.; Custódio, C. C.; Hosomi, S. T.; Dominato, J. C.; Machado Neto, N. B. Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, n.4, p.638-645, 2010.
- Endres, L.; Souza, J. L.; Teodoro, L.; Marroquim, P. M. G.; Santos, C. M.; Brito, J. E. D. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.11-16, 2010.
- Farias, F. J. C.; Freire, E. C.; Beltrão, N. E. de M.; Bélot, J. L. Caracteres de importância econômica no melhoramento do algodoeiro. In: Beltrão, N. E. de M.; Azevedo, D. M. P. de. (Ed.). O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.1, p. 413-429.
- Farquhar, G. D.; Richards, R. A. Isotopic Composition of Plant Carbon Correlates with Water-Use Efficiency of Wheat Genotypes. *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 11, n. 6, p. 539-552, 1984.
- Flexas, J.; Galmés, J.; Gallé, A.; Gulias, J.; Pou, A.; Ribas-carbó, M.; Tomàs, M.; Medrano, H. Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, v.16, n.1, p.106-121, 2010.
- Freire, E. C. (Ed.). Título: Algodão no Cerrado do Brasil. Edição: 2. ed. 2011.
- Garcia, A.; Andre, R. G. B.; Ferreira, M. I.; Paço, T. Comparação de modelos para avaliação do estresse hídrico em cultura de nectarinas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.8, n.1, p.43-48, 2000.
- Gava, R.; Frizzone, J. A.; Snyder, R. L.; Jose, J. V.; Fraga Junior, E. F.; Perboni, A. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.9, n.6, p.349-359, 2015.
- Giovanelli, L. B.; Oliveira, R. A. de.; Oliveira Filho, J. da C.; Sedyama, G. C.; Cecon, P. R.; Baptistini, J. C. M. Influência de elementos meteorológicos na evapotranspiração estimada pelo irrigômetro. *Irriga*, v.21, n.1, p.58-73, 2016.

Gridi-Papp, I. L. Botânica e genética. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE POTASSA. Cultura e adubação do algodoeiro. São Paulo, 1965. p.117-160.

Grid-Papp, I. L.; Kondo, J. I.; Sabino, N. P.; Fuzzato, M. G. Resistência intrínseca da fibra de algodão determinada através da correção do índice Presley, Revista Bragantia, Campinas, v. 44, n. 2, p. 587-598, 1985.

Haigler, C. H.; Rao, N. R.; Roberts, E. M.; Huang, J. Y.; Upchurch, D. R.; Trolinder, N. L. Cultured ovules as models for cotton fiber development under low temperatures. Plant Physiology, v.95, n.1, p.88-96, 1991.

Hearn, A. B.; Constable, G. A. Cotton. In: Goldsworthy, P. R.; Fisher, N. M. (Ed.). The Physiology of tropical field crops. New York: John Wiley, 1984. p.495-527.

Howell, T. A.; Evett, S. R.; Tolk, J. A.; Schneider, A. D. Evapotranspiration of Full-, Deficit-Irrigated, and Dryland Cotton on the Northern Texas High Plains. Journal of Irrigation and Drainage Engineering © ACSE. v.130, p.277–285, 2004.

IPCC, Climate change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, University Press, Cambridge and New York, 1535p. 2013.

Jerônimo, J. F.; Almeida, F. de A. C.; Silva, O. R. R. F. da; Brandão, Z. N.; Sofiati, V.; Gomes, J. P. Qualidade da semente e fibra de algodão na caracterização do descaroçador de 25 serras. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, n.6, p.664-671, 2014.

Jones, H. G.; Vaughan, R. A. Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques, and Applications, Oxford University Press, Oxford, 2010.

Kakani, V. G.; Reddy, K. R.; Koti, S.; Wallace, T. P.; Prasad, P. V. V.; Reddy, V. R.; Zhao, D. Differences in vitro pollen germination and pollen tube growth of cotton cultivars in response to high temperature. Annals of Botany, v.96, p.59-67, 2005.

Khan, N.; Azhar, F. M.; Khan, A. A.; Ahmad, R. Measurement of canopy temperature for heat tolerance in upland cotton: variability and its genetic basis. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, v.51, n.2, p.359-365, 2014.

Kirkhan, M. B. Principles of soil and water plant relations. Elsevier Academic Press, 2004. 500p.

Kobiyama, M. Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais. 2.ed. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/LabHidro, 2009. 263p.

Li, L.; Nielsen, D. C.; Yu, Q.; Ma, L.; Ahuja, L. R. Evaluating the Crop Water Stress Index and its correlation with latent heat and CO<sub>2</sub> fluxes over winter wheat and maize in the North China plain. Agricultural Water Management, v.97, p.1146-1155, 2010.

Lima, D. P.; Sediya, G. C.; Andrade, R. G.; Lopes, V. D.; Silva, B. B. Evapotranspiração real diária em sub-bacias do Paracatu, utilizando produtos do sensor Modis. Revista Ceres, v.61, n.1, p.17–27, 2014.

Lima, J. E. F. W.; Ferreira, R. S. A.; Christofidis, D. O uso da irrigação no Brasil: O estado das águas no Brasil. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999. Disponível em: <<http://www.iica.org.uy>>. Acesso em: 01/09/2018.

Lima Junior, J. C.; Arraes, F. D. D.; Oliveira, J. B.; Nascimento, F. A. L.; Macêdo, K. G. Parametrização da equação de Hargreaves e Samani para estimativa da evapotranspiração de referência no Estado do Ceará, Brasil. *Revista Ciência Agronômica*, v.47, p.447-454, 2016.

Loka, D. A.; Oosterhuis, D. M.; Ritchie, G. L. Water-Deficit Stress in Cotton. In: Oosterhuis, D. M. *Stress Physiology in Cotton*. The Cotton Foundation. Cap. 3, p.37-72. 2011.

Loka, D. A.; Oosterhuis, D. M. Water stress and reproductive development in cotton. In Oosterhuis, D. M.; Cothren, J. T. (Eds.). *Flowering and Fruiting in Cotton*. Cordova: The Cotton Foundation, Cap. 5, p. 51-58, 2012.

Loomis, R. S. Crop manipulations for efficient use of water: An overview. In: Taylor, H. M.; Jordan, W. R.; Sinclair, T. R. *Limitations to efficient water use in crop production*. (ed). American Society of Agronomy, Crop Society of America, and Soil Science Society of America, p.345-374, 1983.

Lopes, A. S.; Oliveira, G. Q.; Filho, S. N. S.; Goes, R. J.; Camacho, M. A. Manejo de irrigação e nitrogênio no feijoeiro comum cultivado em sistema plantio direto. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n.1, p.51-56, 2011.

López-Mata, E.; Tarjuelo, J. M.; Juan, J. A.; Ballesteros, R.; Domínguez, A. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. *Agricultural Water Management*. v.98, p.190-198, 2010.

Mahan, J. R.; Burke, J. J.; Wanjura, D. F.; Upchurch, D. R. Determination of temperature and time thresholds for BIOTIC irrigation of peanut on the Southern High Plains of Texas. *Irrigation Science*, v.23, n.4, p.145-152, 2005.

Mahan, J. R.; Conaty, W.; Neilsen, J.; Payton, P.; Cox, S.B. Field performance in agricultural settings of a wireless temperature monitoring system based on a low-cost infrared sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.71, n.2, p.176-181, 2010.

Mahan, J. R.; Yeater, K. M. Agricultural applications of a low-cost infrared thermometer. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.64, n.2, p.262-267, 2008.

Mahan, J. R.; Young, A.; Payton, P.; Bange, M.; Stout, J. Effect of Differential Irrigation on Accumulation of Canopy Temperature-Based Heat Units in Cotton. *The Journal of Cotton Science*, v.18, n.2, p.129-136, 2014.

Mantovani, E. C; Delazari, F. T.; Dias, L. E.; Assis, I. R.; Vieira, G. H. S.; Landim F. M. Eficiência no uso da água de duas cultivares de batata-doce em resposta a diferentes lâminas de irrigação. *Horticultura Brasileira*. v.31, p.602-606, 2013.

Martin, T. N.; Dourado-Neto, D.; Vieira-Junior, P. A.; Pereira, A. R.; Manfron, P. A.; Christoffoleti, P. J. Modified crop model estimation of depleted and potential soybean yield. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v.34, n.4, p.369-378, 2012.

Medrano, H.; Tomás, M.; Martorell, S.; Flexas, A.; Hernández, E.; Rosselló, J.; Pou, A.; Escalona, J. M.; Bota, J. From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. *The Crop Journal*. v.3, n.3, p.220-228, 2015.

Melo, A. S. de; Suassuna, J. F.; Fernandes, P. D.; Brito, M. E. B.; Suassuna, A. F.; Aguiar Netto, A. de O. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.32, p73-79, 2010.

Oliveira, E. M.; Oliveira, R. A.; Sediya, G. C.; Cecon, P. R.; Drumond, L. C. D. Análise do coeficiente e o desempenho do Irrigâmetro e a influência dos elementos do clima na estimativa da evapotranspiração. *Engenharia na Agricultura*, v.19, n.4, p.348-360, 2011.

Oliveira, G. M.; Leitão, M. M. V. B. R.; Almeida, A. C. Determinação da evapotranspiração e dos coeficientes de cultura para as diferentes fases de desenvolvimento do melão (*Cucumis melo* L.) na região norte da Bahia. *Revista Verde*, v.5, p.142–151, 2010.

Oliveira, R. A.; Tagliaferre, C.; Sediya, G. C.; Materam, F. J. V.; Cecon, P. R. Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.2, p.166-173, 2008.

Oliveira, R. A.; Ramos, M. M. Manual do Irrigâmetro. Viçosa, MG: UFV, 2008. 144p.

Ometto, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.

Oosterhuis, D. M. Growth and development of cotton plant. In: Cia, E.; Freire, E. C.; Santos, W. J. dos. (Ed.). *Cultura do algodoeiro*. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p.35-55.

Oosterhuis, D. M.; Snider, J. L. High temperature stress on floral development and yield of cotton in Oosterhuis, D. M. (ed.) *Stress physiology in cotton*. Cotton Foundation, 2011.

Passos, S. M. G.; Canéchio, V. F.; José, A. Principais culturas. 2.ed. São Paulo: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1987. 512p.

Paz, V. P. S.; Teodoro, R. E. F.; Mendonça, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

Peng, S.; Krieg, D.; Hicks, S. Cotton lint yield response to accumulated heat units and soil water supply. *Field Crops Research*, v.19, n.4, p.253-262, 1989.

Pereira, L. S.; Allen, R. G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. *Revista Engenharia Agrícola*, v.16, n.4, p.118-43,1997.

Pettigrew, W. T. Moisture deficit effects on cot-ton lint yield, yield components, and boll distribution. *Agronomy Journal*, v.96, n.2, p.377-383, 2004.

Poni, S.; Bernizzonia, F.; Civardia, S.; Gattia, M.; Porro, D.; Caminc, F. Performance and water-use efficiency (single-leaf vs. whole-canopy) of well-watered and half-stressed split-root Lambrusco grapevines grown in Po Valley. *Agriculture Ecosystem & Environment*, v.129, p.97–106, 2009.

- Ramos, A. M.; Santos, L. A. R.; Fortes, L. T. G. Normais climatológicas do Brasil 1961-1990. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia. 2009. 465p.
- Radin, J. W.; Reaves, L. L.; Mauney, J. R.; French, O. F. Yield enhancement by frequent irrigation during fruiting. *Agronomy Journal*, v.84, n.4, p.551-557, 1992.
- Reddall, A. A.; Wilson, L. J.; Gregg, P. C.; Sadras, V. O. Photosynthetic response of cotton to spider mite damage: interaction with light and compensatory mechanisms. *Crop Science*, v.47, n.5, p.2047-2057, 2007.
- Reddell, D.; Prochaska, J.; Cudrak, A. Sequential water stress in cotton: A stress day index model. St. Joseph: ASAE, 1987. 24p.
- Reddy, R. K. Weather and Cotton Growth, Present and Future. Office of Agricultural Communications, Division of Agriculture, Forestry and Veterinary Medicine, v.1061, 23p, 1996.
- Reddy, V. R.; Reddy, K. R.; Baker, D. N. Temperature effects on growth and development of cotton during the fruiting period. *Agronomy Journal*, v.83, p.211-217, 1991.
- Renato, N. S.; Lopes Silva, J. B.; Sedyama, G. C.; Pereira, E. G. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.28, n.4, p.382-388, 2013.
- Resende, M.; Albuquerque, P. E. P. de. Métodos e estratégias de manejo de irrigação. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 10p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica., 19).
- Richetti, A.; Melo Filho, G. A. Aspectos sócios econômicos do Algodoeiro. In: EMBRAPA AGROPECUARIA OESTE. Algodão: tecnologia de produção. Dourados: Embrapa Agropecuaria Oeste; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. p. 13-34.
- Roberts, E. M.; Rao, N. R.; Huang, J. Y.; Trolinder, N. L.; Haigler, C. H. Effects of cycling temperatures on fiber metabolism in cultured cotton ovules. *Plant Physiology*, v.100, n.2, p.979-986, 1992.
- Rocha, E. J. T.; Evangelista, S. R. M.; Fuck Júnior, S. C. F.; Gondim, R. S. Estimativa da ETo pelo modelo Penman-Monteith FAO com dados mínimos integrada a um Sistema de Informação Geográfica. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n.1, p.75-83, 2011.
- Rocha, O. C.; Guerra, A. F.; Azevedo, H. M. de. Ajuste do modelo Christiansen- Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n. 2, p.263-268, 2003.
- Sabino, N. P.; Gridi-Papp, L. L.; Grossi, J. M. M. Correlações entre a maturidade da fibra e outros caracteres econômicos do algodoeira. *Bragantia*: Campinas, v.35, n.2, p.375-379, 1976.
- Saifullah, A.; Rajput, M. T.; Khan, M. A.; Sial, M. A.; Tahir, S. S. Screening of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes for heat tolerance. *Pakistan Journal of Botany*, v.47, n.6, p.2085-2091, 2015.

- Saini, H. S.; Westgate, M. E. Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy*, v.68, p.59-96, 1999.
- Santos, R. F. dos; Koury, J.; Santos, J. W. O Agronegócio do algodão: crise e recuperação no mercado brasileiro da matéria-prima agrícola. In: Beltrão, N. E. de M.; Azevedo, D. M. P. de (Org.). *O agronegócio do algodão no Brasil*. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.1, p.31-60.
- Saranga, Y.; Menz, M.; Jiang, C-X.; Robert, J. W.; Yakir, D.; Andrew, H. P. Genomic dissection of genotype X environment interactions conferring adaptation of cotton to arid. *Genome Research*. v.11, p.1988–1995, 2001.
- Schöffel, E. R.; Volpe, C. A. Relação entre a soma térmica efetiva e o crescimento da soja. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 89-96, 2002.
- Sestren, J. A.; Lima, J. J. Características e classificação da fibra de algodão. In: Freire, E. C. (Ed.) *Algodão no cerrado do Brasil*. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. 3.ed. Brasília: Positiva, 2015, p.653-750.
- Silva, J. L. de A.; Medeiros, J. F. de; Alves, S. S. V.; Oliveira, F. de A. de; Silva junior, M. J. da; Nascimento, I. B. de. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.66-72, 2014.
- Silva, T. G. F.; Moura, M. S. B.; Zolnier, S.; Soares, J. M.; Vieira, V. J. S.; Walter Junior, G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.1, p.64-71, 2012.
- Singh, Y.; Rao, S. S; Regar, P. L. Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, v.97, n.7, p.965-970, 2010.
- Snider, J. L.; Oosterhuis, D. M. Heat stress and pollen-pistil interactions. In: Oosterhuis, D. M.; Cothren, J. T. (Eds.). *Flowering and Fruiting in Cotton*. Memphis: The Cotton Foundation, p. 59-78, 2012.
- Snider, J. L.; Oosterhuis, D. M.; Kawakami, E. M. Diurnal pollen tube growth rate is slowed by high temperature in field-grown *Gossypium hirsutum* pistils. *Journal of Plant Physiology*, v.168, p.441-448, 2011.
- Snowden, C.; Ritchie, G. L.; Simão, F. R.; Bordovsky, J. P. Timing of episodic drought can be critical in cotton. *Agronomy Journal*, v.106, n.2, p.452-458, 2014.
- Snowden, C.; Ritchie, G.; Thompson, T. Water use efficiency and irrigation response of cotton cultivars on subsurface drip in west Texas. *The Journal of Cotton Science*, Baton Rouge, v.17, n.1, p.1-9, 2013.
- Snyder, R. L. Hand calculating degree days. *Agriculture and Forest Meteorology*, v.35, n.1-4, p.353-358, 1985.

- Souza, A. P.; Silva, A. C.; Leonel, S.; Escobedo, J. F. Temperaturas basais e soma térmica para a figueira podada em diferentes épocas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.31, n.2, p.314-322, 2009.
- Tagliaferre, C.; Paula, A. de; Rocha, F. A.; Campos, W. V.; Guimarães, D. U. Influência dos elementos meteorológicos na evapotranspiração de referência estimada utilizando-se o Irrigâmetro no município de Guanambi-BA. *Engenharia na Agricultura*, v.23, p.251-260, 2015.
- Tagliaferre, C.; Santos, L. C.; Neto, I. J. S.; Santos, T. J.; Rocha, F. A.; Guimarães, D. U. Estimativa da evapotranspiração de referência com uso do Irrigâmetro em Vitória da Conquista-BA. *Irriga*, v.17, n.1, p.28-38, 2012a.
- Tagliaferre, C.; Santos, L. C.; Santos Neto, I. J.; Santos, T. J.; Rocha, F. A.; Silva, C. S. Ajuste e aplicação do Irrigâmetro no manejo da água de Irrigação. *Irriga*, v.19, n.1, p.61-72, 2014.
- Tagliaferre, C.; Santos Neto, I. J. dos; Cotrim, C. E.; Rocha, F. A.; Santos, L. C. Desempenho do Irrigâmetro e de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Guanambi-BA. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.20, n.6, p.544-553, 2012b.
- Taiz, L.; Zeiger, E. Møller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.
- Tallec, T.; Béziat, P.; Jarosz, N.; Rivalland, V.; Ceschia, E. Crops' water use efficiencies in temperate climate: Comparison of stand, ecosystem and agronomical approaches. *Agricultural & Forest Meteorology*, v.168, p.69–81, 2013.
- Tambussi, E. A.; Bort, J.; Araus, J. L. Water use efficiency in C3 cereals under Mediterranean conditions: A review of physiological aspects. *Annals of Applied Biology*, v.150, p.307–321, 2007.
- Tanner, C. B. Plant Temperatures. *Agronomy Journal*, v.55, p.201-211, 1963.
- Tarara J. M.; Peña J. E. P.; Keller M.; Schreiner R. P.; Smithyman R. P. Net carbon exchange in grapevine canopies responds rapidly to timing and extent of regulated deficit irrigation. *Functional Plant Biology*. v.38, p.386–400, 2011.
- Thornthwaite, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, v.38, n.1, p.55-94, 1948.
- Timothy, A.; Michael, A. G. Challenges and perspectives on improving heat and drought stress resilience in cotton. *The Journal of Cotton Science*, v.18, p.393-409, 2014.
- Tomàs, M.; Medrano, H.; Pou, A.; Escalona, J. M.; Martorell, S.; Ribas-Carbó, M.; Flexas, J. Water-use efficiency in grapevine cultivars grown under controlled conditions: effects of water stress at the leaf and whole-plant level. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, v.18, p.164–172, 2012.
- Turco, J. E. P.; Rizzatti, G. S.; Pavani, L. C. Custo de energia elétrica em cultura do feijoeiro irrigado por pivô central, afetado pelo manejo da irrigação e sistemas de cultivo. *Engenharia Agrícola*, v.29, n.2, p.311-320, 2009.

USDA. Cotton World Supply, Use and Trade. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/cotton-world-markets-and-trade>. Acesso em: 04 mar. 2018.

Viator, R. P.; Nuti, R. C., Edminsten, K. L., Wells, R. Predicting cotton boll maturation period using degree days and other climatic factors. *Agronomy Journal*, v.97, n.2, p.494-499, 2005.

Vicente-Serrano, S. M.; Lopez-Moreno, J. I.; Beguería, S.; Lorenzo-Lacruz, J.; Sanchez-Lorenzo, A.; García-Ruiz, J. M.; Azorin-Molina, C.; Morán-Tejeda, E.; Revuelto, J.; Trigo, R.; Coelho, F.; Espejo, F. Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in Southern Europe. *Environmental Research Letters*, v.9, n.4, p.1-9, 2014.

Vidal Neto, F. das C.; Carvalho, L. P. de. Cerrado e semi-árido requerem cultivares diferenciadas. *Visão Agrícola*, v.3, n.6, p.32-34, 2006.

Vidal Neto, F. das C.; Freire, E. C. Melhoramento genético do algodoeiro. In: Vidal Neto, F. das C.; Cavalcanti, J. J. V. (Ed.). *Melhoramento genético de plantas no Nordeste*. Brasília: Embrapa, 2013. Cap.3, p.49-83.

Waddle, B. A. Crop Growing Practices. In: Waddle, B.A. (Ed.). *Cotton*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1984, p.233-263.

Wanjura, D. F.; Upchurch, D. R.; Mahan, J. R. Control of Irrigation Scheduling Using Temperature-Time Thresholds. *Transactions of the ASAE*, v.38, n.2, p.403-409, 1995.

Ward, A.D.; Trimble, S.W. *Environmental Hydrology*. 2.ed. USA: Lewis Publishers, 2004. 475 p.

Wen, Y.; Rowland, D. L.; Piccinni, G.; Cothren, J. T.; Leskovar, D. I.; Kemanian, A. R.; Woodard, J. D. Lint yield, lint quality, and economic returns of cotton production under traditional and regulated deficit irrigation schemes in southwest Texas. *The Journal of Cotton Science*, v.17, n.1, p.10-22, 2013.

Yates, S. Efeitos do estresse hídrico na fisiologia do algodoeiro. In: Rosolem, C. A.; Kawakami, E. M.; Chiavegato, E. J.; Echer, R. F.; Brito, G. G.; Carvalho, H. Da R.; Snider, J. L.; Bogiani, J. C.; Bernardes, M. S.; Yeates, S. *O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes*. Embrapa Agropecuária Oeste. p.31-41, 2014.

Zhang, S.; Sadras, V.; Chen, X.; Zhang, F. Water use efficiency of dryland maize in the Loess Plateau of China in response to crop management. *Field Crops Research*, v.163, p.55-63, 2014.

Zonta, J. H.; Bezerra, J. R. C.; Sofiatti, V.; Farias, F. J. C.; Carvalho, L. P. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. *Revista Caatinga*, v.28, p.43-52, 2015a.

Zonta J. H.; Bezerra, J. R. C.; Sofiatti, V.; Brandão, Z. N. Yield of cotton cultivars under different irrigation depths in the Brazilian semi-arid region. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.19, n.8, p.748-754, 2015b.

Zonta, J. H.; Bezerra, J. R. C.; Pereira, J. R.; Sofiatti, V. *Manejo de Irrigação do Algodoeiro*. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016. 8p. (Circular Técnica, 139).

Zonta, J. H.; Brandão, Z. N.; Rodrigues, J. I. da. S.; Sofiatti, V. Cotton response to water deficits at different growth stages. *Revista Caatinga*, v.30, n. 4, p.980-990, 2017.

## **CAPÍTULO 2 - RESPOSTA DO ALGODOEIRO SOB SUPRESSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

### **RESUMO**

O semiárido do Nordeste Brasileiro, em particular no Estado do Rio Grande do Norte, tem como característica climática, a irregularidade temporal e espacial do seu regime de chuvas. A região é afetada por veranicos, fenômeno que se caracteriza por períodos de interrupção de precipitação durante a estação chuvosa. Portanto, objetivou-se avaliar o efeito da supressão hídrica, aplicada em diferentes fases fenológicas, sobre o crescimento da cultura, componentes de produção e qualidade da fibra. O trabalho foi realizado na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, localizada na cidade de Apodi (RN). O experimento foi disposto em parcelas subdivididas com quatro períodos de supressão hídrica (Primeiros botões florais, Início do florescimento, Pico do florescimento, Abertura dos capulhos), além do tratamento controle (sem supressão hídrica), e quatro cultivares de algodoeiro herbáceo (BRS 368 RF, BRS 336, BRS 432 B2RF, BRS 430 B2RF), em delineamento em blocos casualizados dispostos em faixas, com quatro repetições. Foram avaliados o crescimento da cultura, a produtividade, a porcentagem e a qualidade das fibras do algodoeiro. Houve diferença significativa para as características avaliadas entre as cultivares e os períodos de supressão hídrica. A supressão hídrica durante as fases de início da abertura das flores (IF) e enchimento das maçãs (PF) foram as mais prejudiciais aos componentes de produção, crescimento e índices de qualidade de fibra. As cultivares BRS 432 B2RF e BRS 368RF obtiveram componentes da produção superiores aos obtidos nas cultivares BRS 430 B2RF e BRS 336. De forma geral, a redução na qualidade da fibra não foi severa, haja vista que a fibra produzida está dentro do intervalo de qualidade aceitável pela indústria têxtil nacional, mesmo em condições de supressão hídrica, com exceção do alongamento a ruptura. Dessa forma, a decisão em irrigar o algodoeiro com ou sem supressão hídrica é válida, e dependerá dos custos da irrigação e do valor de mercado do produto.

**Palavras-chave:** Manejo de irrigação. *Gossypium L.* Estresse hídrico. Produção e qualidade de fibra.

## ABSTRACT

The semiarid of Brazilian northeast, particularly the State of Rio Grande do Norte, has as its climatic characteristic, the temporal and spatial irregularity of its rainfall regime. The region is affected by veranicos, a phenomenon characterized by periods of precipitation interruption during the rainy season. This study was conducted to evaluate the culture growth, seed cotton yield, fiber yield, and fiber quality traits of cotton cultivars grown subjected to water suppression. The work was realized at the Experimental Station of the Rio Grande do Norte Agricultural Research Company, located in Apodi (RN). The experiment was arranged in subdivided parcels of four water deficit periods (First Square, First Flower, Peak Bloom, and First Open Boll), in addition to the control treatment (without water deficit), and 4 cotton cultivars (BRS 368 RF, BRS 336, BRS 432 B2RF, BRS 430 B2RF), arranged in a split-plot design and four replicates. Cotton Growth, yield, lint percent and fiber quality traits determined were evaluated. Different responses were observed for cultivars and periods of water suppression. Water suppression causes greater losses in cotton yield and growth during the First Flower and Peak Bloom phenological stages, because of the high water demand in these phases. The cultivars BRS 432 B2RF and BRS 368RF had higher yield components than the cultivars BRS 430 B2RF and BRS 336. In general, the reduction in fiber quality wasn't severe, considering that the fiber produced is within the acceptable range of the national textile industry, even under water deficit conditions, except elongation. In this way, the decision to irrigate cotton with or without water suppression is valid, and will depend on the costs of irrigation and the market value of the product.

**Keywords:** Irrigation management. *Gossypium* L. Water stress. Fiber production and quality.

## 1. INTRODUÇÃO

As áreas de produção de algodão no Semiárido, caracterizadas pela ocorrência de chuvas inconsistente, experimentam períodos de boa disponibilidade de água, bem como longos e frequentes períodos de seca ao longo da estação de crescimento. Atualmente, períodos curtos e secos são frequentes devido as mudanças climáticas, causando considerável perda de produtividade mesmo na região do Cerrado, a mais importante área produtora de algodão no Brasil.

A seca é considerada, em diversas partes do mundo, a maior limitação para a produtividade das culturas e estabilidade de rendimento. Diversas culturas irrigadas são afetadas pelo estresse hídrico causado pela falta de água, sendo essa a maior dificuldade dos agricultores em regiões áridas e semiáridas. Portanto, a economia de água e estabilidade da produção agrícola são desafios que impulsionam pesquisadores a desenvolver novas cultivares e estratégias de irrigação para um sustentável uso da água na agricultura irrigada.

No semiárido nordestino, além dos eventuais anos secos e da curta duração da estação chuvosa, a Região ainda tem outra adversidade climática no tocante à exploração agrícola, que é a ocorrência de períodos com pouquíssima ou nenhuma chuva durante a estação chuvosa, conhecidos como veranicos (Silva & Rao, 2002). O planejamento com base na ocorrência de veranicos é bastante significativo para a agricultura pois possibilita a produção agrícola tanto de sequeiro quanto irrigado, possibilitando se estabelecer a melhor época do plantio e assim evitar que os veranicos ocorram em períodos mais críticos, além da maximização do uso eficiente da água nas áreas irrigadas.

Zonta et al. (2017) afirmam que curtos períodos de déficit hídrico podem ocorrer não apenas devido as anomalias climáticas, mas também devido a falhas no sistema de bombeamento de água, manutenção inesperada, ou mesmo a necessidade de fornecimento direto para outras culturas que estão em estágios críticos de crescimento.

Dessa forma, entender a biologia e fisiologia de plantas é fundamental para o conhecimento de mecanismos que levam as plantas a se adaptarem ao déficit hídrico. Sabe-se que o estresse por déficit hídrico resulta em crescimento atrofiado devido a redução celular e a expansão foliar, redução do alongamento da haste e redução do índice de área foliar (Jordan, 1970; McMichael & Hesketh, 1982; Turner et al., 1986; Ball et al., 1994; Gerik et al., 1996). Além disso, entender a tolerância das plantas à seca e como explorá-las, devem ser julgados não só como problemas de ordem agrônômica, fisiológica ou ecológica, mas também como importante meta internacional de significância humanitária, econômica e política (Van Rensburg et al., 1994).

O número de estudos sobre respostas ao déficit hídrico aumentou acentuadamente nas últimas décadas, mas a maioria desses estudos examinou plantas localizadas em vasos dentro de estufas e utilizou condições experimentais distintas (Lawlor & Tezara, 2009; Pinheiro & Chaves, 2011), impossibilitando fazer generalizações e avaliar a relevância dos dados disponíveis para plantas cultivadas em campo, já que a resposta ao déficit hídrico depende do potencial de tolerância/aclimação das espécies vegetais, da frequência, intensidade e duração do déficit hídrico, assim como do genótipo e estágio de desenvolvimento.

É necessário uma avaliação rigorosa das respostas das culturas à alteração no regime de irrigação, tendo em vista que as alterações e o gerenciamento de métodos de irrigação, e economia de água, têm um grande potencial para economizar água nas regiões áridas e semiáridas (Oweis et al., 2011; Unlu et al., 2011).

O desperdício de água na irrigação, além de aumentar os custos de produção, acarreta custos ambientais pelo comprometimento da disponibilidade e da qualidade da água (Marouelli et al., 2011). Uma das práticas que vem sendo difundida para reduzir o gasto de água na irrigação é o uso da rega com déficit hídrico controlado, a qual mantém a produtividade das culturas, eleva a eficiência de uso da água, e o retorno da produção por unidade de água aplicada, aumentando a sustentabilidade do sistema (Zonta et al., 2015a).

Diversos autores têm pesquisado o efeito do déficit hídrico em diferentes culturas. Santos et al. (2012), relataram que as plantas de trigo que sofreram déficit hídrico no início do período de florescimento tiveram menor produção de fitomassa e produção de grãos. Gava et al. (2015), estudando a cultura da soja, concluíram que a ocorrência de déficit apenas no molenchimento de grãos representa o mesmo risco de perdas em relação à ocorrência no ciclo total. Melo et al. (2018), afirmaram que após aplicação de déficit hídrico na cultura do milho, foi observado correlação negativa entre os quantitativos de floração feminina e peso de grãos. Por sua vez, Brito et al. (2015), concluíram que, para o tomateiro, a fase de floração mostrou-se mais sensível ao estresse hídrico, com drástica redução nos aspectos morfofisiológicos da cultura.

Portanto, objetivou-se através desse trabalho avaliar o efeito da déficit hídrico através da supressão de água, aplicada em diferentes fases fenológicas, sobre os componentes de crescimento, produção e qualidade de fibra em quatro cultivares de algodão.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

O experimento foi conduzido de junho a novembro de 2016, na Estação Experimental da EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, localizada no município de Apodi (5° 37' 19"S e 37° 49' 06"O e altitude de 132 m).

De acordo com a classificação de Koppen, o clima predominante da região é do tipo BSh, ou seja, semiárido quente e seco, apresentando um período chuvoso entre os meses de fevereiro e maio, com precipitação média anual de 893 mm e evapotranspiração média anual de 2190 mm. A temperatura média anual é de 27,1 °C, enquanto que a máxima média é de 34,1 °C e a mínima média é de 22,8 °C. A umidade relativa média é igual a 66,8%, e a insolação média da região é de 3041 horas por ano, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Ramos et al., 2009).

O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo Eutrófico (Santos et al., 2013) e a textura argilo-arenosa. A fertilização foi conduzida baseando-se na fertilidade do solo e nas recomendações técnicas para o algodão (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características químicas do solo da área experimental em Apodi, RN, de 0-40 cm de profundidade.

pH	MO	P	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H + Al	CTC	SB
Água	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )-----						
6,20	16,4	10,7	0,4	1,6	34,8	10,0	23,1	69,9	46,8

Fonte: Autor.

**Tabela 2.** Características físicas do solo da área experimental em Apodi, RN, de 0-40 cm de profundidade.

CC	PMP	Ds	Dp	Porosidade	Areia	Silte	Argila
(%)	(%)	(g cm <sup>-3</sup> )	(g cm <sup>-3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
18,0	12,0	1,20	2,66	54,75	49,00	6,00	45,00

Fonte: Autor.

### Cultura do algodão e dados agronômicos

Foram testados 4 cultivares de algodoeiro herbáceo (BRS 368 RF, BRS 336, BRS 432 B2RF, BRS 430 B2RF). A cultivar BRS 368 RF apresenta porte baixo, ciclo de médio a precoce, e rendimento de fibra de 40%, com abertura da primeira flor aos 55 dias e ciclo total de 165 a 170 dias. Por ser tolerante ao glifosato, oferece maior flexibilidade no controle de

plantas daninhas, permitindo a aplicação do herbicida em qualquer fase do desenvolvimento da cultura (Ferreira & Silva, 2019).

A cultivar BRS 336 apresenta porte médio, ciclo médio, com fibra de coloração branca, comprimento médio-longo e rendimento de fibra de aproximadamente 39%. O surgimento da primeira flor ocorre de 60 a 65 dias após a emergência de plântulas (DAE), e a abertura da primeira maçã ocorre de 110 a 120 DAE (Ferreira & Silva, 2019).

As cultivares BRS 430 B2RF e BRS 432 B2RF são geneticamente resistentes às principais lagartas, tolerantes ao glifosato e apresentam-se como opções de cultivares com genética adaptada ao ambiente tropical. A BRS 430 B2RF tem porte de planta médio, ciclo médio, rendimento de fibra de 40,5%. Por sua vez, a BRS 432 B2RF possui porte de planta médio, rendimento de fibra de aproximadamente 41,5%, ciclo médio/longo (Ferreira & Silva, 2019).

O estudo foi realizado sob sistema de plantio direto e sem práticas de desbaste do algodão. A semeadora mecanizada com três linhas foi usada para o plantio. Para ervas daninhas, doenças e controle de insetos, foram feitos tratamentos fitossanitários após aparecimento dos primeiros sintomas, mas de forma consistente em todos os tratamentos. Dados agrônômicos e de irrigação são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Dados agrônômicos e parâmetros de irrigação durante o ciclo do algodão.

<b>Variáveis</b>	
Data do plantio	06/07/2016
Espaçamento entre linhas de plantas	0,8 m
Densidade de plantio	8 -12 plantas m <sup>-1</sup>
Fertilização do plantio	150 kg de MAP ha <sup>-1</sup>
Adubação de cobertura	150 Kg de Uréia ha <sup>-1</sup>
Última irrigação	28/10/2016 (105 DAE)
Data da colheita	21/11/2016
Período do ciclo da cultura	127 dias
Precipitação total durante o ciclo de crescimento	0,0 mm

Fonte: Autor.

### **Tratamentos e projeto experimental**

Foi usado nesse estudo o delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela experimental consistiu de 6 linhas de 6 m de comprimento, espaçadas a 0,8 m entre linhas, sendo a área útil da parcela as 4 linhas centrais com 5 metros de comprimento, totalizando em média 200 plantas por parcela.

Os tratamentos consistiram de quatro períodos de supressão hídrica: Primeiros botões florais, Início do florescimento, Pico do florescimento, Abertura dos capulhos e tratamento controle (sem supressão hídrica) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Período de supressão hídrica em cada tratamento.

Tratamento	Início da supressão da irrigação	Período de supressão hídrica	Duração da supressão	Lâmina total de irrigação (mm)	Diferença para o tratamento Controle (mm)
Primeiros botões florais (PB)	Aparecimento do primeiro botão floral em pelo menos 10% das plantas	35 – 51	17 dias	673	107
Início do florescimento (IF)	Abertura da primeira flor em pelo menos 10% das plantas	52 – 63	12 dias	675	105
Pico do florescimento (PF)	Enchimento das maçãs. Pelo menos 10% das plantas altamente frutificadas, com os frutos completamente cheios.	64 – 80	17 dias	632	148
Abertura dos capulhos* (AC)	Abertura dos capulhos em pelo menos 10% das plantas	A partir de 90	16 dias	718	62
Controle (ETc total)	Sem supressão de irrigação durante todo o ciclo da cultura			780	

\* Esse tratamento não recebeu irrigações após o período de supressão, porque aconteceu pouco antes da remoção da irrigação. Fonte: Autor.

Os tratamentos voltaram a ser irrigados normalmente após o período de supressão. A reposição de água através da irrigação foi baseada na evapotranspiração da cultura e eficiência de aplicação (Equação 1):

$$L_{bruta} = ETc/Ea \quad (1)$$

onde:

$L_{bruta}$  – Lâmina bruta de irrigação, mm

ETc – Evapotranspiração da cultura, mm

Ea – Eficiência de aplicação, decimal

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtida pela Equação 2:

$$ETc = ET_0 \times Kc \quad (2)$$

onde:

ET<sub>0</sub> – Evapotranspiração de referência baseada na metodologia de Penman-Monteith (Allen et al., 1998)

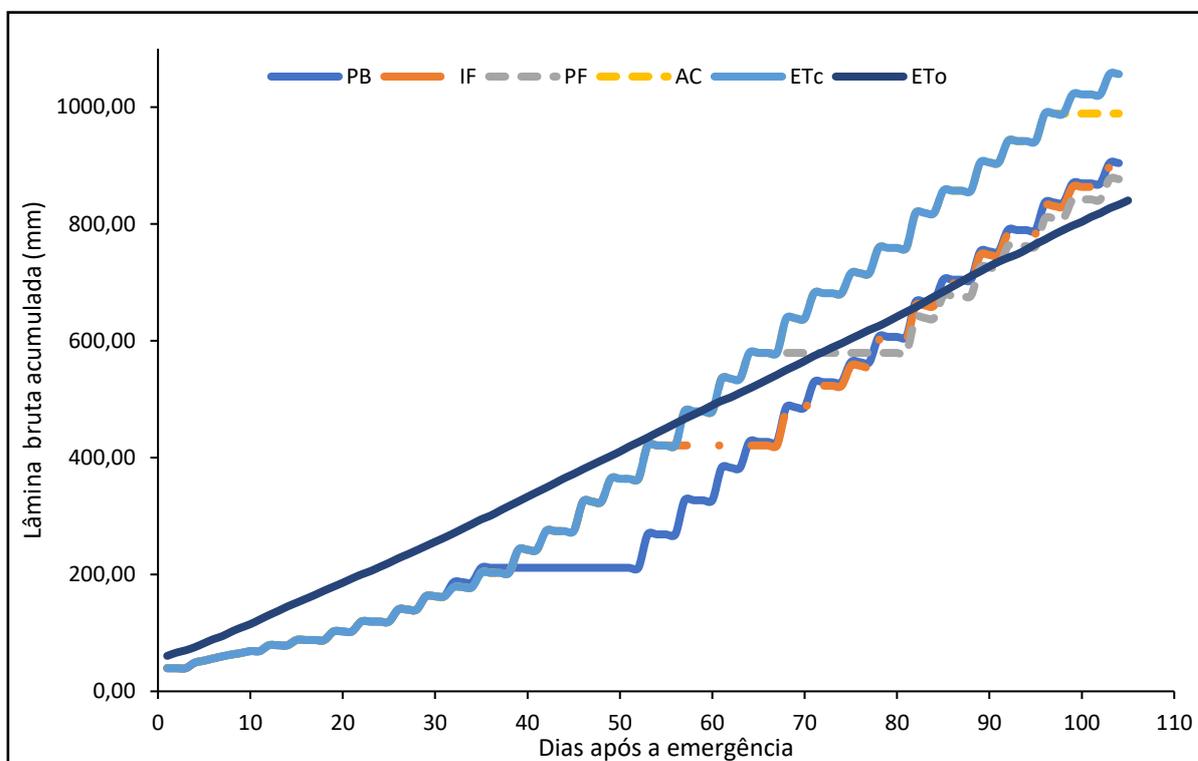
Kc – Coeficiente de cultivo do algodão, estimado diariamente a partir do número de dias após a emergência (Bezerra et al., 2010)

$$Kc = -0,00006 \cdot DAE^2 + 0,011 \cdot DAE + 0,5703 \quad (3)$$

onde:

DAE – Dias após a emergência

A figura 1 apresenta a ETo e as lâminas de irrigação acumuladas para cada tratamento. Para a irrigação, foi usado um sistema por aspersão fixo, com aspersores espaçados de 12 x 15 m, intensidade de aplicação de 9 mm h<sup>-1</sup> e eficiência de aplicação igual a 65%. As irrigações foram realizadas a cada três dias e meio, mantendo o teor de água disponível acima de 40% da água total disponível. A água disponível foi monitorada através de Sondas DIVINERS.



**Figura 1.** Evapotranspiração de referência e lâminas brutas de irrigação acumuladas para cada tratamento.

Fonte: Autor.

### Características de crescimento e desenvolvimento

As avaliações de crescimento foram iniciadas 30 dias após a emergência, sendo repetidas a cada 14 dias. Foram avaliadas, aleatoriamente, quatro plantas por parcela. Após coletadas, as plantas foram encaminhadas para o Laboratório de Hidroponia, localizado na

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) – Mossoró-RN, onde foram avaliadas as seguintes variáveis: altura da planta (AP), fitomassa fresca total (FFT) da parte aérea e área foliar (AF). A altura das plantas, obtida em centímetro, foi medida com o auxílio de uma régua, tomando-se como referência a distância do colo da planta até a inserção da última folha formada. A FFT foi resultado da soma de toda parte aérea das plantas (folhas, caule, maçãs e capulhos).

A área foliar foi obtida através do método dos discos foliares, que consistiu na retirada de discos em folhas aleatórias, com auxílio de um vazador com área de 15,18 cm<sup>2</sup>. Em seguida, os discos foliares foram colocados em estufa com circulação de ar a 70 °C durante no mínimo 72 horas para a obtenção da matéria seca. Com a área dos discos (AD), a massa de matéria seca dos discos (MD) e a massa da matéria seca das folhas total da planta (MFT), foi determinada a área foliar (AF), estimada pela fórmula:  $AF = AD \times MFT/MD$ .

### **Componentes de produção**

Os componentes da produção avaliados foram: número de capulhos por planta, produtividade de algodão em caroço, produtividade de algodão em pluma e percentagem de fibra. O número de capulhos por planta foi obtido através da contagem de todos os capulhos colhidos das plantas inseridas em uma linha de 5 metros, dividido pelo próprio número de plantas. A percentagem de fibra foi medida pelo desfibramento de uma sub amostra de 100 g, extraída da amostra colhida. Para o cálculo da produtividade de algodão em caroço, foi colhida toda a parcela útil, e os valores extrapolados para produtividade em kg ha<sup>-1</sup>. Por fim, o rendimento médio de algodão em pluma foi calculado com base na relação entre produção de algodão em caroço vezes a percentagem de fibra.

### **Características tecnológicas da fibra**

As características tecnológicas da fibra foram determinadas através de uma amostra de 100 g coletada aleatoriamente na área útil de cada parcela. As mensurações foram efetuadas no HVI (High Volume Instrument) do Laboratório de Fibras e Fios da Embrapa Algodão em Campina Grande, PB. As características de fibra avaliadas foram: Comprimento (UHM<sub>mm</sub>); Uniformidade (UNF<sub>%</sub>); Índice de fibras curtas (SFI); Resistência (STR<sub>gf/tex</sub>); Alongamento à ruptura (ELG<sub>%</sub>); Refletância (Rd<sub>%</sub>); Índice micronaire (MIC<sub>µg/pol</sub>); Maturidade (MAT<sub>%</sub>); Grau de amarelo (+b) e Índice de fiabilidade (CSP).

## Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância através do teste F, sendo as médias dos tratamentos dos fatores, ambos qualitativos, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Análise de crescimento

As respostas do crescimento das cultivares de algodão à aplicação de supressões hídricas são apresentadas na Tabela 5, a qual verifica-se que os fatores cultivar, supressão hídrica, e a interação entre ambos, promoveram diferenças significativas, na maioria das vezes, a 1 e 5% de probabilidade, para as variáveis: altura de planta (AP), à área foliar por planta (AF) e à fitomassa fresca total por planta (FFT) avaliadas nas diferentes épocas de amostragem.

Para o fator cultivar, não houve efeito significativo para área foliar e fitomassa fresca total, com exceção da observação aos 30 DAE, período que ainda não tinha sido aplicado nenhuma supressão hídrica. Estes resultados evidenciam o comportamento semelhante das cultivares com relação ao supressões hídricas aplicadas.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância dos dados de crescimento, obtidos em diferentes datas: altura de planta (AP), área foliar por planta (AFP) e fitomassa fresca total por planta (FFT) do algodoeiro, submetido aos diferentes tratamentos.

Fator de variação	GL	Quadrado médio (QM)		
		AP (cm)	AF (cm <sup>2</sup> )	FFT (g)
30 DAE				
Bloco	3	3,78	6524,26	15,73
Cultivar (C)	3	64,31*	13963,94*	217,00**
Resíduo a	9	9,45	2645,19	18,23
Supressão (S)	4	24,11**	6734,26 ns	78,50 ns
Resíduo b	12	4,23	7699,98	25,89
C x S	12	32,95**	7956,85**	112,76**
Resíduo c	36	5,23	2541,15	18,88
Total	79			
45 DAE				
Bloco	3	14,57	710760,49	3054,47
Cultivar (C)	3	27,83 ns	87353,45 ns	986,64 ns
Resíduo a	9	12,73	163005,84	364,46
Supressão (S)	4	95,21**	646122,19 ns	4243,94 ns

Continuação... **Tabela 5.** Resumo da análise de variância dos dados de crescimento, obtidos em diferentes datas: altura de planta (AP), área foliar por planta (AFP) e fitomassa fresca total por planta (FFT) do algodoeiro, submetido aos diferentes tratamentos.

Fator de variação	GL	Quadrado médio (QM)		
		AP (cm)	AF (cm <sup>2</sup> )	FFT (g)
45 DAE				
Resíduo b	12	13,39	277552,64	1546,48
C x S	12	57,61**	117286,82 ns	1200,43 ns
Resíduo c	36	17,65	321265,95	791,79
Total	79			
60 DAE				
Bloco	3	42,41	257931,91	5750,74
Cultivar (C)	3	20,79 ns	313439,27 ns	1805,37 ns
Resíduo a	9	26,92	831959,29	8540,31
Supressão (S)	4	213,58**	6229703,53**	17549,14**
Resíduo b	12	22,03	277204,29	4188,9
C x S	12	87,00 ns	592577,81 ns	8546,83 ns
Resíduo c	36	55,9	841520,48	7326,26
Total	79			
75 DAE				
Bloco	3	55,02	135789,35	39436,61
Cultivar (C)	3	69,28 ns	505161,45 ns	10989,06 ns
Resíduo a	9	28,03	464886,04	23677,56
Supressão (S)	4	637,64**	5663562,43**	187244,36**
Resíduo b	12	38,28	899944,56	18235,14
C x S	12	49,92*	550863,98 ns	22764,72 ns
Resíduo c	36	22,44	840721,4	23952,86
Total	79			
90 DAE				
Bloco	3	68,23	386139,13	29372,69
Cultivar (C)	3	18,00 ns	306365,18 ns	2983,48 ns
Resíduo a	9	27,28	1157210,12	20572,18
Supressão (S)	4	362,1*	6995214,03*	447765,30*
Resíduo b	12	72,25	2135923,36	35130,13
C x S	12	35,19 ns	454699,74 ns	24723,44 ns
Resíduo c	36	27,17	1002839,19	28430,18
Total	79			
105 DAE				
Bloco	3	59,62	2199233,28	16996,04
Cultivar (C)	3	96,28*	1788284,93 ns	51176,97 ns
Resíduo a	9	24,92	704232,67	22277,93
Supressão (S)	4	42,27 ns	8752450,82*	420492,55**
Resíduo b	12	42,17	1660864,33	18247,89
C x S	12	91,34**	722234,34 ns	33032,18 ns
Resíduo c	36	29,86	1201310,13	29596,01
Total	79			

Continuação... **Tabela 5.** Resumo da análise de variância dos dados de crescimento, obtidos em diferentes datas: altura de planta (AP), área foliar por planta (AFP) e fitomassa fresca total por planta (FFT) do algodoeiro, submetido aos diferentes tratamentos.

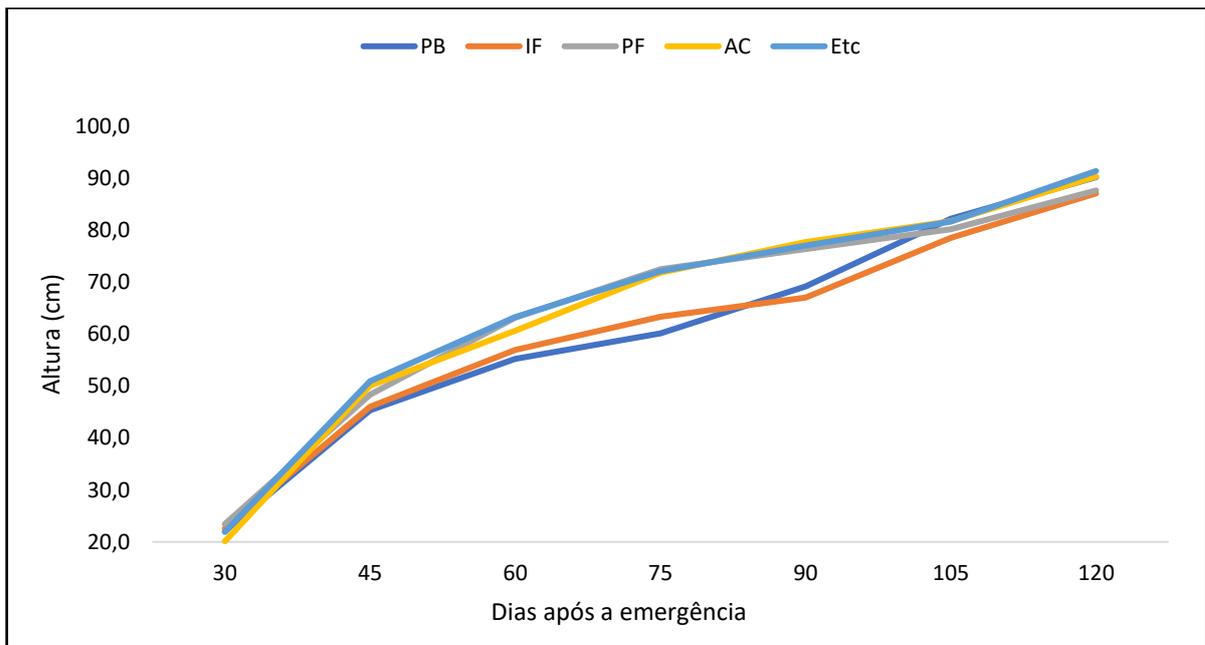
Fator de variação	GL	Quadrado médio (QM)		
		AP (cm)	AF (cm <sup>2</sup> )	FFT (g)
			120 DAE	
Bloco	3	133,75	4667952,35	56168,25
Cultivar (C)	3	89,65 ns	3210897,93 ns	4458,9 ns
Resíduo a	9	59,92	3347239,78	27153,33
Supressão (S)	4	58,36 ns	33786204,77**	383797,9 ns
Resíduo b	12	77,70	2803503,32	22267,1
C x S	12	54,02 ns	2491686,05 ns	62512,51 ns
Resíduo c	36	28,90	2814433,47	17884,17
Total	79			

DAE: dias após a emergência; ns: não significativo; \* e \*\*: significativo ao nível de 0,05 e 0,01, pelo teste F, respectivamente;

Fonte: Autor.

Como na ANAVA (Tabela 5) não foi encontrado diferença estatística significativa entre as cultivares, e que a interação entre cultivar e supressão, foi em sua maioria, também não significativo, adotou-se a média entre elas para fazer os gráficos que demonstram o crescimento em função dos períodos de supressões hídricas, já que dentro de um mesmo período de supressão, as cultivares se comportaram de maneira similar.

Analisando-se os resultados do efeito dos períodos de supressão hídrica, sobre a altura da planta, ao longo do crescimento do algodoeiro (Figura 2), observou-se que, a supressão no PB, que foi aplicado dos 35 aos 50 DAE, resultou em um retardo no crescimento das culturas, principalmente durante o corte da irrigação e nos dias que sucederam o retorno da mesma. No entanto, percebe-se que, 25 dias após a irrigação ter sido reestabelecida, as cultivares apresentaram crescimento, e não diferenciando-se estatisticamente do tratamento controle aos 120 DAE.



**Figura 2.** Altura das plantas em função das quatro épocas de supressão hídrica aplicadas para média de quatro cultivares de algodoeiro (dados agrupados)

Fonte: Autor.

A supressão IF resultou em um comportamento semelhante a PB, apresentando um retardo no aumento da altura durante a supressão e, nos dias subsequentes ao reestabelecimento da irrigação. Porém, 90 DAE, e quase 30 dias após a irrigação ter sido reestabelecida, a variável altura apresentou um crescimento elevado, atingindo seu ápice ao final do ciclo (120 DAE) e igualando-se estatisticamente ao tratamento controle.

Em geral, para os tratamentos IF e PB, as plantas apresentaram o menor crescimento em altura, tanto durante a supressão hídrica, quanto poucos dias após o retorno da irrigação. De acordo com Santos & Carlesso (1998), após a interrupção do déficit hídrico, a altura e diâmetro de caule tendem a voltar ao normal, porém não em sua plenitude, pois a velocidade de recuperação é reduzida.

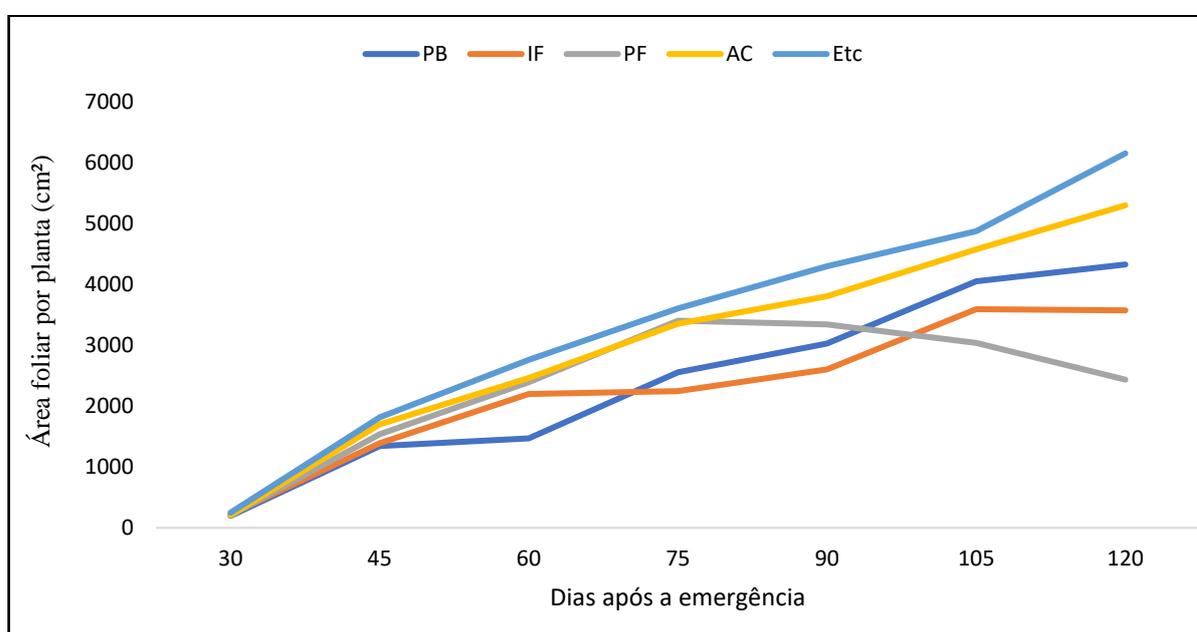
As supressões PF e AC, que ocorreram, respectivamente, dos 64 aos 80 DAE e a partir dos 90 DAE, não ocasionaram retardo no desenvolvimento da altura (Figura 2), apresentando curva de crescimento semelhante ao tratamento controle. Esse comportamento está relacionado ao fato desses déficits terem sido aplicados na fase do enchimento das maçãs e abertura dos capulhos, e segundo Santos & Beltrão (2008), nas fases de formação de órgãos produtivos, grande parte dos assimilados usados no crescimento vegetativo são transportados para uso no desenvolvimento reprodutivo.

Esses resultados corroboram com Cordão et al. (2018), onde, em geral, as plantas de algodão apresentaram as menores médias de altura quando o déficit foi aplicado nas fases de crescimento inicial, botão floral e flor, sendo que, a partir da fase de maçã, foram menos

afetadas por este fator, provavelmente devido estarem próximas a atingir o crescimento máximo varietal (Morello et al., 2011). Segundo Taiz et al. (2017), o déficit hídrico provoca decréscimo na turgescência celular diminuindo o crescimento por alongamento.

Vasconcelos et al. (2018) encontraram efeito relativo da altura com o rendimento e demonstraram que a suspensão de água influenciou o crescimento e produção de plantas de algodoeiro em diferentes níveis.

Em relação à área foliar (Figura 3), foi possível observar durante o desenvolvimento do presente experimento que, dias após a aplicação das supressões hídricas no PB e IF, as plantas não apresentaram aumento ou redução da área foliar, tendo a variável permanecido constante, e menor que o tratamento controle, e de acordo com Echer (2014), o crescimento expansivo das folhas jovens é muito sensível ao potencial de água.



**Figura 3.** Área foliar em função das quatro épocas de supressão hídrica aplicadas para quatro cultivares de algodoeiro (dados agrupados)

Fonte: Autor.

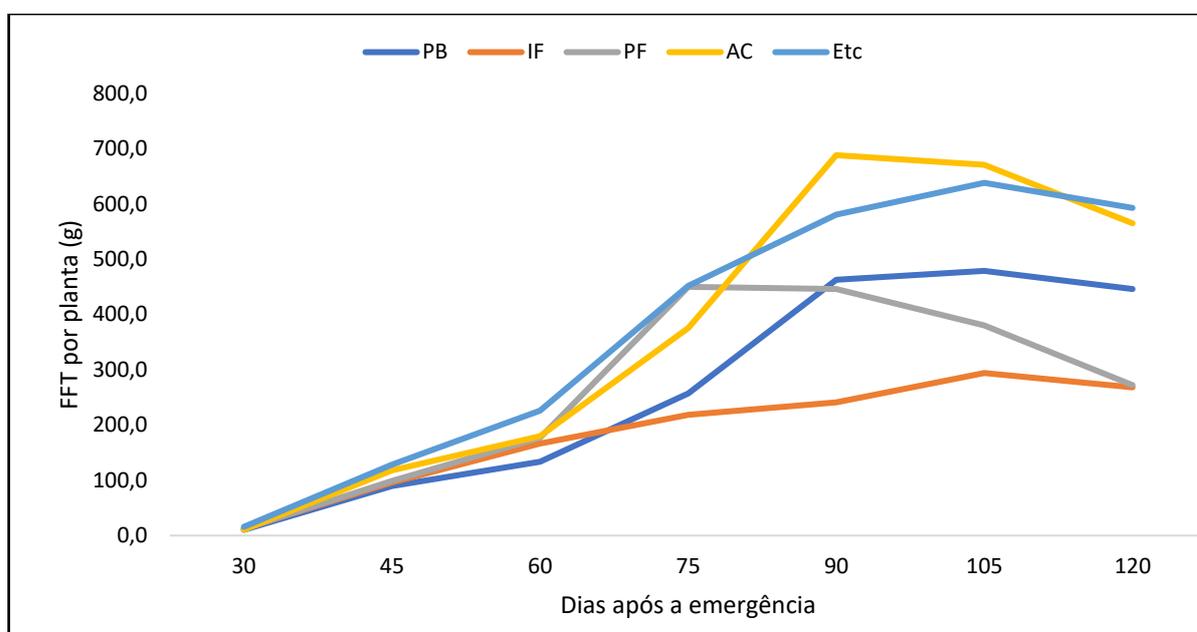
Para Taiz et al. (2017), a limitação da área foliar pode ser considerada como uma primeira reação das plantas ao estresse hídrico. Ainda de acordo com os autores supracitados, o aumento excessivo da área foliar pode prejudicar o seu desenvolvimento e a produção, passando a atuar como o principal dreno da planta.

Por outro lado, após a aplicação da supressão PF (Figura 3), as plantas sofreram uma redução constante até o final do ciclo. Essa redução está relacionada a perda de folhas, que ocorre devido a fase de floração e frutificação ser a fase de maior demanda de água, resultando em uma disputa pelos assimilados entre o crescimento vegetativo e o desenvolvimento reprodutivo, tendo que encontrar um equilíbrio entre rendimento e sobrevivência (Almeida et

al., 2017). Segundo Taiz et al. (2017), o estresse hídrico mais severo inibe a divisão celular, a síntese de proteínas, o acúmulo de solutos e a fotossíntese, provocando redução na área foliar da cultura; resultando, além do disso, no fechamento dos estômatos, na aceleração da senescência e na abscisão das folhas.

Por fim, a supressão aplicada na AC foi a única semelhante ao tratamento controle (Figura 3), apresentando crescimento até o final do ciclo. O corte da irrigação ocorreu após início da abertura dos capulhos, fase em que o sistema reprodutivo já está todo formado e as maçãs preenchidas, resultando em mínimas restrições de crescimento.

A aplicação das supressões nas diferentes fases fenológicas resultou em distintos momentos de máxima FFT nas cultivares (Figura 4), resultado que difere do encontrado por Cordão Sobrinho et al. (2007), onde a redução da fitomassa ocorreu de modo uniforme, com todos os tratamentos apresentando redução aproximadamente aos 100 dias após a emergência das plântulas, na fase de amadurecimento e abertura dos capulhos.



**Figura 4.** Fitomassa fresca total por planta em função das quatro épocas de supressão hídrica aplicadas para quatro cultivares de algodoeiro (dados agrupados)  
Fonte: Autor.

Mesmo após terem sido irrigadas normalmente por 57 dias, os valores de FFT para o tratamento IF foram menores do que todos os tratamentos, principalmente o controle. No entanto, apesar da redução da fitomassa, em comparação ao tratamento controle, as supressões hídricas no início do cultivo (PB e IF) se desenvolveram de forma semelhante ao tratamento controle, com valores da FFT máximos aos 105 DAE, não modificando o desenvolvimento padrão das fases fenológicas da cultura.

A supressão hídrica PF teve seu máximo de FFT aos 75 DAE, apresentando redução gradativa até o final do ciclo, atingindo valor final semelhante a supressão IF (Figura 4). Entre os tratamentos, a supressão PF foi a que resultou em maior diferença entre a FFT máxima e a obtida ao final do ciclo. Com relação a supressão AC, o valor máximo da variável FFT ocorreu aos 90 DAE, justamente no início da aplicação da supressão. Em comparação com a curva do tratamento controle, o crescimento das cultivares sob a supressão AC foi semelhante em quase todo o período, com exceção dos 105 DAE, onde o corte da irrigação resultou em redução da FFT (que não ocorreu com o tratamento controle) (Figura 4).

## Produtividade

Os resultados da análise de variância para as características produtivas avaliadas (produtividade, porcentagem de fibras, rendimento em pluma e número de capulhos por planta) de cultivares de algodão sob supressão hídrica em estágios específicos do ciclo da cultura são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância da produtividade em caroço (PROD), porcentagem de fibras (%FIBRAS), rendimento de algodão em pluma (PLUMA) e número de capulhos por planta (CAPULHOS) de cultivares de algodão submetidas a supressão hídrica em diferentes estágios do ciclo da cultura.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		PROD	%FIBRAS	PLUMA	CAPULHOS
Bloco	3	1362028,65	5,78	308976,72	11,95
Cultivar (C)	3	2253216,15*	214,49**	1274139,04**	122,08*
Resíduo a	9	446.021,70	5,07	90.464,63	30,36
Supressão (S)	4	70728605,47**	74,23**	13878893,50**	961,92**
Resíduo b	12	772.959,64	2,51	130.781,50	34,39
C x S	12	1058652,34 ns	10,10**	269518,32*	69,03*
Resíduo c	36	538.992,62	3,54	120.460,65	30,01
Total	79				
Média Geral		3966,56	40,29	1639,12	12,76
CV 1 (%)		16,84	5,59	18,35	43,17
CV 2 (%)		22,16	3,93	22,06	45,95
CV 3 (%)		18,51	4,67	21,17	42,93

\* e \*\* - Significante a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. ns - não significativo a 5%.

Fonte: Autor.

A análise de variância e teste de médias para a produtividade de algodão em caroço, porcentagem de fibras, rendimento de algodão em pluma e número de capulhos para as cultivares BRS 432 B2RF, BRS 368 RF, BRS 430 B2RF e BRS 336, sob supressões hídricas

em diferentes estágios do ciclo da cultura, são apresentados na Tabela 7. A interação cultivares versus supressão hídrica (C x S) foi significativa para porcentagem de fibras, rendimento de algodão em pluma e número de capulhos por planta. No entanto, para a variável produtividade de algodão em caroço, a interação C x S não foi significativa.

**Tabela 7.** Análise de variância e teste de médias para as variáveis produtividade de algodão em caroço, porcentagem de fibras e rendimento de algodão em pluma em função das cultivares e supressões hídricas.

Anova	Pr > Fc			
	PROD (kg ha <sup>-1</sup> )	%FIBRAS (%)	PLUMA (kg ha <sup>-1</sup> )	CAPULHOS (unidade)
Cultivares (C)	<0,05	<0,01	<0,01	<0,05
Supressões (S)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C X S	0,6	<0,01	<0,05	<0,05
Médias				
Supressão hídrica				
PB	3914,1B	39,5B	1550,8B	11,69B
IF	1331,3D	39,7B	531,7B	6,19BC
PF	2523,4C	37,4C	961,7B	4,50C
AC	5787,5A	42,4A	2470,9A	21,50A
ETc total	6276,6A	42,5A	2680,6A	19,94A
Cultivares				
BRS 432 B2RF	4275,0A	43,5A	1880,2A	9,75B
BRS 368 RF	4011,3AB	42,3A	1726,9A	15,70A
BRS 430 B2RF	4088,8AB	39,2B	1663,4A	12,25AB
BRS 336	3491,3C	36,2C	1286,0B	13,35B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. \*\*Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,05 indicam diferença significativa a 5%, valores menores que 0,01 indicam significância a 1%.

Fonte: Autor.

Levando em consideração a porcentagem de fibra e rendimento em pluma de algodão, foi encontrado diferenças significativas para os períodos de supressão hídrica e cultivares, com interações significativas entre os fatores. Apesar de não ter existido diferença significativa na altura das cultivares, para os períodos de supressões hídricas aplicadas, o rendimento em pluma e a produtividade (Tabela 7), das supressões no IF e PF, foram bem menores do que no tratamento controle, AC e PB.

A cultivares que apresentaram as maiores produtividades médias de algodão em caroço foram: BRS 432 B2RF, BRS 430 B2RF e BRS 368 RF, produzindo 4275,3, 4088,8 e 4011,3 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 7). As três cultivares citadas anteriormente obtiveram valores

inferiores ao padrão varietal que é de 4500,0 kg ha<sup>-1</sup> para as cultivares BRS 432 B2RF e BRS 430 B2RF (Suassuna et al., 2018) e de 4200,0 a 4500,0 kg ha<sup>-1</sup> para a cultivar BRS 336 (Morello et al., 2011). Mesmo a cultivar BRS 336, que apresentou a menor produtividade média, 3491,3 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 7), foi próxima à média nacional nas safras de 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018, cujos valores são, respectivamente, 3197,0, 3921,0 e 3707,0 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018).

Observa-se que o tratamento sem supressão hídrica se diferenciou de todos os tratamentos com supressões nas fases fenológicas, obtendo o melhor resultado (6276,6 kg ha<sup>-1</sup>) para produtividade (Tabela 7), mas não diferenciando do rendimento obtido para a supressão hídrica após a AC. As fases início de florescimento (IF) e pico de florescimento (PF), apresentaram produtividade de, respectivamente, 1331,3 kg ha<sup>-1</sup> e 2523,4 kg ha<sup>-1</sup>, representando decréscimos de 79,79 e 59,80% em relação ao tratamento sem supressão. Na fase de IF e, principalmente no PF, onde também ocorre o enchimento das maçãs, a supressão ocasionou maiores reduções de produtividade e qualidade do algodão, por ocorrer o abortamento dos frutos mais jovens da planta para manter o provimento de carboidratos para as maçãs mais velhas (Echer, 2014). Vasconcelos et al. (2018) comentam que, dos fatores ambientais que podem provocar a abscisão no algodoeiro, a deficiência hídrica no solo é considerada o principal.

Uma característica importante relacionada a produtividade é a porcentagem de fibras (Tabela 8), já que a maior porcentagem representa maior rendimento em pluma. Observa-se que esta característica foi afetada pelas supressões hídricas.

**Tabela 8.** Valores médios da porcentagem de fibras para a interação cultivares x supressões hídricas.

Cultivar	Período de supressão hídrica					Média
	PB	IF	PF	AC	ETc	
BRS 432 B2RF	41,8Aa	42,9Aa	43,4Aa	44,8Aa	44,9Aa	43,6
BRS 368 RF	42,2Aa	41,9Aab	39,9Aa	44,5Aa	43,6Aa	42,4
BRS 430 B2RF	40,1ABa	37,7BCbc	33,2Cb	41,4ABab	43,6Aa	39,2
BRS 336	34,9ABb	36,1Abc	33,2Bb	38,8Ab	38,0ABb	36,2
Média	39,7	39,7	37,4	42,4	42,5	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Períodos de supressão hídrica dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos períodos de supressão) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

No geral, os melhores resultados foram obtidos pelo tratamento controle, seguido da AC, PB e IF. O pior valor de porcentagem de fibra foi o PF, com apenas 37,4%, o que significa uma redução de 12% em comparação com o tratamento controle. As cultivares BRS 432 B2RF

e BRS 368 RF não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, tendo porcentagem de algodão em fibra igual, ou maior, do que o padrão varietal que é de 41,5% para a cultivar BRS 432 B2RF (Suassuna et al., 2018) e de 40,0% para a cultivar BRS 368 RF (Barroso et al., 2017). Esse resultado é importante, visto que os cotonicultores preferem as cultivares com um percentual de fibra acima de 40%, visando, assim, obter um maior valor agregado, considerando-se que o preço da fibra é superior ao do caroço do algodão (Cordão Sobrinho et al., 2015).

Observa-se que houve diferença significativa, entre os tratamentos, para as cultivares BRS 430 RF e BRS 336, sendo a supressão hídrica aplicada no PF o momento de maior decréscimo na porcentagem das fibras, com valor de 33,2% para as duas cultivares. O valor de 33,2% para a BRS 336 é considerado baixo em comparação com sua natural porcentagem de pluma, que segundo Morello et al. (2012), varia entre 38,2 a 43,5%. Resultados esses que diferem de outros autores, dentre os quais Wen et al. (2013), Cordão Sobrinho et al. (2015) e Almeida et al. (2017), que utilizando as cultivares BRS Aroeira, BRS Araripe, BRS 286 e BRS 336, afirmam que a porcentagem de fibra não é afetada pelo déficit hídrico, mas sim determinada pelas características hereditárias das cultivares. Por sua vez, Echer (2014), argumenta que há variabilidade genética em atributos associados à tolerância ao déficit hídrico.

A interação (C x S) foi significativa para a variável rendimento em pluma (Tabela 7), indicando dependência entre os fatores estudados na influência dos mesmos sobre esta variável, interpretada pelo desdobramento da interação destes fatores sobre a mesma. Nesta condição, pode-se dizer que a tolerância do algodoeiro, para o rendimento em pluma, depende do efeito combinado dos níveis dos fatores cultivar e supressão hídrica.

Todas as cultivares apresentaram melhores rendimentos de algodão em pluma sob aplicação da supressão AC e tratamento controle (Tabela 9), com destaque para a cultivar BRS 432 B2RF, que produziu 2998,6 kg ha<sup>-1</sup> (AC) e 2937,2 kg ha<sup>-1</sup> (tratamento controle), não diferindo estatisticamente das cultivares BRS 368 RF e BRS 430 B2RF. Portanto, a supressão após a AC não prejudica a produção. Por outro lado, o pior rendimento em pluma ocorreu sob a supressão IF, com a cultivar BRS 336 apresentando um rendimento de algodão em pluma de 441,0 kg ha<sup>-1</sup>, o que significa um decréscimo de 80% em relação ao tratamento controle, e bem abaixo da média nacional, que foi de 1444 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2017/2018 (CONAB, 2018).

**Tabela 9.** Valores médios do rendimento de algodão em pluma para a interação cultivares x supressões hídricas.

Cultivar	Período de supressão hídrica					Média
	PB	IF	PF	AC	ETc	
BRS 432 B2RF	1574,4Ba	460,9Ca	1430,1Ba	2998,6Aa	2937,2Aa	1880,2
BRS 368 RF	1555,8Ba	705,3Ca	896,5BCab	2735,0Aa	2741,9Aab	1726,9
BRS 430 B2RF	1764,1Ba	519,5Ca	714,0Cb	2463,0Aa	2856,3Aa	1663,4
BRS 336	1308,7BCa	441,0Da	806,1CDab	1687,0ABb	2187,2Ab	1286,0
Média	1550,8	531,7	961,7	2470,9	2680,6	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Períodos de supressão dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos períodos de supressão) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Para o número de capulhos por plantas, foi observado o efeito significativo para a interação C x S (Tabela 10). Analisando as cultivares dentro das supressões hídricas, observa-se que as cultivares apresentaram diferença significativa apenas durante a aplicação do tratamento controle, com destaque para as cultivares BRS 368 RF, com 30,0 capulhos, e BRS 430 B2RF, com 22,8 capulhos. Todos os outros tratamentos não resultaram em número de capulhos significativamente diferente entre as cultivares.

Todas as cultivares apresentaram os melhores resultados para as supressões AC e ETc (Tabela 10), com valor máximo para a cultivar BRS 368 RF (30,0 capulhos por planta). Por outro lado, as supressões hídricas no IF e PF resultaram nos menores valores, com destaque para a cultivar BRS 432 B2RF que produziu apenas 3,5 capulhos por plantas.

**Tabela 10.** Valores médios do número de capulhos por planta para a interação cultivares x supressões hídricas.

Cultivar	Período de supressão hídrica					Média
	PB	IF	PF	AC	ETc	
BRS 432 B2RF	10,0ABa	6,3Ba	3,5Ba	18,0Aa	11,0ABc	9,8
BRS 368 RF	11,8Ba	5,0Ba	5,0Ba	26,8Aa	30,0Aa	15,7
BRS 430 B2RF	9,3BCa	7,5BCa	4,5Ca	17,3ABa	22,8Aab	12,3
BRS 336	15,8ABa	6,0Ba	5,0Ba	24,0Aa	16,0ABbc	13,4
Média	11,7	6,2	4,5	21,5	20,0	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Períodos de supressão dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos períodos de supressão) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

## Parâmetros de qualidade da fibra

Os resultados da análise de variância para as principais variáveis relacionadas à qualidade da fibra (Resende et al., 2014): uniformidade, índice de fibras curtas, resistência, alongamento à ruptura, índice de micronaire e maturidade da fibra de cultivares de algodão sob supressão hídrica em estágios específicos do ciclo da cultura são apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11.** Resumo da análise de variância para comprimento (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibras curtas (SFI), resistência (STR), alongamento à ruptura (ELG), índice de micronaire (MIC), maturidade da fibra (MAT), reflectância (Rd), grau de amarelo (+b) e índice de fiabilidade (CSP) de cultivares de algodão submetidas a déficit hídrico em diferentes estágios do ciclo da cultura.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio									
		UHM	UNF	SFI	STR	ELG	MIC	MAT	Rd	+b	CSP
Bloco	3	0,43 ns	1,21 ns	0,07 ns	3,49 ns	0,04 ns	0,28 ns	0,0001 ns	1,94ns	2,25 ns	25507,88 ns
Cultivar (C)	3	33,39**	3,02 ns	2,79 ns	35,95**	6,60**	0,66 ns	0,0006 ns	25,11**	3,07 ns	404574,95*
Resíduo a	9	1,02	1,71	0,74	4,25	0,10	0,34	0,0002	2,78	2,10	73282,79
Supressão (S)	4	15,73**	13,86**	9,21**	20,28**	0,59*	4,77**	0,0003**	6,23**	2,55 ns	713662,04**
Resíduo b	12	1,01	1,21 ns	0,37	3,28	0,15	0,09	0,0001	0,73	1,42	49228,58
C x S	12	2,13 ns	3,05 ns	1,44 ns	10,85 ns	0,27 ns	0,90**	0,0005**	1,93	0,96 ns	80997,89 ns
Resíduo c	36	1,25	2,18	0,73	5,93	0,25	0,18	0,0001	1,60	1,35	75464,90
Total	79										
Média Geral		29,77	83,61	7,36	31,10	4,40	4,47	0,88	81,92	8,52	2735,49
CV 1 (%)		3,39	1,56	11,66	6,63	7,03	13,11	1,89	2,03	17,01	9,90
CV 2 (%)		3,38	1,32	8,22	5,82	8,88	6,87	1,00	1,05	13,99	8,11
CV 3 (%)		3,76	1,77	11,59	7,83	11,29	9,39	1,33	1,54	13,65	10,04

\* e \*\* - Significante a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. ns – não significativo a 5%.

Fonte: Autor.

A análise de variância e teste de médias para o comprimento, uniformidade, índice de fibras curtas, resistência, alongamento à ruptura, índice de micronaire e maturidade da fibra para as cultivares BRS 432 B2RF, BRS 368 RF, BRS 430 B2RF e BRS 336, sob supressões hídricas em diferentes estágios do ciclo da cultura, são apresentados na Tabela 12. Para o fator cultivar, houve significância apenas para as variáveis comprimento (UHM), resistência (STR), alongamento a ruptura (ELG), reflectância (Rd) e índice de fiabilidade (CSP). Já para o fator supressão, observa-se que todas as variáveis analisadas, com exceção do grau de amarelo (+b) foram influenciadas pelos tratamentos estudados, enquanto que a interação (C x S) foi significativa apenas para as variáveis índice de micronaire (MIC) e maturidade (MAT).

**Tabela 12.** Análise de variância e teste de médias para as variáveis comprimento (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibra curta (SFI), resistência (STF), alongamento à ruptura (ELG), índice de micronaire (MIC), maturidade da fibra (MAT), reflectância (Rd), grau de amarelo (+b) e índice de fiabilidade (CSP) em função das cultivares e supressões hídricas.

Pr > Fc										
Anova	UHM mm	UNF %	SFI %	STR gf tex <sup>-1</sup>	ELG %	MIC µg pol <sup>-1</sup>	MAT %	Rd %	+b	CSP
Cultivares (C)	<0,01	0,22	0,6	<0,01	<0,01	0,19	0,18	<0,01	0,29	<0,05
Supressões (S)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,19	<0,01
C X S	0,10	0,21	0,6	0,08	0,40	<0,01	<0,01	0,31	0,73	0,41
**Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,05 indicam diferença significativa a 5%, valores menores que 0,01 indicam significância a 1%.										
Médias										
Supressões hídricas										
PB	30,1A	84,3A	6,8A	32,4A	4,3AB	4,5B	0,88A	82,3AB	8,2A	2887,3A
IF	28,1B	82,2C	8,3B	30,3BC	4,5AB	4,9A	0,89A	81,4B	8,4A	2367,3B
PF	29,7A	83,0BC	8,1B	29,6C	4,1B	3,6C	0,86B	81,5B	8,4A	2782,3A
AC	30,7A	84,2AB	6,8A	31,8AB	4,4AB	4,9A	0,88A	81,6B	8,4A	2780,0A
ETc total	30,6A	84,3A	6,8A	31,4ABC	4,6A	4,5B	0,88A	82,8A	9,2A	2860,6A
Cultivares										
BRS 432 B2RF	29,6B	83,1A	7,8A	31,1AB	4,7B	4,7A	0,88A	80,9B	8,0A	2625,9B
BRS 368 RF	28,1C	84,0A	7,2A	30,4B	5,1A	4,5A	0,87A	81,1B	8,9A	2642,3B
BRS 430 B2RF	30,3BC	83,5A	7,5A	30,0B	4,1C	4,2A	0,88A	82,5AB	8,4A	2738,3AB
BRS 336	31,2A	83,9A	6,9A	33,0A	3,8D	4,5A	0,89A	83,22A	8,7A	2935,5A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor.

Na Tabela 12 verifica-se que o comprimento da fibra (UHM), cujo valor mínimo exigido é 27,0 mm, variou, no geral, de 28,1 a 31,2 mm (fibras médias), sendo o maior valor encontrado para a BRS 336. Portanto, todas as cultivares estão em conformidade com os valores de mercado exigidos. Quanto as supressões hídricas aplicadas, observa-se que a supressão no início do florescimento foi o mais sensível, com valor de 28,1 mm e os aplicados após abertura dos capulhos e tratamento controle, com 30,7 e 30,6 mm, respectivamente, foram os menos sensíveis. Corroboram estes resultados Wen et al. (2013) que afirmam que condições ambientais como o déficit hídrico, pode diminuir a taxa de alongamento ou encurtar o período de alongamento das fibras, diminuindo seu comprimento e uniformidade.

Segundo Lana et al. (2014), o comprimento das fibras afeta a resistência, a uniformidade e a eficiência do processo de fiação. Para Coutinho et al. (2015), essa característica é importante para a comercialização da fibra do algodão, devido estar relacionado diretamente à transformação do algodão em fio. Em termos de qualidade, o comprimento de fibra influencia

no número de torções por unidade de comprimento dos fios. Quanto menor este número, maior a produtividade das máquinas e melhor a obtenção de tecidos macios e com melhor caimento (Lima, 2014).

Para a uniformidade da fibra (UNF), que indica a variação dos comprimentos das fibras em uma totalidade da amostra, não houve diferença significativa entre as cultivares, com os valores variando entre 83,1 e 84% (Tabela 12), sendo classificada, segundo Sestren & Lima (2015), com uniformidade alta, e apresentando-se dentro do padrão varietal (Morello et al., 2011; Suassuna et al., 2018). Quanto mais alto o valor da UNF, mais uniforme é o comprimento das fibras, portanto melhor para fiação.

O baixo índice de uniformidade do comprimento das fibras e o alto conteúdo de fibras curtas provocam a flutuação de fibrilas e de impurezas nas zonas de estiagem de diversas máquinas no processo de fiação, gerando acúmulo de pó e micropó, que contribuem de forma negativa para a produção, qualidade e custo do processo e dos produtos têxteis.

Considerando a variável índice de fibras curtas (Tabela 12), observa-se que não houve diferença significativa entre as cultivares, com valores variando entre 6,9 e 7,8%, sendo classificada como baixa. Com relação aos tratamentos, todas as supressões aplicadas resultaram em um baixo índice de fibras curtas (6 a 9%). Os tratamentos PB, AC e ETc total apresentaram valor de SFI igual a 6,8%, diferentemente das supressões IF e PF, que apresentaram valor de 8,3 e 8,1%, respectivamente. Comparando-se a Bradow & Davidonis (2000), que afirmam que apesar do comprimento da fibra ser um traço primariamente genético, o índice de fibras curtas é dependente, além do genótipo, das condições de cultivo, dentre elas a disponibilidade hídrica, os presentes resultados foram semelhantes apenas no fator déficit causado pela supressão.

Esses resultados são consistentes com os exigidos pelo mercado têxtil, pois quanto menor for o índice de fibras curtas, melhor é o processo de fabricação do fio e maior é o interesse do mercado pelo produto, já que uma fibra com SFI baixo reduz o nível de ruptura dos fios, aumentando a resistência no processo de torção e estiramento na fiação (Cordão Sobrinho et al., 2015). Contratos de compra chegam a especificar este parâmetro e valores acima de 10% são considerados desfavoráveis pelo mercado (Lana et al., 2014).

Para a resistência da fibra (STR) (Tabela 12), a cultivar de algodoeiro herbáceo BRS 336 apresentou maior valor, 33,0 gf tex<sup>-1</sup>, seguida da cultivar BRS 432 B2RF, 31,1 gf tex<sup>-1</sup>, sendo classificadas como muito resistentes (Sestren & Lima, 2015). As cultivares apresentaram, respectivamente, valores médios dentro e acima do padrão varietal que é de 31,0 a 34,2 gf tex<sup>-1</sup> para a cultivar BRS 336 e de 30,2 gf tex<sup>-1</sup> para BRS 432 B2RF (Morello et al., 2011; Suassuna et al., 2018). Já as cultivares BRS 368 RF (30,4 gf tex<sup>-1</sup>) e BRS 430 RF (30,0 gf tex<sup>-1</sup>) foram classificadas como resistentes, tendo a cultivar BRS 368 RF apresentado valor médio acima do

padrão varietal que é de 28,2 gf tex<sup>-1</sup> (Barroso et al., 2017). Por outro lado, a cultivar BRS 430 B2RF apresentou valor médio abaixo do padrão varietal que é de 30,8 gf.tex<sup>-1</sup> (Suassuna et al., 2018). Com base em três anos de estudos, Bradow & Davidonis (2000) concluíram que a resistência das fibras apresenta correlação negativa com a produtividade, corroborando com os resultados desta pesquisa, visto que, dentre todas as cultivares analisadas, a BRS 336 foi a que apresentou menor produtividade e maior resistência da fibra.

As cultivares aqui estudadas apresentaram médias da resistência da fibra que se enquadram nas características desejáveis pela indústria. De acordo com Cordão Sobrinho et al. (2015) e Zhao et al. (2012), quanto maior a resistência da fibra, maior seu valor comercial na tecelagem e no ganho de qualidade.

Observa-se também diferença significativa na resistência da fibra entre os períodos de supressões hídricas aplicadas, sendo significativamente menor na fase de pico do florescimento (PF), e maior na fase de primeiros botões florais (PB), que nas outras avaliadas, com exceção do tratamento controle (ETc total) quando não houve diferença significativa (Tabela 12). As supressões hídricas IF e PF resultaram em fibras resistentes, já o algodão sob PB, AC e ETc total foram classificados como muito resistentes. Zonta et al. (2015a) afirmam que tanto o déficit quanto o excesso de água podem influenciar negativamente a resistência das fibras.

Quanto ao alongamento a ruptura da fibra (ELG), observa-se que houve diferenças significativa entre o período PF e tratamento controle (Tabela 12), com os demais tratamentos não diferenciando-se entre si. A supressão hídrica aplicada no PF reduziu o ELG da fibra do algodoeiro, apresentando valor de 4,1%. Segundo Freire (2015), o processo de formação da fibra se dá a partir da fecundação da flor, devido a isso, déficit hídrico nesta fase pode afetar negativamente a qualidade da fibra.

Com relação as cultivares, observa-se que houve diferença significativa entre todas as cultivares. A maior média obtida para o alongamento à ruptura foi de 5,1% para a cultivar BRS 368 RF (Tabela 12), sendo classificada como baixa, de acordo com a classificação industrial (Sestren & Lima, 2015). A cultivar apresentou valor médio abaixo do padrão varietal que é de 7,7% (Barroso et al., 2017). As cultivares BRS 432 B2RF (4,69%), BRS 430 B2RF (4,1%) e a BRS 336 (3,8%) foram classificadas como muito baixa (Sestren & Lima, 2015), e apresentaram valores médios abaixo do padrão varietal, que é de 6,7% para a BRS 432 B2RF, 6,3% para a BRS 430 B2RF e de 4,6 a 7,1% para a BRS 336.

Analisando o desdobramento da interação entre as cultivares e supressões, no índice de micronaire (Tabela 13), excepcionalmente os períodos de supressão dentro de cada cultivar, observa-se que na cultivar BRS 368 RF, o período IF apresentou o maior índice de micronaire (5,4 µg pol<sup>-1</sup>), enquanto o PF apresentou o menor índice (3,7 µg pol<sup>-1</sup>). Dentro da cultivar BRS

336, observou-se que o maior índice foi no AC (5,1  $\mu\text{g pol}^{-1}$ ) e o menor índice foi verificado no PF (3,6  $\mu\text{g pol}^{-1}$ ). A cultivar BRS 430 B2RF apresentou o menor valor sob a supressão PF (2,7  $\mu\text{g pol}^{-1}$ ) e não apresentou diferença significativa entre os diferentes períodos. Diferentemente das cultivares citadas anteriormente, a BRS 432 B2RF não apresentou diferença significativa entre as supressões.

**Tabela 13.** Valores médios do índice de micronaire (MIC) para a interação cultivares x supressões hídricas.

Cultivar	Período de supressão hídrica					Média
	PB	IF	PF	AC	ETc	
BRS 432 B2RF	4,2Aa	5,3Aab	4,3Aa	4,9Aa	4,7Aa	4,7
BRS 368 RF	4,3Aba	5,4Aa	3,7Ba	4,6Aba	4,4Aba	4,5
BRS 430 RF	5,0Aa	4,4Ab	2,7Bb	5,0Aa	4,1Aa	4,2
BRS 336	4,8Aa	4,4ABb	3,6Bab	5,1Aa	4,8Aa	4,5
Média	4,6	4,9	3,6	4,9	4,5	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Períodos de supressão dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro das períodos de supressão) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Observa-se (Tabela 13) que para as supressões PB, AC e ETc total, as cultivares não diferiram entre si. No período IF, a cultivar que expressou o maior índice foi a BRS 368 RF, com valor de 5,4  $\mu\text{g pol}^{-1}$ , apresentando valor médio acima do padrão varietal que é de 4,1  $\mu\text{g pol}^{-1}$  (Barroso et al., 2017) e acima do tolerável pelo mercado, que é de 5,0  $\mu\text{g pol}^{-1}$  (Zonta et al., 2017). Durante o período PF, os maiores índices foram das cultivares BRS 432 RF e BRS 368 RF, com 4,3  $\mu\text{g pol}^{-1}$  e 3,7  $\mu\text{g pol}^{-1}$ , respectivamente, apresentando-se abaixo do padrão varietal que é de 4,4  $\mu\text{g pol}^{-1}$  para a cultivar BRS 430B2RF e 4,1  $\mu\text{g pol}^{-1}$  para a BRS 368 RF, segundo Suassuna et al. (2018) e Barroso et al. (2017), respectivamente.

Quanto à classificação industrial (Sestren & Lima, 2015), os valores médios obtidos por todas as cultivares, para as supressões PB e ETc total, foram classificados como médio. Com relação a supressão IF, as cultivares BRS 432 B2RF e BRS 368 RF foram classificadas como grosso (5,0 a 5,9  $\mu\text{g pol}^{-1}$ ). Já para a supressão PF, a cultivar BRS 430 B2RF foi classificada como muito fina (< 3,0  $\mu\text{g pol}^{-1}$ ), enquanto a cultivar BRS 336 foi classificada como fina (3,0 a 3,9  $\mu\text{g pol}^{-1}$ ) e as cultivares BRS 368 RF e BRS 432 B2RF como média (4,0 a 4,9  $\mu\text{g pol}^{-1}$ ). Por fim, a supressão AC resultou em índice médio (4,0 a 4,9  $\mu\text{g pol}^{-1}$ ) para as cultivares BRS 432 B2RF e BRS 368 RF, e grosso (5,0 a 5,9  $\mu\text{g pol}^{-1}$ ) para as cultivares BRS 430 B2RF e BRS 336. Diversos autores como Cordão Sobrinho et al. (2015) e Zonta et al. (2015) relataram

valores de índice micronaire acima de 5,0  $\mu\text{g pol}^{-1}$  em experimentos com algodão irrigado, sendo classificado como grosso e acima do tolerável pelo mercado.

De acordo com Ge (2007), fibras de algodão com índices de micronaire maior de 5,0  $\mu\text{g pol}^{-1}$  são fibras muito grossas devido ao aumento de irregularidades e imperfeições, causadas pela redução de fibras na seção transversal do fio. No entanto, índices de micronaire menores que 3,5  $\mu\text{g pol}^{-1}$  estão relacionados a fibras imaturas, podendo causar defeitos na fabricação (neps) e, conseqüentemente, redução da eficiência no processo final de tingimento (Kljun et al., 2014).

Analisando o desdobramento da interação dos fatores estudados na MAT, particularmente os períodos de supressão hídrica dentro de cada cultivar, observa-se que nas cultivares BRS 368 RF, BRS 430 B2RF e BRS 336, o período de supressão PF resultou em fibras menos maduras; dentro da cultivar BRS 432 B2RF, observou-se que não houve diferença significativa entre as supressões (Tabela 14).

Os resultados de MIC e MAT apresentaram correlação, já que a maturidade da fibra está ligada à espessura de sua parede, e os valores de micronaire são determinados pela relação entre complexo finura/maturidade da fibra. Em ambos os parâmetros, o período de supressão hídrica mais danoso foi o PF.

**Tabela 14.** Valores médios da maturidade da fibra (MAT) para a interação cultivares x supressões hídricas.

Cultivar	Período de supressão hídrica					Média
	PB	IF	PF	AC	ETc	
BRS 432 B2RF	0,87Aa	0,90Aa	0,88Aa	0,89Aa	0,88Aa	0,88
BRS 368 RF	0,87Aba	0,89Aa	0,86Bab	0,88ABa	0,87Aba	0,87
BRS 430 RF	0,90Aa	0,88Aa	0,84Bb	0,89Aa	0,87Aba	0,88
BRS 336	0,89Aba	0,88ABa	0,86Bab	0,89ABa	0,90Aa	0,88
Média	0,88	0,89	0,86	0,89	0,88	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Períodos de supressão dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos períodos de supressão) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Realizando o desdobramento da interação das cultivares dentro dos diferentes períodos de supressão hídrica na MAT (Tabela 14), observa-se que apenas no período PF, as cultivares diferiram entre si, com a BRS 432 B2RF expressando maior MAT, 0,88%, e a cultivar BRS 430 B2RF apresentando menor MAT, 0,84%, sendo classificadas, respectivamente, como algodão maduro e imaturo, de acordo Sestren & Lima (2015).

A maturidade das fibras é um parâmetro muito importante para a indústria têxtil, pois sua variabilidade tem impacto negativo no produto final, principalmente no tingimento, visto

que as fibras imaturas possuem menor capacidade de absorção da tinta, tornando o tecido desuniforme (Kelly et al., 2015; Kim, 2015).

Com relação a característica de reflectância (Rd), a qual está relacionada à cor da fibra, houve diferença significativa para as cultivares e tratamentos (Tabela 12). Entre os períodos de supressão hídrica aplicados, o ETc total e PB apresentaram as maiores médias, com 82,8% e 82,3%, respectivamente. Com relação as cultivares, a BRS 336 apresentou uma reflectância de 83,2 %, significativamente maior que as outras cultivares, com exceção da BRS 430 B2RF, que apresentou Rd igual a 82,5%. Ambas as cultivares apresentaram valores médios acima do padrão varietal que é de 68,4 a 82,8 % para a BRS 336 e de 81% para a BRS 430 B2RF (Morello et al., 2011; Suassuna et al., 2018).

Quanto a classificação industrial, a reflectância foi classificada como algodão de fibra branco para todas as cultivares (Sestren & Lima, 2015). Segundo Cordão Sobrinho et al. (2015), esses resultados são satisfatórios, pois, quanto maior a reflectância da fibra, menor será seu acinzentamento e em consequência, maior o interesse para a cadeia do algodão e da indústria têxtil por ter um maior valor agregado ao produto. Araújo et al. (2019) encontraram resultados semelhantes avaliando características intrínsecas de fibra do algodão, em Pombal-PB, região Nordeste do Brasil.

Com relação ao grau de amarelo (b+), não houve diferença significativa entre os períodos de supressões hídricas aplicadas, cultivares ou interação entre eles (Tabela 12). As cultivares obtiveram medias que variaram entre 8,0 e 8,9, sendo classificados como branco e estando dentro dos padrões modernos da indústria têxtil (Sestren & Lima, 2015). Zonta et al. (2015b) afirmam que fatores como a aplicação de desfolhantes e desseccantes, ataque de pragas, entre outros, também podem influenciar a cor da fibra. Para Bradow & Davidonis (2000), a cor da fibra está diretamente ligada a fatores ambientais durante a estação de cultivo. Segundo Cordão Sobrinho et al. (2015), conhecer o valor do grau de amarelo é importante, pois a coloração da fibra nem sempre pode ser vista ao olho nu e somente em luz ultravioleta e, se não controlado o grau de amarelo na mistura, pode haver problemas tais como barramento no fio, no tecido e na malha.

Com relação ao índice de fiabilidade (CSP), observa-se que a supressão no IF resultou no menor valor (2367,3), diferenciando-se dos demais tratamentos aplicados, e estes, não diferenciando estatisticamente entre si (Tabela 12). Destaca-se que todas as supressões resultaram em CSP muito alto (> 2250).

Os valores médios das cultivares variaram entre 2625,9 e 2935,45, sendo todas classificadas como muito altas (> 2250). A maior média obtida foi da cultivar BRS 336, com valor de 2935,5, seguida da BRS 430 B2RF, com 2738,3. Estes resultados são satisfatórios,

pois segundo Cordão Sobrinho et al. (2015) os índices de fiabilidade alcançados (classificação alta) traduzem a característica da resistência dos fios que depende especialmente das fibras individuais.

Em síntese, o tratamento controle (ETc total) promoveu os melhores resultados nas variáveis analisadas, mas os tratamentos de períodos de supressões para as diferentes fases fenológicas do ciclo das cultivares BRS 430 B2RF, BRS 368 RF, BRS 430 B2RF e BRS 336 de algodoeiro herbáceo possibilitaram padrões de fibra exigidos pelo mercado e para a indústria do algodão nos dias atuais, exceto algumas variáveis quando a supressão hídrica foi aplicada na época do início do florescimento (IF) e (PF), afetando negativamente a qualidade da fibra do algodoeiro.

Observa-se que as cultivares BRS 432 B2RF e BRS 368 RF apresentaram melhores resultados dentre a maioria das características analisadas. Porém, salienta-se que, apesar de apresentar resultados inferiores, as cultivares BRS 430 B2RF e BRS 336 apresentaram-se dentro do padrão varietal e em conformidade com parte das características tecnológicas exigidas pela indústria têxtil. Os resultados obtidos no presente trabalho demonstram que as quatro cultivares avaliadas possuem potencial para cultivo irrigado na região semiárida, desde que seja realizado o correto manejo da irrigação e demais tratamentos culturais. As diferenças encontradas entre as cultivares eram esperadas, pois segundo Bradow & Davidonis (2000) e Gilio et al. (2017) sempre existem diferenças nas características de qualidade da fibra entre cultivares de distinto genótipo, além do efeito da interação genótipos por ambientes.

Sestren & Lima (2015) afirmam que nos atuais e modernos processos de fiação as características mais importantes das fibras são a finura (micronaire) e a resistência. Com relação as características citadas, as cultivares BRS 432 B2RF e a BRS 336 apresentaram os melhores resultados nesse estudo.

Segundo Zonta et al. (2017), quanto mais uniforme for à amostragem, mais representativos serão os resultados da análise dos componentes da fibra. Os mesmos autores afirmam que quando aplicado estresse hídrico em diferentes fases do ciclo fenológico da cultura, este estresse incide sobre capulhos em diferentes fases de crescimento e maturação, influenciando-os diferentemente.

#### 4. CONCLUSÕES

As variáveis de crescimento área foliar e fitomassa fresca total foram influenciados pelos tratamentos primeiros botões florais, início do florescimento e pico do florescimento, diferindo-se principalmente ao final do ciclo. Por outro lado, a altura das plantas apresentou desenvolvimento diferenciado durante o ciclo e igual no fim.

A ocorrência de supressão hídrica durante as fases de início da abertura das flores e pico do florescimento foram as mais prejudiciais aos componentes de produção das culturas e índices de qualidade de fibra.

As cultivares BRS 432 B2RF, BRS 368RF e BRS 336 são recomendadas para irrigação com períodos de supressão hídrica ou veranicos.

As características tecnológicas das fibras, para todas as cultivares e supressões, se apresentaram dentro do padrão varietal requerido pela indústria têxtil, com exceção do alongamento a ruptura.

Pode-se aplicar curtos períodos de supressão hídrica, na irrigação do algodão, preferencialmente nos estágios iniciais de crescimento e após a abertura dos capulhos.

A irrigação até os 90 dias após a emergência é suficiente para conseguir altas produtividades e boa qualidade de fibra.

## REFERÊNCIAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M.; Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Almeida, E. S. A. B. de; Pereira, J. R.; Azevedo, C. A. V. de; Araújo, W. P.; Zonta, J. H.; Cordão, M. A. Algodoeiro herbáceo submetido a déficit hídrico: Produção. Agropecuária Científica no Semiárido, v.13, n.1, p.22-28, 2017.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v.22, n.6, p.711-728, 2014.
- Araújo, W. P.; Pereira, J. P.; Zonta, J. H.; Guerra, H. O. C.; Cordão, M. A.; Lima, R. F. de. Fiber quality in upland cotton cultivars under water deficit strategies. African Journal of Agricultural Research, v.14, n.23, p.999-1011, 2019.
- Ball, R. A.; Oosterhuis, D. M.; Maromoustakos, A. Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress. Agronomy Journal, v.86, p.788-795, 1994.
- Barroso, P. A. V.; Suassuna, N. D.; Pedrosa, M. B.; Morello, C. de L.; Silva Filho, J. L. da; Lamas, F. M.; Bogiani, J. C. BRS 368RF: A glyphosate tolerant, midseason upland cotton cultivar for Northeast and North Brazilian cerrado. Crop Breed and Applied Biotechnology, v.17, n.4, p.399-402, 2017.
- Bezerra, J. R. C.; Azevedo, P. V. de; Silva, B. B. da; Dias, J. M. Evapotranspiration and crop coefficient of irrigated cotton crop cultivar BRS200 Marrom. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.6, p.625-632, 2010.
- Bradow, J. M.; Davidonis, G. H. Quantization of fiber quality and the cotton production-processing interface: a physiologist's perspective. The Journal of Cotton Science, v.4, p.34-64, 2000.
- Brito, M. E. B.; Soares, L. A. dos A.; Lima, G. S. de; Sá, F. V. da S.; Araújo, T. T. de; Silva, E. C. B. da. Crescimento e formação de fitomassa do tomateiro sob estresse hídrico nas fases fenológicas. Irriga, v. 20, n. 1, p. 139-153, 2015.
- 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, Ciência e Tecnologia da UVA, v.16, n.2, 2015.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos. Décimo segundo Levantamento, Setembro - 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 05 jan. 2019.
- Cordão, M. A.; Araújo, W. P.; Pereira, J. R.; Zonta, J. H.; Lima, R. F. de; Ferreira, F. N. Cultivares de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico aplicado em fases fenológicas. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.13, n.3, p.313-321, 2018.

Cordão Sobrinho, F. P.; Fernandes, P. D.; Beltrão, N. E. de M.; Soares, F. A. L.; Terceiro Neto, C. P. C. Crescimento e rendimento do algodoeiro BRS – 200 com aplicações de cloreto de mepiquat e lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.284-292, 2007.

Cordão Sobrinho, F. P.; Guerra, H. O. C.; Araujo, W. P.; Pereira, J. R.; Zonta, J. H.; Bezerra, J. R. C. Fiber quality of upland cotton under different irrigation depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande*, v.19, n.11, p.1057–1063, 2015.

Echer, F. R. O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá-MT. Instituto Mato-grossense do Algodão - Imamt, 2014. 123 p.

Ferreira, D. da S.; Silva, S. C. da (Ed). Catálogo de cultivares de algodão: safra 2019-2020. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2019.

Ferreira, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. *Ciência e Agrotecnologia*. vol.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

Freire, E. C. Fatores que afetam a qualidade das fibras. In: Freire, E. C. Algodão no cerrado do Brasil. Brasília: Positiva. 2015. p.653-750.

Gava, R.; Frizzone, J. A.; Snyder, R. L.; Jose, J. V.; Fraga Junior, E. F.; Perboni, A. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.9, n.6, p.349-359, 2015.

Ge, Y. Mapping In-field cotton fiber quality and relating it to soil moisture. Texas A&M University, 2007.

Gerik, T. J.; Faver, K. L.; Thaxton, P. M.; El-zik, K. M. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water use and yield. *Crop Science*, v.36, p.914-921, 1996.

Gilio, T. A. S.; Araújo, D. V. de; Krause, W.; Rosa, H. H. R.; Ascari, J. P. Genetic divergence among cotton genotypes grown in the main season and off season. *Revista Caatinga*, v.30, n.2, p.377-390, 2017.

Jordan, W. R. Growth of cotton seedlings in relation to maximum daily plant-water potential. *Agronomy Journal*, v.62, p.699-701, 1970.

Kelly, B.; Abidi, N.; Ethridge, D.; Hequet, E. F. Fiber to fabric. In: Fang, D. D.; Percy, R. G. (Eds.). *Cotton*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, 2015, p.665-744.

Kim, H. J. Fiber biology. In: Fang, D. D.; Percy, R. G. (Eds.). *Cotton*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, 2015. p.97-127.

Kljun, A.; El-Dessouky, H. M.; Benians, T. A.; Goubet, F.; Meulewaeter, F.; Knox, J. P.; Blackburn, R. S. Analysis of the physical properties of developing cotton fibers. *European Polymer Journal*, v.51, p.57-68, 2014.

- Lana, V.; Ribas, P. V.; Chanselme, J-L. Classificação do algodão. In: Chanselme, J-L. Manual de beneficiamento. Cuiabá: AMPA; IMAmt, 2014, p. 301-313.
- Lawlor, D. W., Tezara, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. *Annals of Botany*, v.103, n.4, p.561-579, 2009.
- Lima, J. J. de. A indústria têxtil e a qualidade da fibra de algodão. In: Chanselme, J-L. Manual do beneficiamento. Cuiabá: AMPA; IMAmt, 2014, p.316-337.
- Marouelli, W. A.; Oliveira, A. S. de; Coelho, E. F.; Nogueira, L. C.; Sousa, V. F. de. Manejo da água de irrigação. In: Sousa, V. F. de; Marouelli, W. A.; Coelho, E. F.; Pinto, J. M.; Coelho Filho, M. A. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p.159-232.
- McMichael, B. L.; Hesketh, J. D. Field investigations of the response of cotton to water deficits. *Field Crops Research*, v.5, p.319-333, 1982.
- Melo, A. V. de.; Santos, V. M. de.; Varanda, M. A.; Cardoso, D. P.; Dias, M. A. R. Desempenho agrônomico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no sul do Estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.17, n.2, p.117-189, 2018.
- Morello, C. L.; Pedrosa, M. B.; Chitarra, L. G.; Suassuna, N. D.; Silva Filho, J. L.; Freire, E. C.; Benites, F. R. G.; Farias, F. J. C.; Lamas, F. M.; Andrade, F. P.; Barroso, P. A. V.; Ribeiro, P. A. V.; Godinho, V. P. BRS 336 cultivar de alta qualidade de fibra para cultivo no cerrado e no semiárido do Brasil. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2p, 2011.
- Morello, C. de L.; Pedrosa, M. B.; Suassuna, N. D.; Lamas, F. M. Chitarra, L. G.; Silva Filho, J. L.; Andrade, F. P.; Barroso, P. A. V.; Ribeiro, J. L.; Godinho, V. de P. C.; Lanza, M. A. BRS 336: cultivar de algodoeiro de alta qualidade de fibra para cultivo no cerrado e semi-árido do Brasil. *Crop Breed and Applied Biotechnology*. v.12, n.1, p.92-95, 2012.
- Oweis, T.Y.; Farahani, H. J.; Hachum, A.Y. Evapotranspiration and water use of full and deficit irrigated cotton in the Mediterranean environment in northern Syria. *Agricultural Water Management*, vol.98, n.8, p.1239-1248, 2011.
- Parida, A. K.; Dagaonkar, V. S.; Phalak, M. S.; Umalkar, G. V.; Aurangabadkar, L. P. Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery. *Plant Biotechnology Reports*, v.1, p.37-48, 2007.
- Pinheiro, C.; Chaves, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data. *Journal of Experimental Botany*, v.62, n.3, p.869-882, 2011.
- Resende, M. A. V.; Freitas, J. A.; Lanza, M. A.; Resende, D. V.; Azevedo, C. F. Divergência genética e índice de seleção via BLUP em acessos de algodoeiro para características tecnológicas de fibra. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.44, n.3, p.334-340, 2014.
- Riaz, M.; Farooq, J.; Sakhawat, G.; Mahmood, A.; Sadiq, M. A.; Yaseen, M. Genotypic variability for root/shoot parameters under water stress in some advanced lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Genetics and Molecular Research*, v.12, n.1, p.552-561, 2013.

- Santos, D. dos; Guimarães, V. F.; Klein, J.; Fioreze, S. L.; Macedo Júnior, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.8, p.836-842, 2012.
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Cunha, T. J. F.; Oliveira, J. B. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa, 353p, 2013.
- Santos, J. W. dos; Beltrão, N. E. de M. Experimentação agrícola na cotonicultura herbácea. In: Beltrão, N. E. de M.; Azevedo, D. M. P. de. (Ed.). *O Agronegócio do Algodão no Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.2, p.1281-1291.
- Santos, R. F.; Carlesso, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.3, n.2, p.287-294, 1998.
- Sestren, J. A.; Lima, J. J. Características e classificação da fibra de algodão. In: Freire, E. C. (Ed.) *Algodão no cerrado do Brasil*. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. 3.ed. Brasília: Positiva, 2015, p.653-750.
- Silva, F. A. S.; Rao, T. V. R. Regimes pluviiais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, p.453-459, 2002.
- Suassuna, N. D.; Morello, C. de L.; Pedrosa, M. B.; Barroso, P. A. V.; Silva Filho, J. L. da; Suassuna, T. de M. F.; Perina, F. J.; Sofiatti, V.; Magalhães, F. O. da C.; Farias, F. J. C. BRS 430 B2RF and BRS 432 B2RF: Insect-resistant and glyphosate-tolerant high-yielding cotton cultivars. *Crop Breed and Applied Biotechnology*. v.18, n.1, p.221-225, 2018.
- Taiz, L.; Zeiger, E. Møller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.
- Turner, N. C.; Hearn, A. B.; Begg, J. E.; Constable, G. A. Cotton (*Gossypium hirsutum* L.): physiological and morphological responses to water deficits and their relationship to yield. *Field Crops Research*, v.14, p.153-170, 1986.
- Unlu, M.; Kanber, R.; Koc, D. L.; Tekin, S.; Kapur, B. Effects of deficit irrigation on the yield and yield components of drip irrigated cotton in a mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, v.98, n.4, p.597-605, 2011.
- Van Rensburg, L.; Kruger, G. H. J. Evaluation of components of Oxidative stress metabolism for use selection of drought tolerant cultivars of *Nicotiana tabacum* L. *Journal of Plant Physiology*, v.143, n.6, p.730-737, 1994.
- Vasconcelos, U. A. A.; Cavalcanti, J. J. V.; Farias, F. J. C.; Vasconcelos W. S.; Santos, R. C. dos. Diallel analysis in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) for water stress tolerance. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.18. p.24-30, 2018.
- Wen, Y.; Rowland, D. L.; Piccinni, G.; Cothren, J. T.; Leskovar, D. I.; Kemanian, A. R.; Woodard, J. D. Lint yield, lint quality, and economic returns of cotton production under traditional and regulated deficit irrigation schemes in southwest Texas. *The Journal of Cotton Science*, v.17, n.1, p.10-22, 2013.

Zhao, W.; Li, J.; Li, Y.; Yin, J. Effects of drip system uniformity on yield and quality of Chinese cabbage heads. *Agricultural Water Management*, v.110, p.118–128, 2012.

Zonta, J. H.; Bezerra, J. R. C. B.; Sofiatti, V.; Farias, F. J. C.; Carvalho, L. P. de. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. *Revista Caatinga*, v.28, n.4, p.43-52, 2015a.

Zonta, J. H.; Brandão, Z. N.; Rodrigues, J. I da S.; Sofiatti, V. Cotton response to water deficits at different growth stages. *Revista Caatinga*, v.30, n.4, p.980-990, 2017.

Zonta J. H.; Bezerra, J. R. C.; Sofiatti, V.; Brandão, Z. N. Yield of cotton cultivars under different irrigation depths in the Brazilian semi-arid region. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.19, n.8, p.748-754, 2015b.

## **CAPÍTULO 3 - TEMPERATURA DO DOSEL E GRAUS DIAS ACUMULADOS EM ALGODOEIRO SOB SUPRESSÃO HÍDRICA**

### **RESUMO**

A temperatura do dossel é um dos melhores indicadores da saúde das plantas, é considerada uma alternativa eficaz de diagnóstico do potencial hídrico da mesma, e tem sido usada com sucesso para o manejo da irrigação. O objetivo deste estudo foi avaliar, através da termometria a infravermelho, a temperatura do dossel do algodoeiro sob supressão hídrica em diferentes estágios fenológicos e determinar os graus dias acumulados através da temperatura do dossel. A temperatura do dossel foi obtida usando sensores sem fio de temperatura infravermelho SmartCrop®. Foram aplicados períodos de supressão hídrica de 15 dias nos seguintes estágios fenológicos: Primeiros botões florais, Início do florescimento, Pico do florescimento e Abertura dos capulhos, além da testemunha irrigada sem supressão hídrica. De acordo com os resultados, durante os períodos de supressão hídrica, a temperatura do dossel esteve sempre acima da temperatura ótima para o metabolismo do algodoeiro, e sempre maiores quando comparadas ao tratamento controle. Devido a supressão hídrica, a produtividade do algodoeiro foi significativamente reduzida, com os piores resultados para a supressão aplicada durante o florescimento (início e pico). Os graus dia acumulados variaram em função do estresse hídrico, com as plantas completando seu ciclo mais precocemente. O período de espessamento das fibras foi influenciado pela variação na temperatura do dossel devido ao estresse hídrico, resultando na redução da produtividade e podendo refletir em declínio da qualidade da fibra.

**Palavras-chave:** Irrigação. Termometria por infravermelho. Ciclo fenológico. Estresse hídrico.

## ABSTRACT

Canopy temperature is one of the best integrators of plant health, is considered an effective alternative for the diagnosis of the water potential of the same, and has been successfully used for irrigation scheduling. The objective of this study was to evaluate, through infrared thermometry, the canopy temperature of cotton plants under water stress at different stages of the crop cycle and to determine the accumulated degree days based on canopy temperature. Canopy temperature was obtained using SmartCrop® wireless infrared temperature sensors. It was applied water suppression periods of 15 days at the following phenological stages: First Square, First Flower, Peak Bloom and Opening Bolls and control treatment. The results showed that during water suppression periods, the canopy temperature values were always above the optimum temperature for cotton metabolism, and always larger when compared to the treatment control. As a result of the stress caused by water suppression, cotton yield was significantly reduced, with the higher yield losses recorded when applied suppression occurred during flowering stages (beginning and peak). Accumulated degree days also varied according to water stress, with a shortened phenological cycle for treatments with water suppression in comparison to the control without stress. The period for fiber thickening was also influenced by the variation in canopy temperature due to water stress, resulting in a productivity reduction and can reflect in decline of the fiber quality.

**Keywords:** Irrigation. Infrared thermometry. Phenological cycle. Water stress.

## 1. INTRODUÇÃO

A temperatura do dossel é um dos melhores indicadores da saúde das plantas e uma medida direta da energia que está sendo liberada pela mesma. Conseqüentemente, o monitoramento contínuo da temperatura do dossel, através de sensores infravermelho, pode fornecer informações em tempo real do potencial de água na planta, uso da água e funções metabólicas.

Bockhold et al. (2011) encontraram que a temperatura do dossel pode ser usada para quantificar o estresse hídrico da planta, já que em condições não estressadas, as plantas transpiram eficientemente, mantendo a temperatura dentro da faixa interna ideal. O fechamento estomático em uma planta estressada pode suprimir a transpiração, elevando a temperatura das folhas (Larcher, 2000). De acordo com Amani et al. (1996), para cada genótipo, a temperatura do dossel é uma função de vários fatores ambientais, principalmente o potencial hídrico da planta, temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar.

A temperatura do dossel pode fornecer uma medição mais confiável do acúmulo de unidades termais, ou graus dias acumulados (GDA), que é um importante parâmetro a ser avaliado, já que o desenvolvimento da cultura é um reflexo dos fatores ambientais durante a estação de crescimento, e a produtividade é o resultado acumulado do metabolismo das plantas ao longo do período. Portanto, as condições meteorológicas são determinantes para a produtividade da cultura, uma vez que o acúmulo de temperatura, do plantio a colheita, é o principal fator do crescimento e desenvolvimento das culturas (Mahan et al., 2014).

O monitoramento contínuo da temperatura do dossel é uma maneira confiável de determinar os GDA no algodão, especialmente sob condições de estresse hídrico, devido a temperatura do ar não refletir as mudanças metabólicas e fisiológicas da planta, devido ao fechamento estomático e redução da transpiração (Reddall et al., 2007, Mahan et al., 2014). Peng et al. (1989) publicaram que o uso do GDA para o algodão foi mais confiável quando utilizado sob condições adequadas de disponibilidade de água.

Esse fator pode ser corrigido utilizando a temperatura do dossel em vez da temperatura do ar para valores de GDA. Kimball et al. (2012) concluíram que o cálculo dos GDA para o cultivo do trigo, baseado na temperatura do dossel, foi útil na avaliação dos efeitos na variação da temperatura ambiente, e que isso melhorou os dados quando comparados os tratamentos irrigados e em sequeiro. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o uso da temperatura do dossel para a avaliação do estresse hídrico em diferentes fases do ciclo da cultura do algodão, calculando os graus dias acumulados sob as mesmas condições.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### Localização

O experimento foi conduzido de junho a novembro de 2016, na Estação Experimental da EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, localizada na cidade de Apodi, com coordenadas geográficas: 5° 37' 19"S e 37° 49' 06"O e altitude de 132 m.

De acordo com a classificação de Koppen, o clima predominante da região é do tipo BSh, ou seja, semiárido quente e seco, apresentando um período chuvoso entre os meses de fevereiro e maio, com precipitação média anual de 893 mm e evapotranspiração média anual de 2190 mm. A temperatura média anual é de 27,1 °C, enquanto que a máxima média é de 34,1 °C e a mínima média é de 22,8 °C. A umidade relativa média é igual a 66,8%, e a insolação média da região é de 3041 horas por ano, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Ramos et al., 2009).

O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo Eutrófico (EMBRAPA SOLOS, 2013), e a textura argilo arenosa, com 49% de areia, 45% de argila e 6% de silte. A fertilização foi conduzida baseando-se na fertilidade do solo e nas recomendações técnicas para o algodão (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características químicas do solo da área experimental em Apodi, RN, de 0-40 cm de profundidade.

pH	MO	P	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H + Al	CTC	SB
água	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )				(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
6,20	16,4	10,7	0,4	1,6	34,8	10,0	23,1	69,9	46,8

Fonte: Autor.

### Cultura do algodão e dados agronômicos

A cultivar de algodão utilizada no experimento foi a BRS 368RF, que é geneticamente modificada com resistência ao herbicida glifosato. O estudo foi realizado sob sistema de plantio direto e sem práticas de desbaste do algodão. A semeadora mecanizada com três linhas foi usada para o plantio. Para o controle de plantas daninhas, doenças e insetos pragas, foram seguidas as recomendações técnicas preconizadas para a cultura do algodoeiro. Dados agronômicos e da irrigação são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Dados agronômicos e parâmetros de irrigação durante o ciclo do algodão.

<b>Variáveis</b>	
Data do plantio	06/07/2016
Espaçamento entre linhas	0,8 m
Densidade de plantio	8 -12 plantas m <sup>-1</sup>
Fertilização do plantio	150 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e 30 kg de N (MAP*)
Adubação de cobertura	150 kg de N ha <sup>-1</sup> (Uréia)
Última irrigação	28/10/2016 (105 DAE)
Data da colheita	21/11/2016
Período do ciclo da cultura	127 dias
Precipitação total durante o ciclo de crescimento	0,0 mm

\* MAP – Fosfato Monoamônico

Fonte: Autor.

### **Tratamentos e projeto experimental**

Foi usado nesse estudo o delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela experimental consistiu de quatro linhas de 6,0 m espaçadas a 0,8 m entre linhas. Cada parcela de 4,8 m<sup>2</sup>, teve uma área útil de duas linhas, excluindo 1,0 m de cada borda.

Os tratamentos consistiram de quatro períodos de supressão hídrica incluindo, Primeiros botões florais (PB), Início do florescimento (IF), Pico do florescimento (PF), Abertura dos capulhos (AC) e tratamento controle (sem déficit hídrico). A reposição de água baseada na evapotranspiração da cultura foi determinada através do método de Penman-Monteith FAO 56 (Equação 1):

$$L_{bruta} = ETC/Ea \quad (1)$$

onde:

L<sub>bruta</sub> – Lâmina bruta de irrigação, mm

ETC – Evapotranspiração da cultura, mm

Ea – Eficiência de aplicação, decimal

A evapotranspiração da cultura (ETC) é fornecido na Equação 2:

$$ETC = ET_0 \times Kc \quad (2)$$

onde:

ET<sub>0</sub> – Evapotranspiração de referência baseada na metodologia de Penman-Monteith (Allen et al., 1998)

Kc – Coeficiente de cultivo do algodão, estimado pelo número de dias após a emergência (Bezerra et al., 2010)

$$Kc = -0,00006.DAE^2 + 0,011.DAE + 0.5703 \quad (3)$$

onde:

DAE – Dias após a emergência

Um sistema de irrigação por aspersão convencional fixo, com espaçamento entre aspersores de 12 x 15 m, foi usado para realizar a irrigação, com intensidade de 9 mm h<sup>-1</sup> e Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e eficiência de irrigação (considerando vento e perdas por evaporação) iguais a 85 e 63%, respectivamente. As irrigações foram realizadas a cada três dias e meio, baseado na capacidade de armazenamento de água no solo, afim de manter o teor de água disponível acima de 40%, que foi obtido através de monitoramento diário via Sonda Diviner.

Os tratamentos com supressão hídrica consistiram em 15 dias sem irrigação, em estágios predeterminados (Tabela 3). Após o período sem irrigação, as plantas foram irrigadas normalmente, segundo o modelo de cálculo da ETc.

**Tabela 3.** Período de supressão hídrica em cada tratamento.

<b>Tratamento</b>	<b>Início do período sem irrigação</b>	<b>Período de supressão hídrica</b>	<b>Lâmina de irrigação (mm)</b>
Primeiros botões florais (PB)	Aparecimento do primeiro botão floral em pelo menos 10% das plantas	35 – 51	673
Início do florescimento (IF)	Abertura da primeira flor em pelo menos 10% das plantas	52 – 63	675
Pico do florescimento (PF)	Enchimento das maçãs. Pelo menos 10% das plantas altamente frutificadas, com os frutos completamente cheios.	64 – 80	632
Abertura dos capulhos* (AC)	Abertura dos capulhos em pelo menos 10% das plantas	A partir de 90	718
Controle (ETc total)	Sem supressão de irrigação durante todo o ciclo da cultura		780

\* Esse tratamento não recebeu irrigações após o período de supressão, porque aconteceu pouco antes da remoção da irrigação. DAE: Dias após a emergência.

Fonte: Autor.

## Temperatura do dossel e graus dias acumulados

A temperatura do dossel foi monitorada ao longo da estação de crescimento, usando um sistema SmartCrop de termômetros infravermelhos sem fio (IR) (Smartfield Inc., Lubbock, Texas, USA, <http://www.smartfield.com/>). O sistema SmartCrop® foi previamente descrito por Mahan & Yeater (2008) e Mahan et al. (2010). O sistema SmartCrop® usa uma combinação de sensores sem fio de termômetros infravermelhos instalados no campo e uma estação base, situada próxima a área experimental, para coleta contínua de dados. Um sensor SmartCrop® foi instalado em cada parcela, posicionado 20 cm acima do dossel da cultura, com ângulo de visão de aproximadamente 60°. A altura dos sensores foi ajustada semanalmente, seguindo o crescimento da planta, com o intuito de manter as medições feitas a 20 cm acima do dossel.

Cada sensor SmartCrop® tem um campo de visão na proporção de 1:1, possibilitando uma área de observação de 20 cm de diâmetro com base na altura de 20 cm acima do dossel. Os dados foram coletados com intervalos de 1 minuto, e a média foi calculada a cada 15 minutos. Após isso, os dados foram enviados a cada hora, via conexão por dados móveis, para armazenamento e subsequente análise.

A coleta da temperatura do dossel começou em 46 DAE, já que a medição em plantas excessivamente jovens, e pouco desenvolvidas, reflete exagerada exposição do sensor ao solo, interferindo na confiabilidade dos dados.

Os GDA foram calculados pela temperatura média diária do dossel e também pela temperatura média diária do ar, medido a 2 m acima do dossel pela estação base da SmartCrop®. Uma temperatura base de 15,6°C foi usada para os cálculos dos GDA, por ser considerada a temperatura mínima para o crescimento do algodão (Reba et al., 2014). Os valores de GDA foram calculados pela equação

$$GDA = \sum (T_m - 15,6^\circ C) \quad (4)$$

onde:

T<sub>m</sub> – Temperatura média, °C;

## Colheita e análise dos dados

A colheita do algodão foi realizada manualmente e a produtividade calculada por parcelas. Todos os dados foram submetidos à análise Análise de Variância (ANAVA) e ao Teste de comparação de médias de Tukey a probabilidade de 1% ( $p \leq 0.01$ ) e 5% ( $p \leq 0.05$ ) pelo software Sisvar 5.3 (Ferreira, 2010).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Temperatura do dossel

A temperatura do dossel aumentou durante as supressões hídricas (Tabela 4). Isso é consistente com os resultados obtidos e acredita-se ser resultado do fechamento dos estômatos e, portanto, um decréscimo na transpiração. De acordo com Keener & Kircher (1983), quando a disponibilidade de água na folha é reduzida, a transpiração diminui e a planta perde a capacidade de resfriar seus tecidos.

A média da temperatura do dossel durante o período de crescimento (46 ao 108 DAE), mesmo para tratamentos sujeitos a supressão hídrica, estavam dentro do intervalo ótimo para a manutenção das funções fisiológicas e características bioquímicas do algodão, que é aproximadamente 28°C, de acordo com Wanjura et al. (1995) e Mahan et al. (2005). Bockhold et al. (2011) encontraram valores similares, igual a 28,5°C, tanto para algodão bem irrigado, quanto sob estresse hídrico. No entanto, Mahan et al. (2014) encontraram valores de 23,1°C para o algodão irrigado e 25,7°C para o algodão sob estresse hídrico.

Existem duas razões para esses resultados. O primeiro é que, avaliando a temperatura média do dossel para o ciclo inteiro, o período de apenas 15 dias de supressão hídrica é muito pequeno, atenuando os efeitos. O segundo é que esses valores médios levam em conta a temperatura noturna, que é menos sensível ao estresse hídrico (Mahan et al., 2012).

Portanto, a fim de avaliar cuidadosamente os resultados, os dados de temperatura noturna foram excluídos, e a temperatura média do dossel foi calculada considerando apenas o período diurno (06:00 às 18:00 h) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Temperatura do dossel do algodoeiro e produtividade para quatro tratamentos de supressão hídrica, no período de 46 a 108 DAE.

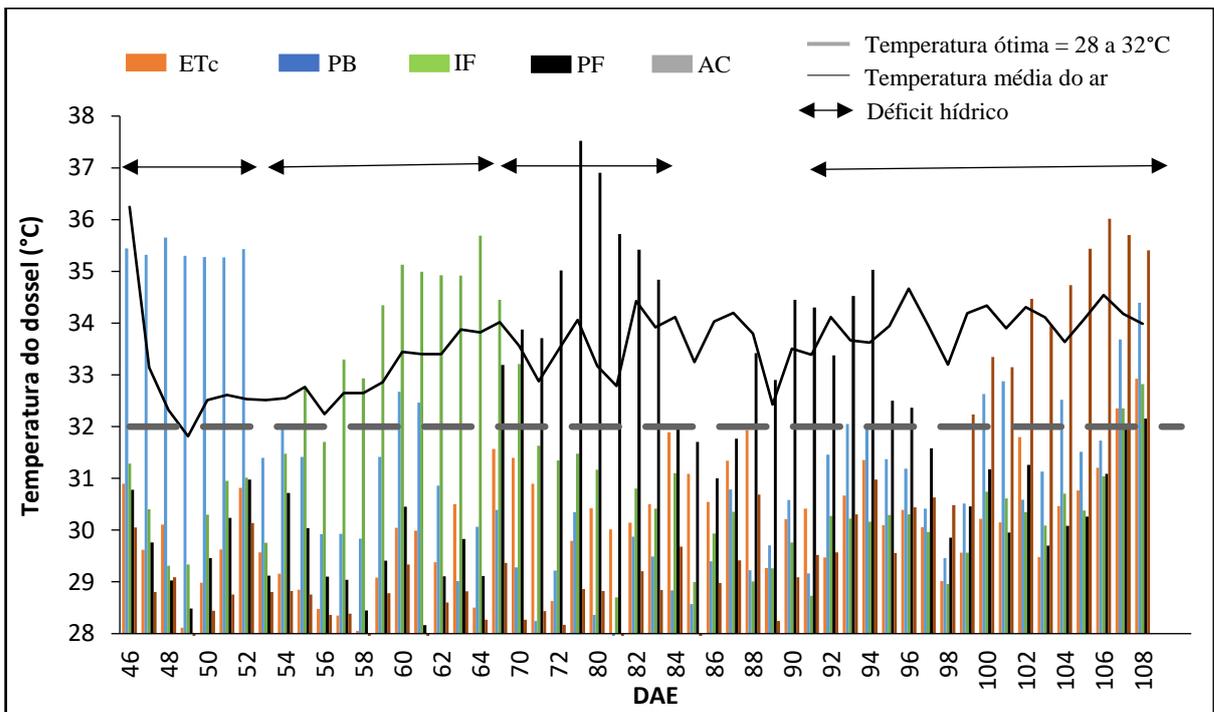
Tratamento	Temperatura média do dossel (°C)	Temperatura média diurna (°C)	Diferença entre temperatura média diária e diurna (°C)	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Reduções de produtividade (%)
Controle	26,9a	29,9a	3,0	6281a	0,0
Primeiros botões florais	28,2b	31,2ab	3,0	3768b	40,1
Início do florescimento	28,3b	32,2ab	3,7	1668b	73,4
Pico do florescimento	28,1b	31,8b	3,	2250b	64,2
Abertura dos capulhos	27,8ab	30,2ab	2,4	6087a	3,1

Fonte: Autor.

Houveram diferenças significativas na produtividade do algodão entre os tratamentos realizados (Tabela 4), com as maiores perdas de rendimento devido a supressão hídrica aplicado durante os estágios de floração. A alta sensibilidade do algodão durante a fase de florescimento ocorre porque, mesmo com reduzidos acréscimos acima de 32°C, vários processos como o desenvolvimento de pólen e fertilização são inibidos (Snider et al., 2011). Portanto, considerando que o sucesso da fertilização é um requerimento básico para a produção de sementes e fibras, pequenos acréscimos de temperatura acima do ótimo podem diminuir o rendimento do algodão como resultado das limitações na qualidade da fibra por semente (Pettigrew, 2008).

O tratamento controle apresentou a menor temperatura de dossel durante o período diurno (29,9°C) e próximo do ótimo fisiológico relatado de 28°C (Burke et al., 1988). Por outro lado, a temperatura média foi acima de 30 °C, para tratamentos com supressão hídrica, em pelo menos um estágio do ciclo fenológico. A maior temperatura média do dossel foi observada quando a supressão foi aplicada no início do florescimento (32,2°C), e esteve acima da temperatura ótima para o controle da transpiração nas folhas de algodão (Burke et al., 1988). Esses resultados estão de acordo com os encontrados anteriormente por Pettigrew (2004). O tratamento IF também teve a menor produtividade e 73% menor do que o tratamento controle (ETc total) (Tabela 4). De acordo com Pinto et al. (2010) e Gutierrez et al. (2010), condições ambientais de estresse hídrico mostraram correlação negativa entre temperatura do dossel e a produtividade.

A Figura 1 mostra a variação da temperatura média diurna do dossel e a temperatura média diurna do ar, onde pode-se observar os momentos em que as plantas estiveram sob estresse, representados pela temperatura do dossel acima dos 32°C, que é acima do limite aceitável para o crescimento. Durante o período de estresse hídrico, a temperatura do dossel, para cada tratamento, atingiu valores em torno de 35°C, bem acima da faixa superior de temperatura ótima para o metabolismo do algodão e indicador de estresse da planta. Wiggins et al. (2014) encontraram valores médios de temperatura diurna iguais a 32,6°C e 30,0°C para algodão sob estresse hídrico e bem irrigado, respectivamente, corroborando com os valores obtidos nesse presente estudo.



**Figura 1.** Temperatura média diurna do dossel a 46 DAE para cada tratamento com supressão hídrica. Considerou-se estresse as temperaturas maiores que 32°C.

Fonte: Autor.

Em comparação, o tratamento controle (ETc total), que foi bem irrigado ao longo de todo o ciclo, não registrou temperaturas do dossel acima dos 32°C durante o período de avaliação, demonstrando que a planta estava sendo abastecida com água suficiente para evitar estresse significativo e perda de produtividade.

Após a irrigação ser retomada, a temperatura do dossel para diferentes tratamentos permaneceu dentro da faixa de temperatura ideal. No entanto, a temperatura do dossel para os tratamentos com supressão hídrica durante os estágios de enchimento dos frutos, isto é, pico do florescimento e abertura dos capulhos, manteve-se maior do que o limite superior do intervalo ótimo.

Comparando-se a temperatura do dossel com a temperatura do ar, foi possível observar que as temperaturas do dossel referentes ao tratamento controle (ETc total), bem irrigado, foram sempre inferiores a temperatura do ar, enquanto que para tratamentos com déficit hídrico, as temperaturas do dossel foram acima das temperaturas do ar, mas apenas para o período onde as plantas estavam sob estresse hídrico. A temperatura do dossel referente ao tratamento controle (ETc total) foi em média 3,5°C abaixo da temperatura do ar. Burk & Upchurch (1989) encontraram que as plantas de algodão resfriam suas folhas em até 10,0°C abaixo da temperatura do ar, pelo uso da transpiração, enquanto Nobel et al., (1999) relataram reduções de até 6°C.

A Figura 1 e Tabela 5 mostram valores médios da temperatura do dossel diurna durante o período de estresse. Foi observado que em todos os períodos de estresse hídrico, independentemente do início do tratamento, a temperatura diurna do dossel foi maior em, 5,8; 4,0; 3,7 e 2,6°C, para os tratamentos PB, IF, PF e AC, respectivamente, em comparação ao tratamento controle. Esse cenário ocorreu devido as plantas apresentarem, durante o período diurno, uma redução na transpiração, resultando em temperaturas maiores.

Após o início da abertura dos capulhos, apesar do aumento da temperatura do dossel acima do ideal, e também acima do limite superior de 32°C, as plantas não sofreram significativa perda de produtividade em comparação com o tratamento controle (Tabela 4). Esses resultados demonstram que nesse estágio de desenvolvimento, a irrigação poderia ter sido reduzida ou encerrada, contabilizando um total de 62 mm de água economizada em comparação ao tratamento controle (Tabela 2).

O valor da temperatura do dossel é considerado uma simples, e útil, maneira de programar a irrigação do algodão, especialmente para automatização de sistema de irrigação dentro de um ambiente de precisão, como citado por Evett et al. (2002), Sadler et al. (2002) e Peters & Steven (2008). Além disso, a temperatura do dossel fornece informação direta do estado hídrico da planta, em comparação com outras tecnologias que oferecem medidas indiretas, como a umidade do solo e/ou dados meteorológicos. Adicionalmente, as contínuas medições da temperatura do dossel (a cada 15 minutos), fornecem uma resolução excelente da condição da cultura durante todos os estágios fisiológicos de desenvolvimento (Mahan et al., 2012).

Mason & Singh (2014) relataram que a temperatura do dossel é uma útil ferramenta para a seleção fenotípica de genótipos tolerantes ao estresse hídrico, pois integra muitas respostas fisiológicas através de uma mensuração rápida, simples e de baixo custo.

**Tabela 5.** Temperatura média diurna do dossel durante o período de supressão hídrica.

Tratamento	Período de supressão (Dias após emergência)	Temperatura média diurna do dossel durante o período de estresse hídrico (°C)	
		Tratamentos	Tratamento controle (ETc)
Primeiros botões florais (PB)	35 – 51	35,3B	29,5A
Início do florescimento (IF)	52 – 63	33,3B	29,3A
Pico do florescimento (PF)	64 – 80	33,9B	30,2A
Abertura dos capulhos (AC)	A partir de 90	33,2A	30,6A

\* Médias seguidas pela letra maiúscula na mesma linha não diferem significativamente pelo teste t.  
Fonte: Autor.

## Graus Dias Acumulados (GDA)

Os valores de GDA variaram entre 1329 (ETc) a 1403 (PF), o valor obtido pela temperatura do ar foi 1364 (Tabela 6). Essa diferença levou a variações no ciclo da cultura, modificando o tempo de aplicação, desfolhantes e dessecantes (70% dos capulhos abertos) (EMBRAPA Algodão, 2014). Davidonis et al. (2004) e Yeates et al. (2010) também publicaram que o desenvolvimento do algodão é afetado pela temperatura. Baseando-se no GDA, o novo arranjo para a aplicação de desfolhantes segue a mesma ordem de finalização do ciclo da cultura, que por sua vez foi atribuída pela maior acumulação de GDA, na ordem: PF, PB, IF, AC e ETc.

**Tabela 6.** Variação na acumulação de graus dias acumulados resultante de diferentes tratamentos de supressão hídrica baseados na temperatura do dossel e temperatura do ar.

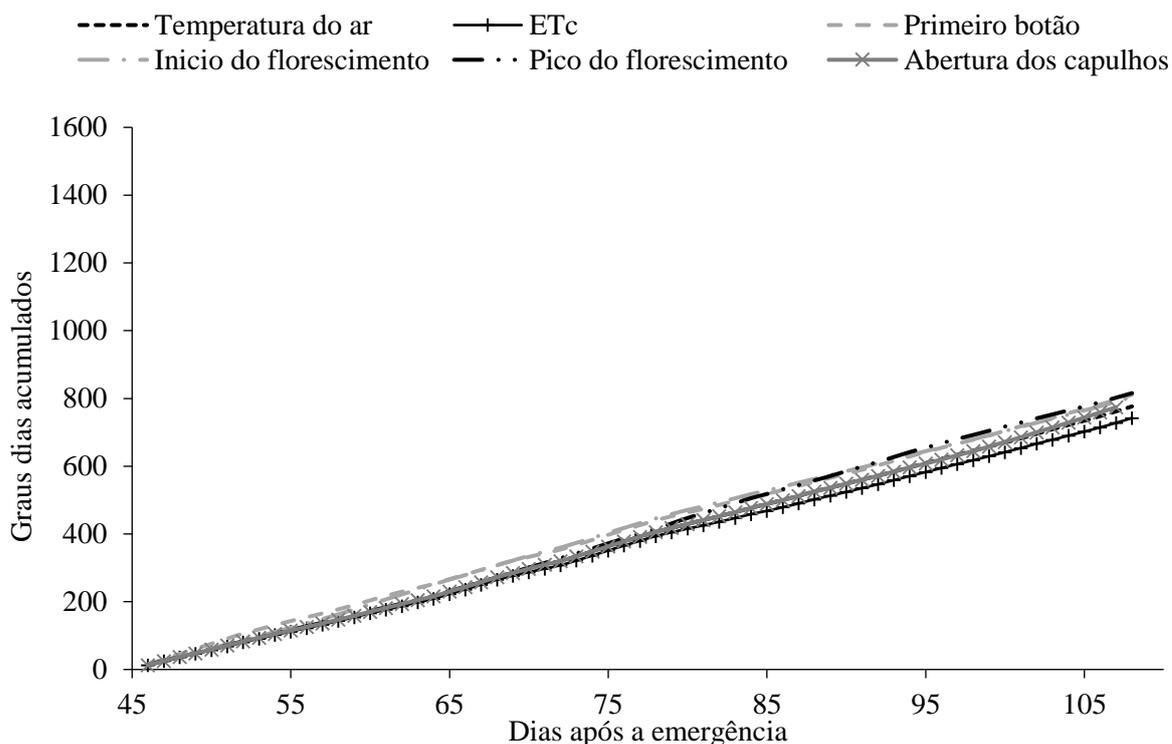
Tratamento	Graus dias acumulados
Temperatura do Ar	1364
Tratamento controle	1329
Primeiro botão floral	1398
Início do florescimento	1392
Pico do florescimento	1403
Abertura dos capulhos	1377

Fonte: Autor.

Até 46 DAE, os GDA, de todos os tratamentos, tiveram o mesmo padrão de acumulação, já que os cálculos foram baseados na temperatura do ar (Figura 2). Após 46 DAE, quando a temperatura do dossel começou a ser monitorada, variações entre tratamentos foram observadas, com o tratamento controle (ETc) tendo apresentado sempre os menores valores (Figura 2).

Isso demonstra que o estresse hídrico no algodão induz a variações nos GDA, como previamente relatado por Mahan et al. (2014). Portanto, o uso dos GDA para monitorar o ciclo fenológico do algodão, baseado apenas na temperatura do ar, pode provocar erros, tendo em vista que esse parâmetro não é capaz de considerar o estresse hídrico sofrido pelas plantas.

Peng et al. (1989) e Mahan et al. (2014) observaram que o uso dos GDA no algodão, baseados na temperatura do ar, é mais útil em áreas irrigadas bem manejadas e menos em áreas onde ocorre déficit hídrico. Portanto, sob condições de estresse hídrico, a determinação dos GDA baseados na temperatura do dossel é uma ferramenta mais adequada para determinar os estágios fenológicos de desenvolvimento.



**Figura 2.** Graus dias acumulados durante a estação de crescimento para os tratamentos de déficit hídrico de temperatura do dossel e temperatura do ar.

Fonte: Autor.

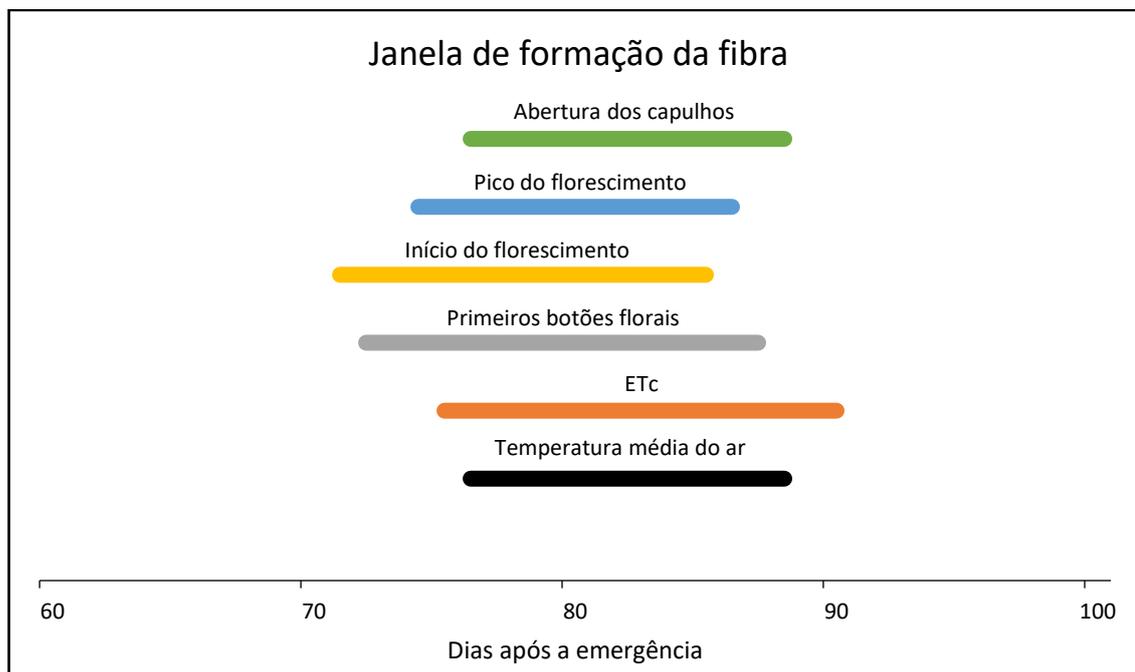
A Figura 3 mostra a variação do período de enchimento das fibras em função dos GDA para os diferentes tratamentos estudados. Bange et al. (2010) encontraram que o período de enchimento do algodão ocorre no intervalo entre 926 e 1112 GDA, e durante o período, a temperatura causou maior efeito no micronaire da fibra.

O início do período de enchimento foi de 71 e 76 DAE, para os tratamentos IF e PF, respectivamente. O fim do período foi de, respectivamente, 85 e 90 DAE para os tratamentos IF e controle (ETC) (Figura 3). Para a temperatura do ar, o início e fim do enchimento das fibras ocorreu com 77 e 88 DAE, respectivamente.

A duração do período de enchimento também variou entre 13 e 16 dias, com os períodos mais curtos (13 dias), referindo-se aos tratamentos PF e AC. Mahan et al. (2014) encontraram variações entre o período de enchimento das fibras entre 14 e 33 dias, com os menores valores também encontrados para os tratamentos com déficit hídrico. Essa redução no período de enchimento das fibras pode resultar em problemas no micronaire (Haigler et al., 1991; Roberts et al., 1992) e degradar a qualidade da fibra, o que mostra a importância de evitar que ocorra estresse hídrico nesse estágio (PF).

A temperatura do dossel pode ser uma ferramenta útil para prever os efeitos das condições ambientais ao longo da estação de crescimento, nos parâmetros da qualidade da fibra,

como o micronaire, assim como na previsão do tempo para colheita e aplicação de dessecantes (Wanjura & Newton, 1981).



**Figura 3.** Variação do início, duração e final do período de enchimento das maçãs em função da aplicação dos tratamentos de déficit hídrico, com os graus dias acumulados baseados nas temperaturas do dossel e do ar.

Fonte: Autor.

Como discutido previamente, o cálculo dos GDA para monitorar o período de enchimento da fibra, baseado na temperatura do ar, pode não ser confiável por causa da variabilidade induzida pelo estresse hídrico. Portanto, o cálculo dos GDA baseado na temperatura do dossel pode melhorar a qualidade e permitir uma melhor uniformização dos resultados, fornecendo dados adequados e precisos para o manejo e irrigação da cultura.

#### **4. CONCLUSÕES**

A temperatura do dossel foi significativamente influenciada pelo estresse hídrico em todos os estágios do ciclo da cultura.

O estágio mais crítico do estresse hídrico no algodão foi durante o florescimento, com maiores reduções na produtividade.

A temperatura do dossel mostrou-se uma ferramenta útil para avaliar o estado da água das plantas de algodão sob condições de irrigação.

Os graus dias acumulados baseados na temperatura do dossel variaram de acordo com o estresse hídrico.

Os graus dias acumulados calculados com base na temperatura do dossel é uma ferramenta útil para monitorar o ciclo da cultura sob condições de estresse hídrico.

## REFERÊNCIAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998, 300p. (FAO, Irrigation e Drainage paper, 56).
- Amani, I.; Fischer, R. A.; Reynolds, M. P. Evaluation of canopy temperature as screening tool for heat tolerance in spring wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.176, p.119-129, 1996.
- Bange, M. P.; Constable, G. A.; Johnston, D. B.; Kelly, D. A method to estimate the effects of temperature on cotton micronaire. *Journal of Cotton Science*, v.14, n.3, p.164-172, 2010.
- Bezerra, J. R. C.; Azevedo, P. V.; Silva, B. B.; Dias, J. M. Evapotranspiration and crop coefficient of irrigated cotton crop, cultivar BRS-200 Marrom. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.4, n.6, p.625-632, 2010.
- Bockhold, D. L.; Thompson, A. L.; Sudduth, K. A.; Henggeler, J. C. Irrigation scheduling based on crop canopy temperature for humid environments. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v.54, n.6, p.2021-2028, 2011.
- Burke, J. J.; Mahan, J. R.; Hatweld, J. L.; Crop specific thermal kinetic windows in relation to wheat and cotton biomass production. *Agronomy Journal*, v.80, n.4, p.553-556, 1988.
- Burke, J. J.; Upchurch, D. R. Leaf temperature and transpirational control in cotton. *Environmental Experimental Botany*, v.29, 487-492, 1989.
- Davidonis, G.; Johnson, A.; Landivar, J.; Fernandez, C. Cotton fiber quality is related to boll location and planting date. *Agronomy Journal*, v.96, p.2-47, 2004.
- Embrapa Algodão. Sistema de produção: Cultivo de algodão irrigado. 3 ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2014. Disponível em <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo>>.
- Embrapa Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: 2013. 353p.
- Evetts, S. R.; Howell, T. A.; Schneider, A. D.; Wanjura, D. F.; Upchurch, D. R. Automatic drip irrigation control regulates water use efficiency. *International Water and Irrigation*, v.22, n.2, p.32-37, 2002.
- Ferreira, D. F. Sisvar: um Sistema de análise estatística computacional. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- Gutierrez, M.; Reynolds, M. P.; Raun, W. R.; Stone, M. L.; Klatt, A. R. Spectral water indices for assessing yield in elite bread wheat genotypes under well-irrigated, water-stressed, and high-temperature conditions. *Crop Science*, v.50, n.1, 197-214, 2010.
- Haigler, C. H.; Rao, N. R.; Roberts, E. M.; Huang, J. Y.; Upchurch, D. R.; Trolinder, N. L. Cultured ovules as models for cotton fiber development under low temperatures. *Plant Physiology*, v.95, n.1, p.88-96, 1991.

- Keener, M. E.; Kircher, P. L. The use of cotton canopy temperature as an indicator of drought stress in humid regions. *Agronomy Meteorology*, v.28, n.4, p.339-349, 1983.
- Kimball, B. A.; White, J. W.; Wall, G. W.; Ottman, M. J. Infrared-warmed and unwarmed wheat vegetation indices coalesce using canopy-temperature-based growing degree days. *Agronomy Journal*, v.104, n.1, p.114-118, 2012.
- Larcher, W. Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants. *Plant Biosystems*, v.134, n.3, p.279-295, 2000.
- Mahan, J. R.; Conaty, W.; Neilsen, J.; Payton, P.; Cox, S.B. Field performance in agricultural settings of a wireless temperature monitoring system based on a low-cost infrared sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.71, n.2, p.176-181, 2010.
- Mahan, J. R.; Yeater, K. M. Agricultural applications of a low-cost infrared thermometer. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.64, n.2, p.262-267, 2008.
- Mahan, J. R.; Burke, J. J.; Wanjura, D. F.; Upchurch, D. R. Determination of temperature and time thresholds for BIOTIC irrigation of peanut on the Southern High Plains of Texas. *Irrigation Science*, v.23, n.4, p.145-152, 2005.
- Mahan, J. R.; Young, A.; Payton, P.; Bange, M.; Stout, J. Effect of Differential Irrigation on Accumulation of Canopy Temperature-Based Heat Units in Cotton. *The Journal of Cotton Science*, v.18, n.2, p.129-136, 2014.
- Mahan, J. R.; Young, A. W.; Payton, P. Deficit irrigation in a production setting: canopy temperatures an adjunct to ET estimates. *Irrigation Science*, v.30, n.2, p.127-137, 2012.
- Mason, R. E.; Singh, R. P. Considerations When Deploying Canopy Temperature to Select High Yielding Wheat Breeding Lines under Drought and Heat Stress. *Agronomy*, v.4, n.2, p.191-201, 2014.
- Nobel, P. S. *Physiochemical and Environmental Physiology*. New York: 1999. 460p.
- Peng, S., Krieg, D.; Hicks, S. Cotton lint yield response to accumulated heat units and soil water supply. *Field Crops Research*, v.19, n.4, p.253-262, 1989.
- Peters, R. T.; Steven, R. E. Automation of a center pivot using the temperature-time-threshold method of irrigation scheduling. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.134, n.3, p.286-291, 2008.
- Pettigrew, W. Physiological consequences of moisture deficit stress in cotton. *Crop Science*, v.44, n.4, p.1265-1272, 2004.
- Pettigrew, W. The effect of higher temperatures on cotton lint yield production and fiber quality. *Crop Science*, v.48, n.1, p.278-285, 2008.
- Pinto, R. S.; Reynolds, M. P.; Mathews, K. L.; McIntyre, C. L.; Olivares-Villegas, J. J.; Chapman, S. C. Heat and drought adaptive QTL in a wheat population designed to minimize confounding agronomic effects. *Theoretical and Applied Genetics*, v.121, n.6, p.1001-1021, 2010.

- Ramos, A. M.; Santos, L. A. R.; Fortes, L. T. G. Normais climatológicas do Brasil 1961-1990. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia. 2009. 465p.
- Reba, M. L.; Teague, T. G.; Vories, E. D. A Retrospective Review of Cotton Irrigation on a Production Farm in the Mid-South. *The Journal of Cotton Science*, v.18, n.2, p.137-144, 2014.
- Reddall, A. A.; Wilson, L. J.; Gregg, P. C.; Sadras, V. O. Photosynthetic response of cotton to spider mite damage: interaction with light and compensatory mechanisms. *Crop Science*, v.47, n.5, p.2047-2057, 2007.
- Roberts, E. M., Rao, N. R.; Huang, J. Y.; Trolinder, N. L.; Haigler, C. H. Effects of cycling temperatures on fiber metabolism in cultured cotton ovules. *Plant Physiology*, v.100, n.2, p.979-986, 1992.
- Sadler, E. J.; Camp, C. R.; Evans, D. E.; Millen, J. A. Corn canopy temperatures measured with a moving infrared thermometer array. *Transactions of the ASAE*, v.45, n.3, p. 581-591, 2002.
- Snider, J. S.; Oosterhuis, D. M.; Loka, D. A.; Kawakami, E. M. High temperature limits in vivo pollen tube growth rates by altering diurnal carbohydrate balance in field-grown *Gossypium hirsutum* pistils. *Journal of Plant Physiology*, v.168, n.11, p.1168-1175, 2011.
- Wanjura, D. F.; Newton, O. H. Predicting cotton crop boll development. *Agronomy Journal*, v.73, n.3, p.476-481, 1981.
- Wanjura, D. F.; Upchurch, D. R.; Mahan, J. R. Control of Irrigation Scheduling Using Temperature-Time Thresholds. *Transactions of the ASAE*, v.38, n.2, p.403-409, 1995.
- Wiggins, M. S.; Leib, B. G; Mueller, T. C.; Main, C. L. Cotton Growth, Yield, and Fiber Quality Response to Irrigation and Water Deficit in Soil of Varying Depth to a Sand Layer. *The Journal of Cotton Science*, v.18, n.2, p.145-152, 2014.
- Yeates, S. J.; Constable, G. A.; Mccumstie, T. Irrigated cotton in the tropical dry season. III: Impact of temperature, cultivar and sowing date on fiber quality. *Field Crops Research*, v.116, n.3, p.300-307, 2010.

## **CAPÍTULO 4 - MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FIBRAS DE ALGODOEIRO HERBÁCEO COM DÉFICIT HÍDRICO**

### **RESUMO**

Devido à escassez hídrica que ocorre no semiárido nordestino, faz-se necessário o uso da prática da irrigação, além de alternativas no sentido de potencializar a produtividade do algodoeiro. Apesar de ser uma cultura tolerante a escassez hídrica, o déficit hídrico em determinadas fases do ciclo do algodoeiro pode comprometer o crescimento, produtividade e qualidade da fibra. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a resposta de cultivares de algodoeiro herbáceo submetidos a períodos de déficit hídrico e diferentes manejos de irrigação, nos componentes da produção e qualidade da fibra. Os experimentos foram conduzidos em condições de campo, na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, Apodi, RN. No experimento referente a déficit hídrico, os períodos de déficit foram aplicados em diferentes fases do ciclo fenológico (70 e 50% da evapotranspiração da cultura na fase dos primeiros botões florais e 70 e 50% da evapotranspiração da cultura no pico do florescimento). No experimento relacionado ao manejo de irrigação, foram analisados três métodos de manejo (Irrigâmetro, Evapotranspiração da cultura e SmartCrop). Em ambos os experimentos foram testadas quatro cultivares (BRS 433 FL B2RF, BRS JADE, BRS 416 e BRS 430 B2RF), em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. Foram avaliadas a produtividade de algodão em caroço, a percentagem de fibra, o rendimento de algodão em pluma, o número de capulhos por planta e a qualidade da fibra do algodoeiro. Houve diferença significativa para as características avaliadas entre cultivares, manejos de irrigação e déficits hídricos. Os manejos SmartCrop e Evapotranspiração da cultura proporcionaram os melhores resultados dos componentes de produção e qualidade de fibra, enquanto o Irrigâmetro resultou na maior eficiência do uso da água ( $0,80 \text{ kg m}^{-3}$ ). Os déficits flor 70%, flor 50% e inicial 50% resultaram nos menores valores dos componentes de produção das culturas. Não houve diferença significativa, para as características da fibra, entre o tratamento controle e déficits aplicados, com exceção do índice de micronaire. As cultivares BRS JADE e BRS 433 FLB2RF apresentaram as maiores produtividades e percentagem de fibras entre as cultivares avaliadas. De forma geral, os manejos de irrigação e déficits hídricos aplicados, nas quatro cultivares testadas, resultaram em qualidade da fibra dentro da faixa de qualidade aceitável pela indústria têxtil nacional.

**Palavras-chave:** *Gossypium L.* Cultivares. Semiárido. Estresse hídrico.

## ABSTRACT

Due to the water scarcity that occur in the northeastern semiarid, it is necessary to use technologies such as irrigation practice to maximize cotton productivity. Although it is a tolerant crop to the water deficit, water stress at certain stages of the cotton crop cycle can cause severe damage to it, compromising the growth, yield and quality of fiber. In this context, the objective of this work was to evaluate the response of upland cotton cultivars submitted to periods of water deficits and methods of irrigation management, in the production components and fiber quality. The experiments were conducted under field conditions, at the agricultural research company of Rio Grande do Norte, Apodi, RN. In the water deficit experiment, the periods of deficit were applied in different phases of the phenological cycle (70% and 50% of the crop evapotranspiration at the beginning of flowering and 70% and 50% of the crop evapotranspiration at the peak of flowering). In the experiment related to irrigation management, were analyzed three methods (Irrigameter, Crop evapotranspiration and SmartCrop). In both experiments, four cultivars were tested (BRS 433 FL B2RF, BRS JADE, BRS 416 e BRS 430 B2RF). The experimental design was factorial with randomized complete block design and four replicates. Productivity of the cotton seed, lint percent, lint yield, number of open bolls per plant, fiber quality traits determined were evaluated. There was significant difference for the evaluated characteristics between cultivars, irrigation management and water deficits. SmartCrop and ETc managements provided the best results of fiber quality and yield components, while Irrigameter resulted in higher water use efficiency ( $0,80 \text{ kg m}^{-3}$ ). The deficits flower 70%, flower 50% and initial 50% resulted in lower values of crop yield components. There was no significant difference for fiber characteristics between control treatment and applied deficits, except for the micronaire index. Cultivars with the highest yield and lint percent were BRS JADE and BRS 433 FL B2RF. Overall, in the four cultivars tested, the different management irrigation and water deficit applied resulted all fiber quality characteristics acceptable for the domestic textile industry.

**Keywords:** *Gossypium* L. Cultivars. Semiarid. Water stress.

## 1. INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Norte está localizado no semiárido nordestino, sendo caracterizado por persistentes períodos de seca, má distribuição espacial e temporal de chuvas, somada ao alto índice de radiação solar, elevadas temperaturas e altas taxas de evapotranspiração. O cultivo de algodão irrigado na região é uma boa alternativa, devido esta apresentar características climáticas que contribuem para a produção de fibras de ótima qualidade e, em áreas irrigadas, pode alcançar excelentes produtividades (Brito et al., 2011). Em função das limitações hídricas no semiárido, se faz necessário a busca por melhorias no manejo da irrigação do algodoeiro, visando a obtenção de elevadas produtividades, alta qualidade de fibra e maior eficiência de uso de água pela cultura.

Estudos com diferentes cultivares de algodoeiro e do uso da rega com déficit hídrico controlado para reduzir o gasto de água na irrigação, elevando a eficiência de uso da água de modo a garantir o retorno da produção na região semiárida, é importante, visto ser possível encontrar cultivares que apresentem respostas diferentes quando submetidas ao déficit hídrico. Conhecer qual a fase do ciclo do algodoeiro mais tolerante ao déficit hídrico pode auxiliar na tomada de decisão de se fazer irrigação com deficit hídrico controlado em algumas fases do desenvolvimento, economizando água sem perdas de produtividade, além de auxiliar na tomada de decisão de se fazer ou não a irrigação suplementar em períodos de estiagem (Zonta et al., 2015b).

Para o algodoeiro, diversos autores como Zonta et al. (2017), Wen et al. (2013) e Brito et al. (2011) tem demonstrado que a cultura sofre influência tanto na produtividade quanto na porcentagem e qualidade de fibras quando submetido à irrigação com déficit hídrico. Poucas cultivares têm sido identificadas como tolerantes à seca, assim como há limitação no conhecimento de fases de desenvolvimento da cultura que sejam críticas à falta de água para tais cultivares (Carvalho et al., 2013), em especial relativo às características fisiológicas, de crescimento e produção do algodoeiro. As cultivares comerciais no Brasil têm adaptação limitadas a escassez de água, considerando os problemas ambientais atuais de limitação hídrica. A identificação de cultivares com capacidade para se adaptar a ambiente com restrição de água é uma valiosa estratégia (Vasconcelos et al., 2018).

Carvalho et al. (2013) comentam que o algodoeiro apresenta diferentes necessidades hídricas em relação aos estádios fenológicos, observando-se necessidade reduzida nos estádios iniciais e finais e máxima demanda no período da floração. A ocorrência de déficit hídrico durante as fases de surgimento de flores e maçãs no algodoeiro herbáceo foram as mais prejudiciais aos componentes da produção da cultura e qualidade de fibras, com substanciais

perdas e as que ofereceram as menores eficiências do uso de água da cultura, além de reduzir as trocas gasosas, condutância estomática, transpiração e fotossíntese (Araújo et al., 2019b; Araújo et al., 2019c).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar os componentes de produção e a qualidade das fibras das cultivares de algodoeiro herbáceo, cultivadas na região semiárida do Nordeste brasileiro, submetidas a diferentes manejos de irrigação e períodos de déficit hídrico na fase de floração, visando relacionar o uso racional da água com a produção sustentável da cultura no semiárido potiguar.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido, em condições de campo, entre os meses de junho a outubro de 2017, na área experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), localizada sob as seguintes coordenadas geográficas: 05° 37' 19" S, 37° 49' 06" O e 132 metros de altitude e distante 280 km da capital Natal, RN.

De acordo com a classificação de Koppen, o clima predominante da região é do tipo BSh, ou seja, semiárido quente e seco, apresentando um período chuvoso entre os meses de fevereiro e maio, com precipitação média anual de 893 mm e evapotranspiração média anual de 2190 mm. A temperatura média anual é de 27,1 °C, enquanto que a máxima média é de 34,1 °C e a mínima média é de 22,8 °C. A umidade relativa média é igual a 66,8%, e a insolação média da região é de 3041 horas por ano, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Ramos et al., 2009).

O solo é um Cambissolo Eutrófico, área plana, no qual coletou-se amostras nos intervalos de profundidades de 0-20 e 20-40 cm, as quais foram encaminhadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN, para análise e caracterização dos atributos físicos (Tabela 1). A fertilização foi conduzida baseando-se na fertilidade do solo e nas recomendações técnicas para o algodão (Tabela 2).

**Tabela 1.** Características físicas do solo da área experimental em Apodi, RN, de 0-40 cm de profundidade.

CC	PMP	Ds	Dp	Porosidade total	Areia	Silte	Argila
(%)	(%)	(g cm <sup>-3</sup> )	(g cm <sup>-3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
0,18	0,10	1,20	2,66	54,75	49,00	6,00	45,00

Fonte: Autor.

**Tabela 2.** Características químicas do solo da área experimental em Apodi, RN, de 0-40 cm de profundidade.

pH	MO	P	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H + Al	CTC	SB
Água	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )-----						
6,20	16,4	10,7	0,4	1,6	34,8	10,0	23,1	69,9	46,8

Fonte: Autor.

### Cultura do algodão e dados agronômicos

Foram testados 4 cultivares de algodoeiro herbáceo (BRS 433 FL B2RF, BRS 430 B2RF, BRS JADE, BRS 416). As cultivares BRS 430 B2RF e BRS 433 FL B2RF são resultado da evolução do melhoramento genético do algodoeiro. Ambas são geneticamente resistentes às principais lagartas, tolerantes ao glifosato e apresentam-se como opções de cultivares com genética adaptada ao ambiente tropical, aliada a biotecnologia eficiente, para produção de algodão com rentabilidade e qualidade. A BRS 430 B2RF tem porte de planta médio, ciclo médio/precoce, rendimento de fibra de 40,5%. Por sua vez, a BRS 433 FL B2RF possui porte de planta médio/alto, rendimento de fibra de aproximadamente 41,5%, ciclo médio/longo (Suassuna et al., 2018).

A cultivar BRS JADE apresenta vigor de crescimento médio, ciclo de médio, e rendimento de fibra de 40,1%, população de 80 a 90 mil plantas por hectare, e peso médio do capulho de 5,1 gramas. A cultivar BRS Jade é resistente à mancha angular (*Xanthomonas citri* subsp. *malvacearum*) e moderadamente resistente ao mosaico-comum (*Abutilon* mosaic virus –AbMV). É moderadamente suscetível à mancha-de-ramulária (*Ramularia areola*), portanto, necessita de controle químico quando cultivada em áreas de alta pressão de inóculo, como no Cerrado. A cultivar é suscetível à doença-azul, causada pelo Cotton leafroll dwarf virus, CLRDV (Ferreira & Silva, 2019).

A cultivar BRS 416 possui uma alta adaptabilidade no semiárido nordestino, apresentando porte médio, ciclo médio, com fibra de coloração branca, comprimento médio e rendimento de aproximadamente 41,5%, população de 90 a 100 mil plantas por hectare, e peso médio do capulho de 5,2 gramas (Ferreira & Silva, 2019).

O estudo foi realizado sem práticas de desbaste e sob sistema de plantio direto. A semeadeira mecanizada com três linhas foi usada para o plantio. Foram feitos tratamentos fitossanitários, após aparecimento dos primeiros sintomas, para combater ervas daninhas, doenças e pragas de insetos. Os dados agronômicos e de irrigação são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Dados agronômicos e parâmetros de irrigação.

Variáveis	
Data do plantio	08/06/2017
Espaçamento entre linhas	0,8 m
Densidade de plantio	8 -12 plantas m <sup>-1</sup>
Fertilização do plantio	180 kg ha <sup>-1</sup> de MAP ha <sup>-1</sup>
Adubação de cobertura	240 kg de Uréia ha <sup>-1</sup>
Última irrigação	01/10/2017 (106 DAE)
Data da colheita	17/10/2017
Período do ciclo da cultura	122 dias
Precipitação total durante o ciclo de crescimento	37,2 mm

Fonte: Autor.

### Tratamentos e projetos experimentais

O preparo da área foi realizado de acordo com as seguintes etapas: (1) marcação, com uso de piquetes, da área experimental; (2) adubação de fundação; (3) montagem do sistema de irrigação, e (4) plantio.

Tanto o experimento com manejos de irrigação, quanto o experimento com aplicação de déficit hídrico em diferentes fases fenológicas, foram dispostos em delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas dispostas em faixa, com 4 repetições. Cada parcela experimental consistiu de quatro linhas de 6,0 m espaçadas a 0,8 m entre linhas. Sendo a área útil da parcela as 4 linhas centrais com 5 metros de comprimento, com área útil de 12,0 m<sup>2</sup>, totalizando em média 120 plantas por parcela.

Os métodos de manejo de irrigação testados foram: Evapotranspiração da cultura (ETc), Irrigâmetro e Smartcrop. O manejo da irrigação com base na ETc, foi realizado com turno de rega fixo de 4 dias, sendo a lâmina de irrigação determinada em função da evapotranspiração da cultura acumulada nesse período. Destaca-se que a ETc é calculada através da multiplicação da evapotranspiração de referência (ETo) e coeficiente de cultivo (Kc), sendo a ETo baseada na metodologia de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) e o Kc estimado pelo número de dias após a emergência (Bezerra et al., 2010).

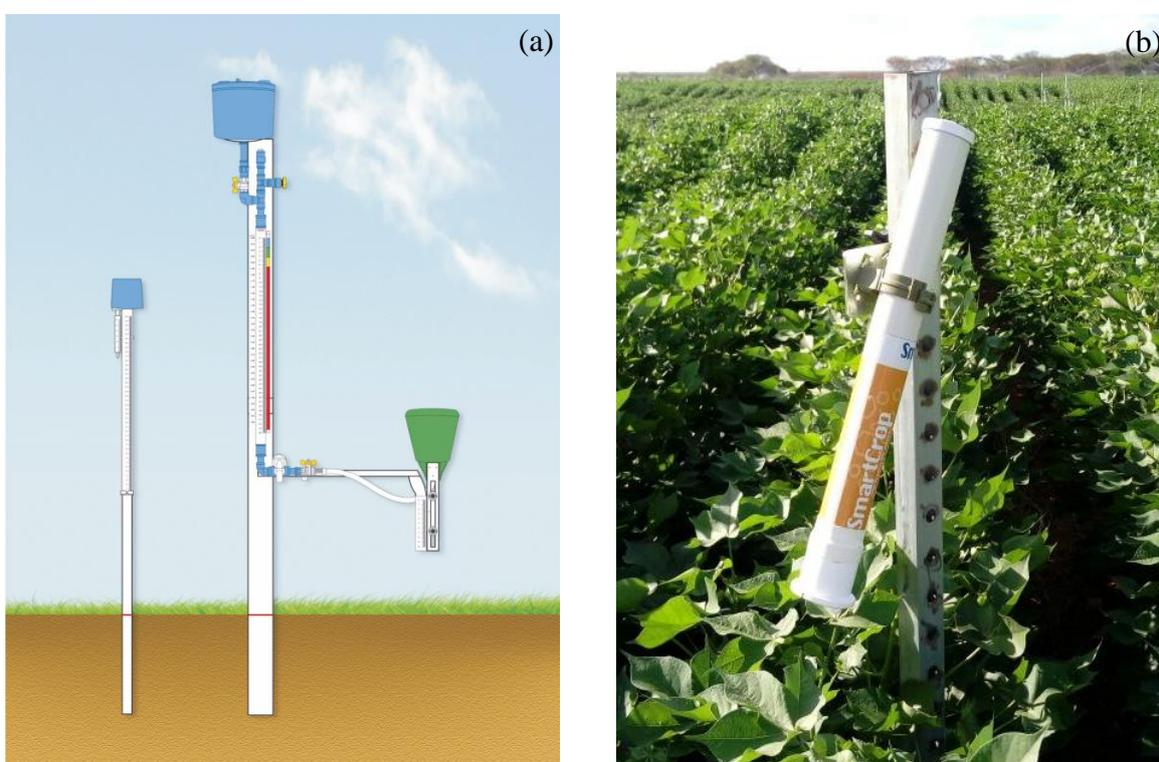
$$Kc = -0,00006 \cdot DAE^2 + 0,011 \cdot DAE + 0,5703 \quad (1)$$

onde:

DAE – Dias após a emergência

O manejo da irrigação com uso do Irrigâmetro foi realizado de acordo com as recomendações do equipamento, visto que o mesmo é “calibrado” de acordo com o solo da área, sistema de irrigação e cultura. A determinação do consumo de água do algodoeiro em seus diferentes estádios de desenvolvimento se baseou na variação do nível da água no evaporatório do equipamento (Figura 1a). O momento de irrigar foi visualizado diretamente em uma régua do aparelho, que indicou o momento de irrigar, enquanto o tempo de irrigação foram lidos diretamente numa régua graduada.

A irrigação com base no sensor SmartCrop (Figura 1b) ocorreu em função do estresse térmico acumulado, que foi calculado com base na temperatura do dossel do algodoeiro, medidos através de termômetros de infravermelho, sendo o estresse térmico acumulado calculado através de um algoritmo desenvolvido pela SmartField, que considera além da temperatura do dossel, parâmetros relacionados ao clima, como umidade relativa do ar. Para o cálculo do estresse térmico, o algoritmo considera que a planta está em estresse quando a temperatura do dossel está acima de 28 °C, sendo o valor limite de estresse acumulado, para determinação do momento da irrigação, igual a 360 minutos, sendo esse o valor padrão utilizado como default pela empresa.



**Figura 1.** Evaporatório (direita) e Pluviômetro (esquerda) que compõem o Irrigâmetro (a) e Sensor SmartCrop instalado em campo (b).

Fonte: EMBRAPA Algodão.

Em se tratando dos déficits hídricos aplicados, as irrigações foram realizadas a cada 3,5 dias, através de um sistema de aspersão fixo, com espaçamento de 12 x 15 m, intensidade de 9 mm h<sup>-1</sup> e eficiência de irrigação 65%, afim de manter o teor de água disponível acima de 40,0%. A água disponível foi monitorada através de Sondas DIVINER instaladas dentro da área experimental.

Os tratamentos consistiram de quatro períodos de déficit hídrico: 70% da ETc nos primeiros botões florais, 50% da ETc nos primeiros botões florais, 70% da ETc no pico do florescimento, 50% da ETc no pico do florescimento e tratamento controle (Tabela 4).

**Tabela 4.** Período de déficit hídrico em cada tratamento

<b>Tratamento</b>	<b>Início do déficit hídrico</b>	<b>Período de déficit hídrico (DAE)</b>	<b>Lâmina de irrigação (mm)</b>
Primeiros botões florais (70%)	70% da ETc após aparecimento do primeiro botão floral em pelo menos 10% das plantas	32 – 61	842
Primeiros botões florais (50%)	50% da ETc após aparecimento do primeiro botão floral em pelo menos 10% das plantas	32 – 61	790
Pico do florescimento (70%)	70% da ETc durante o enchimento das maçãs. Pelo menos 10% das plantas altamente frutificadas	64 – 120	721
Pico do florescimento (50%)	50% da ETc durante o enchimento das maçãs. Pelo menos 10% das plantas altamente frutificadas	64 – 120	597
Controle (ETc total)	Sem déficit de irrigação durante todo o ciclo da cultura		905

\* Esse tratamento não recebeu irrigações após o período de déficit, porque aconteceu pouco antes da remoção da irrigação.

A reposição de água baseada na evapotranspiração da cultura foi determinada através da Equação 1:

$$L_{bruta} = ETc/Ea \quad (1)$$

onde:

L<sub>bruta</sub> – Lâmina bruta de irrigação, mm

ETc – Evapotranspiração da cultura, mm

Ea – Eficiência de aplicação, decimal

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi fornecido pela Equação 2:

$$ETc = ET_0 \times Kc \quad (2)$$

onde:

$ET_0$  – Evapotranspiração de referência baseada na metodologia de Penman-Monteith (Allen et al., 1998)

$K_c$  – Coeficiente de cultivo do algodão, estimado pelo número de dias após a emergência (Bezerra et al., 2010)

$$K_c = -0,00006 \cdot DAE^2 + 0,011 \cdot DAE + 0,5703 \quad (3)$$

onde:

DAE – Dias após a emergência

### **Componentes de produção**

Os componentes da produção avaliados foram: produtividade de algodão em caroço, produtividade de algodão em pluma, percentagem de fibra e número de capulhos por planta. O número de capulho por planta foi obtido através da contagem de todos os capulhos colhidos das plantas inseridas em uma linha de 5 metros de comprimento definida aleatoriamente em cada parcela. O peso médio do capulho foi calculado pela relação entre o peso da amostra colhida e o número de capulhos. A percentagem de fibra foi medida pelo desfibramento de uma sub amostra de 100 g, extraída da amostra colhida. Para o cálculo da produtividade de algodão em caroço, foi colhida toda a parcela útil, e os valores extrapolados para produtividade em  $kg\ ha^{-1}$ . Por fim, o rendimento médio de algodão em pluma foi calculado com base na relação entre rendimento médio de algodão em caroço vezes a percentagem de fibra.

A eficiência no uso da água (EUA) ou produtividade da água é definida como a razão entre a produtividade encontrada (Produtividade) ( $kg\ ha^{-1}$ ) e o total de água utilizado durante o ciclo (La) ( $m^3\ ha^{-1}$ ), sendo expresso em  $kg\ m^{-3}$  (Geerts & Raes, 2009).

### **Características tecnológicas da fibra**

As características tecnológicas da fibra foram determinadas através de uma amostra de 100 g coletada aleatoriamente na área útil de cada parcela. As mensurações foram efetuadas no HVI (High Volume Instrument) do Laboratório de Fibras e Fios da Embrapa Algodão em Campina Grande, PB.

As características tecnológicas de fibra avaliadas foram: Comprimento (UHM<sub>mm</sub>); Uniformidade (UNF<sub>%</sub>); Índice de fibras curtas (SFI); Resistência (STR<sub>gf tex<sup>-1</sup></sub>); Alongamento à ruptura (ELG<sub>%</sub>); Índice micronaire (MIC<sub>µg pol<sup>-1</sup></sub>); Maturidade (MAT<sub>%</sub>); Reflectância (Rd<sub>%</sub>); Grau de amarelo (+b); e Índice de fiabilidade (CSP).

## Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância através do teste F, sendo as médias dos tratamentos dos fatores, ambos qualitativos, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Manejos de irrigação

Observa-se na Tabela 5 os manejos de irrigação e suas respectivas lâminas de irrigação e eficiência do uso da água.

**Tabela 5.** Manejos de irrigação

<b>Manejo</b>	<b>Método</b>	<b>Lâmina de irrigação (mm)</b>	<b>Eficiência do uso da água (kg m<sup>-3</sup>)</b>
ETc 100%	Via clima	905	0,73
SmartCrop	Via planta	865	0,71
Irrigâmetro	Via Clima-Solo-Planta	651	0,80

Fonte: autor.

A análise de variância e teste de médias para a produtividade de algodão em caroço, porcentagem de fibras, rendimento de algodão em pluma e número de capulhos para as cultivares BRS 433 FL B2RF, BRS 430 B2RF, BRS 416 e BRS JADE, sob diferentes formas de manejo, são apresentados na Tabela 6. A interação cultivares versus manejo não foi significativa para nenhuma das quatro variáveis.

Os manejos estudados proporcionaram diferença significativa quanto a produtividade e número de capulhos. Por outro lado, as cultivares apresentaram diferença significativa quanto a porcentagem de fibras e rendimento em pluma (Tabela 6).

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância da produtividade em caroço (PROD), porcentagem de fibra (%FIBRAS), rendimento de algodão em pluma (PLUMA), e número de capulhos por planta (CAPULHOS) de cultivares de algodão submetidas a diferentes manejos de irrigação.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		PROD	%FIBRAS	PLUMA	CAPULHOS
Bloco	3	897918,19 ns	1,98 ns	269907,57 ns	8,50 ns
Cultivar (C)	3	2017060,89 ns	37,83**	500085,47**	6,61 ns
Resíduo a	9	755722,01	0,68	132676,20	5,67
Manejo (M)	2	8808988,41**	0,94 ns	1704160,51 ns	129,00**
Resíduo b	6	256101,78	1,27	38230,05	1,17
C x M	6	636945,01 ns	0,71 ns	162884,50 ns	6,53 ns
Resíduo c	18	530874,35	1,34	79564,43	3,80
Total	47				
Média geral		5920,9	43,0	2538,2	11,8
CV 1 (%)		14,68	1,92	14,45	20,26
CV 2 (%)		8,55	2,62	7,70	9,19
CV 3 (%)		12,31	2,69	11,11	16,60

ns: não significativo; \* e \*\*: significativo ao nível de 0,05 e 0,01, pelo teste F, respectivamente;  
Fonte: Autor.

As cultivares que apresentaram as maiores produtividades médias de algodão em caroço foram a BRS JADE e BRS 433 FL B2RF, com totais de 6388,5 e 6056,3 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 7), no entanto, não houve diferença significativa entre as cultivares. As quatro cultivares estudadas obtiveram valores superiores ao padrão varietal que é de 4500,0 kg ha<sup>-1</sup> para a BRS 433 FL B2RF, BRS 430 B2RF e BRS JADE (Suassuna et al., 2018), e 4905,0 kg ha<sup>-1</sup> para a BRS 416 (Ferreira & Silva, 2019). As cultivares apresentaram ampla adaptabilidade e enorme potencial para cultivo no Semiárido em condições irrigadas, com produtividade acima da média nacional nas safras de 2016/2017, 2017/2018 e 2018/2019, cujos valores são, respectivamente, 3921,0, 3707,0 e 3830,0 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2019).

A produtividade do algodoeiro irrigado com base no SmartCrop (6454,7 kg ha<sup>-1</sup>) e na ETc100% (6234,4 kg ha<sup>-1</sup>) apresentaram diferença significativa, a 1% de probabilidade, para o manejo baseado no Irrigâmetro, que apresentou produtividade igual a 5073,6 kg ha<sup>-1</sup>, representando uma diferença de -21,40% e -18,62%, para o SmartCrop e ETc100%, respectivamente (Tabela 7).

**Tabela 7.** Análise de variância e teste de médias para as variáveis produtividade de algodão em caroço, porcentagem de fibras, rendimento de algodão em pluma e número de capulhos por plantas em função das cultivares e manejos de irrigação.

Pr > Fc				
Anova	Produtividade de algodão em caroço (kg ha <sup>-1</sup> )	Porcentagem de fibras (%)	Rendimento de algodão em pluma (kg ha <sup>-1</sup> )	Número de capulhos por planta (unidade)
Cultivares (C)	0,11	<0,01	0,06	0,38
Manejo (M)	<0,01	0,52	<0,01	<0,01
C X M	0,35	0,78	0,11	0,17
Médias				
Manejo				
SmartCrop	6454,7A	42,8A	2755,9A	13,8A
ETc	6234,4A	43,2A	2695,9A	13,0A
Irrigâmetro	5073,6B	43,1A	2163,0B	8,5B
Cultivares				
BRS 430 B2RF	5412,7A	42,8B	2284,8AB	10,9A
BRS 433 FL B2RF	6056,3A	40,9C	2474,7AB	11,3A
BRS 416	5826,0A	45,2A	2639,7AB	12,3A
BRS JADE	6388,5A	43,2B	2753,7A	12,4A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor

Com relação a porcentagem de fibras, as cultivares apresentaram diferença significativa a 1% de probabilidade (Tabela 7), com a BRS 416 apresentando o maior valor de porcentagem de fibras (45,2%). Por outro lado, a cultivar 433 FL B2RF apresentou o menor valor de porcentagem de fibra, com apenas 40,9%. É importante destacar que todas as cultivares estiveram acima do exigido pelos cotonicultores, que é de 40,0%, visando, assim, obter um maior valor agregado, considerando-se que o preço da fibra é superior ao do caroço do algodão (Cordão Sobrinho et al., 2015). Com relação aos manejos de irrigação, não houve diferença significativa entre os tratamentos, e todos resultaram em porcentagens acima dos 40,0%.

Diferentemente da produtividade, que não apresentou diferença significativa entre as cultivares, o rendimento em pluma apresentou diferença significativa a 1% de probabilidade entre as cultivares estudadas (Tabela 7). O maior rendimento foi obtido pela cultivar BRS JADE, com total de 2753,7 kg ha<sup>-1</sup>, e o menor rendimento foi da cultivar BRS 430 B2RF, com 2284,8 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja, uma diferença de 17% no rendimento em pluma entre as duas cultivares.

Com relação a eficácia dos manejos de irrigação, houve diferença significativa a 1% de probabilidade, com o SmartCrop proporcionando o maior rendimento, totalizando 2755,9 kg ha<sup>-1</sup>, e o Irrigâmetro destacando-se negativamente como o pior manejo, resultando em rendimento em pluma igual a 2163,0 kg ha<sup>-1</sup>, o que significa uma redução de 21% com relação ao SmartCrop. Destaca-se que os níveis de irrigação do Irrigâmetro são relacionados aos níveis de água no evaporatório, para os diferentes estádios de desenvolvimento.

Quanto ao número de capulhos por planta, observa-se que não houve diferença significativa entre cultivares (Tabela 7), com valores variando entre 10,9 e 12,4 capulhos por planta. Por outro lado, houve diferença significativa entre manejos, com a irrigação baseada no sensor SmartCrop apresentando o melhor resultado, 13,8 capulhos por planta. Diferentemente do tratamento citado anteriormente, a irrigação com base no Irrigâmetro resultou em um número significativamente menor, com valor médio de 8,5 capulhos por planta.

Méndez-Natera et al. (2012) verificaram, em estudos genéticos de seis variedades comerciais (Deltapine-16, Tamcot-SP-21, Cabuyare, Stoneville, Ospino e Acala-90-1) e quinze híbridos de algodoeiro herbáceo, que as variáveis número de capulhos e produtividade obtiveram os maiores coeficientes de variação, comportamento este também visto neste experimento em relação a essas variáveis.

Observa-se na Tabela 8 o efeito significativo do fator cultivar (C) sobre todas as variáveis da fibra estudadas. Quanto ao fator manejo (M), houve diferença significativa sobre as variáveis micronaire (MIC) e reflectância (Rd), a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Em relação à interação entre os fatores estudados, houve efeito significativo nas variáveis UHM, SFI, ELG, MIC, MAT e CSP, a níveis de 1 e 5% de probabilidade. Esses resultados são similares aos encontrados por Cordão Sobrinho et al. (2015), que estudando a qualidade da fibra do algodoeiro herbáceo sob diferentes lâminas de irrigação também encontraram diferença significativa entre os tratamentos e as cultivares estudadas a nível de 1% de probabilidade. Por outro lado, Zonta et al. (2015b) estudando o efeito da interação entre níveis de irrigação no rendimento e qualidade de fibras, em cultivares de algodoeiro herbáceo, não encontraram efeito significativo em nenhuma das variáveis estudadas.

**Tabela 8.** Resumo da análise de variância para comprimento (UHM\_mm), uniformidade (UNF\_%), índice de fibras curtas (SFI\_%), resistência (STR\_gf tex<sup>-1</sup>), alongamento à ruptura (ELG\_%), índice de micronaire (MIC\_μg pol<sup>-1</sup>), maturidade da fibra (MAT\_%), reflectância (Rd\_%), grau de amarelo (+b) e índice de fiabilidade (CSP) de cultivares de algodão submetidas a diferentes manejos de irrigação.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio									
		UHM	UNF	SFI	STR	ELG	MIC	MAT	Rd	+b	CSP
Bloco	3	0,38 ns	0,37 ns	0,18 ns	1,66 ns	0,21 ns	0,06 ns	0,00010 ns	3,11 ns	0,45 ns	14956,72 ns
Cultivar (C)	3	45,50**	6,00*	4,19**	35,72**	1,15**	0,89*	0,00030**	3017,82**	247,34**	1235985,83**
Resíduo a	9	0,96	2,09	0,21	1,35	0,16	0,05	0,00002	2,46	0,77	31167,85
Manejo (M)	2	4,62 ns	2,38 ns	0,02 ns	3,25 ns	0,08 ns	0,29**	0,00020 ns	3,54*	0,06 ns	3514,65 ns
Resíduo b	6	1,32	1,24	0,16	1,75	0,04	0,05	0,00010	0,61	0,86	50170,62
C x M	6	1,94**	1,12 ns	0,33*	2,24 ns	0,39*	0,17*	0,00010*	2,16 ns	0,17 ns	69092,06 ns
Resíduo c	18	0,36	0,58	0,10	1,35	0,10	0,03	0,00003	1,26	0,40	15594,89
Total	47										
Média geral		31,0	86,2	6,4	32,4	5,3	4,9	0,88	74,0	11,9	3052,6
CV 1 (%)		3,17	1,68	7,22	3,59	7,44	4,38	0,60	2,12	7,34	5,78
CV 2 (%)		3,72	1,29	6,28	4,08	3,77	4,59	0,89	1,06	7,78	7,34
CV 3 (%)		1,93	0,89	5,15	3,58	5,91	3,75	0,64	1,52	5,28	4,09

\* e \*\* - Significante a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. ns – não significativo a 5%.

Fonte: Autor.

Observa-se na Tabela 9 os valores médios das variáveis de qualidade de fibra das quatro cultivares submetidas a diferentes manejos de irrigação. Quanto a resistência da fibra à ruptura, que é a força de tração necessária para romper o feixe em relação à sua massa linear, os manejos de irrigação resultaram em fibras muito resistentes (maior que 31 gf tex<sup>-1</sup>) e não apresentaram diferença significativa. Por outro lado, as cultivares apresentaram diferenças significativas entre si, com destaque para a BRS 433 FL B2RF, que obteve uma resistência de 34,9 gf tex<sup>-1</sup>, o que significa uma maior tolerância ao estresse mecânico no beneficiamento e na fiação.

Com relação a uniformidade (UNF) (Tabela 9), todas as cultivares apresentaram valor maior que 85% de uniformidade e não apresentaram diferença significativa entre si, sendo classificadas como algodão de fibra muito uniforme. A BRS 433 FL B2RF, cultivar desenvolvida pela Embrapa, apresentou uniformidade igual a 87,0%, valor superior ao obtido por Morello et al. (2017), em Campo Verde, MT, de 84,9%. A cultivar BRS 430 B2RF (86,2%) apresentou valor médio acima do padrão varietal, que é de 84,0% (Suassuna et al., 2018).

**Tabela 9.** Análise de variância e teste de médias para as variáveis comprimento (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibra curta (SFI), resistência (STF), alongamento à ruptura (ELG) em função das cultivares e manejos de irrigação.

Anova	Pr > Fc				
	STR gf tex <sup>-1</sup>	UNF %	UHM mm	SFI %	ELG %
Cultivares (C)	<0,01	0,10	<0,01	<0,01	<0,05
Manejos (M)	0,23	0,23	0,10	0,87	0,22
C X M	0,19	0,13	<0,01	<0,05	<0,05
Médias					
Déficit hídrico					
SmartCrop	32,0A	86,3A	31,4A	6,5A	5,3A
ETc	32,3A	85,7A	31,2A	6,4A	5,4A
Irrigâmetro	32,9A	86,4A	30,4A	6,3A	5,2A
Cultivares					
BRS 430 B2RF	32,1B	86,2A	31,4B	6,3BC	5,2AB
BRS 433 FL B2RF	34,9A	87,0A	33,6A	5,7C	4,9B
BRS 416	31,1B	86,1A	29,7C	6,5B	5,5A
BRS JADE	31,4B	85,2A	29,3C	7,1A	5,6A

\*\*Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,05 indicam diferença significativa a 5%, valores menores que 0,01 indicam significância a 1%. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor.

Analisando o desdobramento da interação entre as cultivares e manejos de irrigação (Tabela 10), no comprimento de fibra, observa-se que apenas a cultivar BRS 430 B2RF apresentou diferença significativa entre os manejos, com o Irrigâmetro resultando em valores abaixo dos demais manejos. Destaca-se também que, para todos os manejos, a cultivar BRS 433 FL B2RF apresentou os melhores resultados.

**Tabela 10.** Valores médios do comprimento da fibra (UHM) para a interação cultivares x manejos de irrigação.

Cultivares/Tratamentos	SmartCrop	ETc	Irrigâmetro	Média
BRS 430 B2RF	32,4Aa	32,3Aa	29,7Bb	31,4
BRS 433 FL B2RF	33,9Aa	33,4Aa	33,4Aa	33,6
BRS 416	29,5Ab	30,2Ab	29,6Ab	29,7
BRS JADE	29,7Ab	29,3Ab	28,8Ab	29,3
Média	31,4	31,2	30,4	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Manejos de irrigação dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos manejos de irrigação) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Considerando a variável índice de fibras curtas, que expressa a porcentagem de fibras de comprimento menor do 12,7 mm, observa-se que houve diferença significativa entre a interação (C x M) (Tabela 9). Para o desdobramento das cultivares dentro dos manejos (Tabela 11), apenas a BRS 416 apresentou diferença significativa, com o irrigâmetro resultando em SFI de 6,2% e o SmartCrop em 6,9%. Apesar da diferença significativa, ambos foram classificados como SFI baixo. A cultivar BRS 433 FL B2RF apresentou os melhores índices de SFI com base no manejo pelo SmartCrop (5,7%), ETc (5,8%) e Irrigâmetro (5,6%), classificando-se como conteúdo de fibras curtas muito baixo, atendendo as exigências da indústria têxtil.

**Tabela 11.** Valores médios do índice de fibras curtas (SFI) para a interação cultivares x manejos de irrigação.

Cultivares/Tratamentos	SmartCrop	ETc	Irrigâmetro	Média
BRS 430 B2RF	6,3Aab	6,3Abc	6,3Ab	6,3
BRS 433 FL B2RF	5,7Ab	5,8Ac	5,6Ab	5,7
BRS 416	6,9Aa	6,6ABab	6,2Bb	6,5
BRS JADE	6,9Aa	7,1Aa	7,5Aa	7,1
Média	6,5	6,4	6,4	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Manejos de irrigação dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos manejos de irrigação) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Analisando o desdobramento dos manejos de irrigação dentro das cultivares no alongamento (Tabela 12), observa-se que apenas a BRS JADE apresentou diferença significativa entre os manejos, com destaque para a ETc (5,9%), classificando-se como alongamento médio à ruptura da fibra.

**Tabela 12.** Valores médios do alongamento a ruptura (ELG) para a interação cultivares x manejos de irrigação.

Cultivares/Tratamentos	SmartCrop	ETc	Irrigâmetro	Média
BRS 430 B2RF	5,1Ab	5,2Ab	5,4Aa	5,2
BRS 433 FL B2RF	4,9Ab	5,1Ab	4,7Ab	4,9
BRS 416	5,7Aa	5,2Ab	5,7Aa	5,5
BRS JADE	5,7Aba	5,9Aa	5,2Bab	5,6
Média	5,3	5,4	5,2	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Manejos de irrigação dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos manejos de irrigação) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Com relação ao grau de amarelo (+b), que é uma característica relacionada a cor da fibra, os manejos de irrigação não afetaram o comportamento. Por outro lado, as cultivares apresentaram diferença significativa (Tabela 13). De acordo com a classificação industrial (Sestren & Lima, 2015), as cultivares BRS 430 B2RF, BRS 433 FL B2RF e BRS 416 foram classificadas como algodão de fibra branca, e a BRS JADE foi classificada como amarelada, com Rd igual a 50,2% e +b igual a 18,7.

**Tabela 13.** Análise de variância e teste de médias para as variáveis índice de micronaire (MIC), maturidade da fibra (MAT), reflectância (Rd), grau de amarelo (+b) e índice de fiabilidade (CSP) em função das cultivares e manejos de irrigação.

Anova	Pr > Fc				
	Rd %	+b	MIC $\mu\text{g pol}^{-1}$	MAT %	CSP
Cultivares (C)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Manejos (M)	<0,05	0,94	<0,05	0,12	0,93
C X M	0,18	0,86	<0,01	<0,05	0,20
Médias					
Déficit hídrico					
SmartCrop	73,8AB	12,0A	4,9AB	0,88A	3069,0A
ETc	74,5A	12,0A	4,7B	0,88A	3040,6A
Irrigâmetro	73,6B	11,9A	5,0A	0,89A	3048,3A
Cultivares					
BRS 430 B2RF	83,0A	8,9C	4,6B	0,88B	3117,0B
BRS 433 FL B2RF	81,9AB	9,6BC	4,6B	0,88B	3475,3A
BRS 416	80,9B	10,5B	5,0A	0,89A	2870,6C
BRS JADE	50,2C	18,7A	5,1A	0,89A	2747,5C

\*\*Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,05 indicam diferença significativa a 5%, valores menores que 0,01 indicam significância a 1%. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor.

O índice de fiabilidade não apresentou diferença significativa (Tabela 13) quanto aos manejos de irrigação, e todos resultaram em índice de fiabilidade muito alto (acima de 2250). A interação entre cultivares e manejos também não foi significativa, no entanto, houve diferença significativa para as cultivares, as quais foram discutidas separadamente.

A média obtida para o índice de fiabilidade da cultivar BRS 433 FL B2RF foi de 3475,3 (melhor índice), seguida da BRS 430 B2RF, com CSP igual a 3117,0. Apesar da diferença significativa entre as cultivares, todas foram classificadas como muito altas (Sestren & Lima, 2015) (Tabela 13), indicando a obtenção de fibras e fios de alta qualidade. Destaca-se que,

apesar de apresentar resultados inferiores, a cultivar BRS 416 (2870,6) apresentou-se acima do padrão varietal, que é de 2667,0 e 2722,0 (Farias et al., 2017).

A reflectância (Rd) e grau de amarelo (+b) são consideradas critérios comerciais usuais no âmbito global e levadas em consideração como tais nos contratos de venda. Esses parâmetros são utilizados para identificar fardos homogêneos e agrupá-los em lotes, além de evitar as variações de cor nos lotes de bobinas de fio e, conseqüentemente, nos tecidos crus e tingidos, organizando o abastecimento de fardos de algodão às fiações em função dos resultados de caracterização (Bachelier & Gourlot, 2018). Em geral, a busca da indústria têxtil é por plumas com maiores percentuais de reflectância e menores índices de amarelamento.

O índice micronaire é um parâmetro que combina a maturidade e a finura intrínseca da fibra. Para uma mesma variedade, as variações de micronaire refletem as de maturidade. Mas, quando se trata de comparar variedades, distintos micronaires podem originar tanto diferenças de finura quanto de maturidade, o que tem significado para a indústria têxtil (Bachelier & Chanselme, 2014). Observa-se na Tabela 13, que o índice de micronaire apresentou diferença significativa para as cultivares, manejos e interação (C x M), portanto, os valores médios serão apresentados de forma única para as cultivares e para os manejos.

Realizando o desdobramento da interação das cultivares dentro dos manejos de irrigação no índice de micronaire (Tabela 14), observa-se que, para o SmartCrop as cultivares BRS JADE e BRS 416 apresentaram os maiores índices, com valores de, respectivamente, 5,2 e 5,2  $\mu\text{g pol}^{-1}$ , apresentando-se acima do tolerável pelo mercado e sendo classificadas como grossas (Sestren & Lima, 2015). Por outro lado, todas as cultivares que receberam irrigação com base na ETc, apresentaram índices menores que 5,0  $\mu\text{g pol}^{-1}$ , estando de acordo com a indústria têxtil. O manejo com base no Irrigâmetro resultou em índices aceitáveis para a indústria têxtil através das cultivares BRS 430 B2RF e BRS 433 FL B2RF, com valores de 4,7 e 4,9  $\mu\text{g pol}^{-1}$ , respectivamente, classificando-se como fibra média. Por outro lado, o próprio Irrigâmetro expressou o maior valor de índice de micronaire, dentre todas as interações, com a cultivar BRS JADE apresentando 5,3  $\mu\text{g pol}^{-1}$ .

Analisando os manejos de irrigação dentro de cada cultivar (Tabela 14), verifica-se que apenas as cultivares BRS 433 FL B2RF e a BRS JADE apresentaram diferenças significativas quanto a aplicação dos manejos, com ambas apresentando o maior valor para o Irrigâmetro, de 4,9 e 5,3  $\mu\text{g pol}^{-1}$  (Tabela 14), respectivamente. Por outro lado, as cultivares BRS 416 e BRS 430 B2RF não apresentaram diferença significativa, quanto ao índice de micronaire, sob os diferentes manejos de irrigação aplicados.

**Tabela 14.** Valores médios do índice de micronaire (MIC) para a interação cultivares x manejos de irrigação.

Cultivares/Tratamentos	SmartCrop	ETc	Irrigâmetro	Média
BRS 430 B2RF	4,8Ab	4,5Ab	4,7Ab	4,7
BRS 433 FL B2RF	4,3Bc	4,7Aab	4,9Ab	4,6
BRS 416	5,2Aa	4,9Aa	5,0Aab	5,0
BRS JADE	5,2Aa	4,9Ba	5,3Aa	5,1
Média	4,9	4,8	5,0	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Manejos de irrigação dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos manejos de irrigação) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

A variável Maturidade apresentou diferença significativa para o fator cultivar e interação (C x M) (Tabela 15). Apesar da diferença ter sido significativa, todos os valores da interação variaram entre 0,87 a 0,90, sendo classificadas pela indústria têxtil como fibras maduras (Sestren & Lima, 2015). Esse resultado demonstra que a interação estatística entre cultivar e manejo não foi suficiente para alterar o produto diante da indústria têxtil.

**Tabela 15.** Valores médios da maturidade da fibra (MAT) para a interação cultivares x manejos de irrigação.

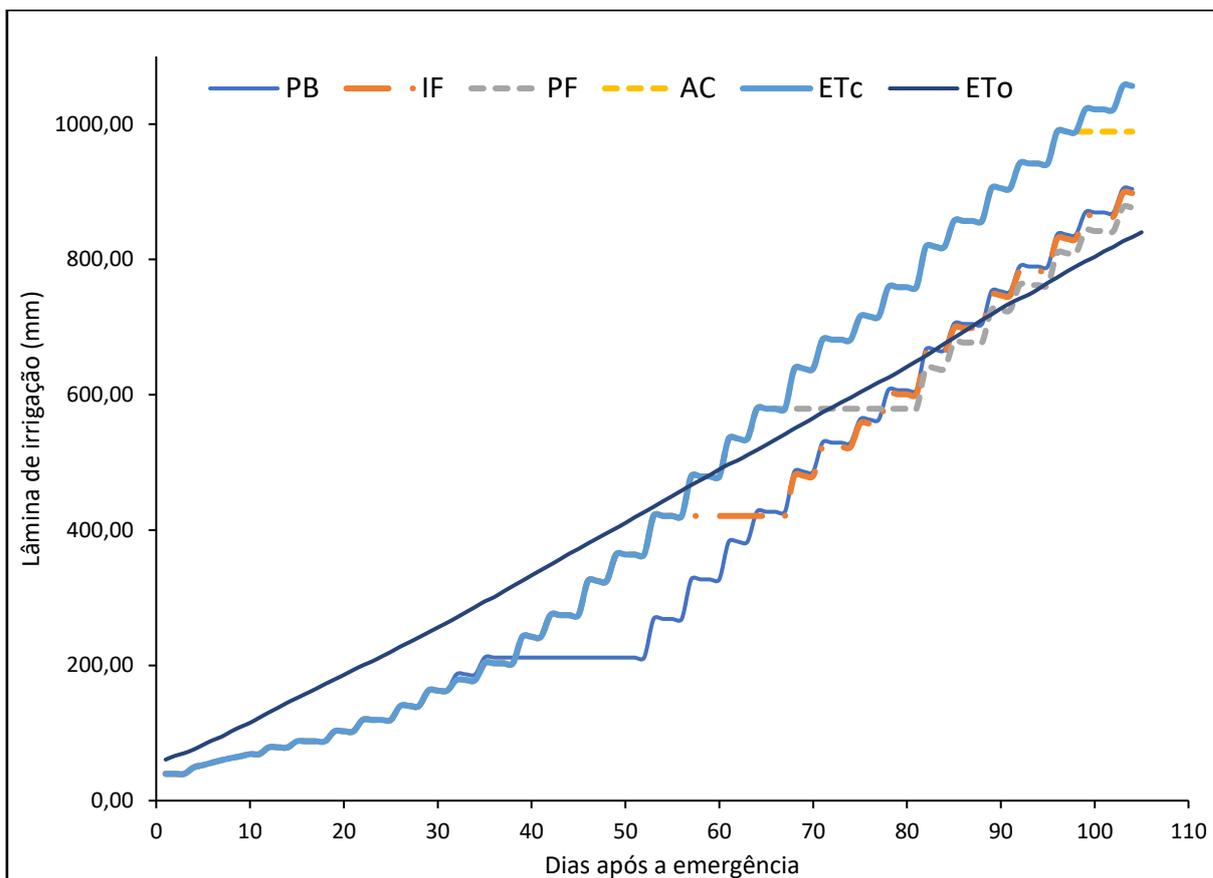
Cultivares/Tratamentos	SmartCrop	ETc	Irrigâmetro	Média
BRS 430 B2RF	0,88Aab	0,88Aa	0,88Aa	0,88
BRS 433 FL B2RF	0,87Bb	0,88ABa	0,89Aab	0,88
BRS 416	0,89Aa	0,88Aa	0,88Ab	0,88
BRS JADE	0,89Aa	0,88Ba	0,90Aa	0,89
Média	0,88	0,88	0,89	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Períodos de déficit dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos manejos de irrigação) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

### Déficits hídricos

A Figura 2 apresenta a ETo e as lâminas brutas de irrigação acumulados para os tratamentos de manejo de irrigação e níveis de déficit hídrico.



**Figura 2.** Evapotranspiração de referência e lâminas brutas de irrigação acumuladas para cada tratamento.  
Fonte: Autor.

Observa-se na Tabela 16 os déficits hídricos e suas respectivas lâminas de irrigação e eficiência do uso da água. O déficit hídrico Flor50% apresentou a menor lâmina total de irrigação e a maior eficiência do uso da água, considerando-se um excelente resultado para regiões com escassez de água.

**Tabela 16.** Eficiência do uso da água dos déficits hídricos aplicados

Déficit hídrico	Lâmina de irrigação (mm)	Eficiência do uso da água ( $\text{kg m}^{-3}$ )
ETc 100%	875,73	0,73
Flor 70%	693,06	0,73
Inicial 70%	804,06	0,76
Flor 50%	571,28	0,83
Inicial 50%	756,28	0,67

Fonte: autor.

Os resultados da análise de variância para as características produtivas avaliadas (produtividade, porcentagem de fibras, rendimento em pluma e capulhos por planta) de

cultivares de algodão sob déficit hídrico em estágios específicos do ciclo da cultura são apresentados na Tabela 17. De acordo com os resultados da análise de variância, observa-se que, de modo geral, os fatores isolados tiveram efeito significativo ( $p < 0,01$ ) sobre todas as variáveis, com exceção das influências dos déficits sobre a %FIBRAS. Verificou-se ainda interação significativa entre as cultivares e os déficits hídricos sobre as variáveis Produtividade ( $p < 0,01$ ) e rendimento em pluma ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 17.** Resumo da análise de variância da produtividade em caroço (PROD), porcentagem de fibra (%FIBRAS), rendimento de algodão em pluma (PLUMA), e número de capulhos por planta (NCP) de cultivares de algodão submetidas a déficit hídrico em diferentes estágios do ciclo da cultura.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		PROD	%FIBRAS	PLUMA	CAPULHOS
Bloco	3	184812,37 ns	2,97 ns	78511,88 ns	7,25 ns
Cultivar (C)	3	3454324,04**	36,89**	717311,97**	22,41*
Resíduo a	9	447726,61	0,55	26278,91	3,68
Déficit (D)	2	3203350,08**	0,38 ns	2000123,15**	34,46**
Resíduo b	6	311072,79	1,97	51495,96	4,21
C x D	6	1292964,66*	1,72 ns	131446,79*	5,96 ns
Resíduo c	18	554756,11	1,39	74154,45	3,74
Total	47				
Média geral		5455,97	43,39	2410,82	11,03
CV 1 (%)		12,26	1,70	6,72	17,06
CV 2 (%)		10,22	3,24	9,41	16,27
CV 3 (%)		13,65	2,71	11,30	18,32

\* e \*\* - Significante a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. ns - não significativo a 5%.

Fonte: Autor.

A análise de variância e teste de médias para a produtividade de algodão em caroço, porcentagem de fibras, rendimento de algodão em pluma e número de capulhos por planta, para as cultivares BRS 430 B2RF, BRS 433 FL B2RF, BRS JADE e BRS 416, sob níveis de déficit hídrico em diferentes estágios do ciclo da cultura, são apresentados na Tabela 17.

Observando-se a variável número de capulhos por planta (Tabela 17), verifica-se que houve diferença significativa entre as cultivares estudadas e os déficits aplicados. Quanto a interação (C x D), observa-se que não houve efeito significativo.

**Tabela 18.** Análise de variância e teste de médias para as variáveis produtividade de algodão em caroço, porcentagem de fibras, rendimento de algodão em pluma e número de capulhos por plantas em função das cultivares e níveis de déficit hídrico.

Pr > Fc				
Anova	Número de capulhos por planta (unidade)	Porcentagem de fibras (%)	Produtividade de algodão em caroço (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimento de algodão em pluma (kg ha <sup>-1</sup> )
Cultivares (C)	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01
Déficit (D)	<0,01	0,93	<0,01	<0,01
C X D	0,10	0,30	<0,05	0,09
Médias				
Déficit				
ETc 100%	13,5A	43,6A	6570,3A	2865,1A
Flor 70%	9,9B	43,7A	5042,5B	2196,8B
Inicial 70%	11,8AB	44,4A	6085,9A	2702,1A
Flor 50%	9,9B	43,3A	4718,8BC	2048,1B
Inicial 50%	10,1B	43,9A	5093,6B	2238,8B
Cultivares				
BRS 430 B2RF	10,7AB	44,7A	5396,3B	2414,1B
BRS 433 FL B2RF	9,6B	42,0C	5136,3B	2157,9C
BRS 416	11,6A	45,3A	5424,4B	2456,8AB
BRS JADE	12,1A	43,2B	6064,4A	2614,6A

\*\*Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,05 indicam diferença significativa a 5%, valores menores que 0,01 indicam significância a 1%. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor.

Analisando-se os resultados médios obtidos para número de capulhos por planta, o algodoeiro, quando submetido ao tratamento controle (tratamento sem aplicação do déficit), apresentou valor médio (13,5) maior que os demais tratamentos de déficit, enquanto que submetido aos tratamentos Flor 70% e Flor 50% apresentaram os menores valores (9,9 e 9,9, respectivamente). Entre os déficits hídricos, os aplicados na fase inicial de crescimento (Inicial70% e Inicial50%) foram os que menos afetaram o número de capulhos por planta.

Estes resultados corroboram os relatados por Unlu et al. (2011) que afirmaram em seus estudos que a irrigação com déficit causou significativo declínio no número de capulhos por planta; por Almeida et al. (2017) que estudando o efeito do déficit hídrico na produção do algodoeiro herbáceo, afirmaram que, nos períodos em que o algodoeiro passou por déficit hídrico, houve redução no número de capulho por planta; por Zonta et al. (2017) que também

concluíram que o número de capulhos foi afetado pelos déficits hídricos, sendo os melhores resultados obtidos pelo tratamento sem restrição hídrica, seguido dos tratamentos com restrição hídrica no crescimento inicial e abertura do primeiro capulho, visto que, ou a planta ainda não apresentava estruturas reprodutivas, ou já estava com a maior parte de suas maçãs formadas, com piores resultados obtidos pelos tratamentos emissão do primeiro botão floral, da primeira flor e da maçã.

Para cultivares, a BRS JADE e BRS 416 apresentaram os maiores números de capulho por planta, com valores médios de 12,1 e 11,6, respectivamente (Tabela 18). A BRS 433 FL B2RF apresentou a menor média, com valor igual a 9,6. Baloch et al. (2011) e Niu et al. (2013), relatam que a tolerância ao estresse abiótico, incluindo tolerância a seca, varia de acordo com o genótipo.

Diferente do tratamento controle (sem déficit), quando se aplicou diferentes reduções das lâminas de irrigação nas diferentes fases estudadas, houve redução no número de capulhos por planta, provavelmente por que o déficit hídrico promoveu queda de botões florais, abortamento de flores e/ou queda de maçãs, acarretando, conseqüentemente, menor produção de capulhos por planta (Araújo et al., 2019b).

Corroborando Snowden et al. (2014) observaram reduções de 60% no número de capulhos quando comparados os tratamentos com estresse hídrico de 3 semanas a partir do florescimento versus o tratamento controle; Gwathmey et al. (2011) afirmam que o déficit hídrico no início do florescimento tende a aumentar a queda de botões florais, enquanto que o déficit hídrico no final do florescimento reduz a taxa de florescimento e retenção de maçãs.

Quanto a porcentagem de fibra, a cultivar que apresentou maior valor foi a BRS 416, com 45,3%, diferenciando-se estatisticamente das demais (Tabela 18), e apresentando valor bastante superior ao seu padrão varietal, que é de 41,5% (Ferreira & Silva, 2019). As outras cultivares estudadas também apresentaram valores maiores do que os seus respectivos padrões varietais, o que demonstra boa adaptabilidade das cultivares a região semiárida.

A interação não significativa entre cultivares e déficits, indicou que não houve relação, ou influência, dos diferentes déficits nas cultivares estudadas. Além disso, os déficits não apresentaram diferença significativa, com as lâminas de 50 e 70% da ETc resultando em valores estatisticamente iguais ao tratamento controle.

Em se tratando de rendimento em pluma (Tabela 18), houve diferença significativa entre as cultivares e os déficits. Quanto à interação (C x D), observa-se que não houve efeito significativo. A cultivar BRS JADE apresentou o maior rendimento em pluma, com 2614,6 kg ha<sup>-1</sup> e a cultivar BRS 433 FL B2FR o menor, com rendimento de pluma igual a 2157,9 kg ha<sup>-1</sup>. Com relação aos déficits hídricos, as reduções das lâminas durante o período de floração

resultaram nos menores valores, com os déficits Flor50% e Flor70% apresentando, respectivamente, 2048,1 kg ha<sup>-1</sup> e 2196,8 kg ha<sup>-1</sup>. O tratamento controle (ETc 100%) e o déficit Inicial70% proporcionaram os maiores rendimentos, com valores de 2865,1 e 2702,1 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Resultados que corroboram com Almeida et al. (2016) e Luo et al. (2013) que afirmam que a falta de água nos estádios de floração e de formação e de desenvolvimento dos frutos, compromete o crescimento, o desenvolvimento e produtividade das culturas.

Na produtividade de algodão em caroço apresentada na Tabela 18, pode-se constatar que houve efeito significativo para as cultivares e déficits (p<0,01), e interação entre as cultivares e os déficits aplicados (p<0,05). Nesta condição, pode-se dizer que a tolerância do algodoeiro, para o rendimento em pluma, dependeu do efeito combinado dos níveis dos fatores cultivar e déficit hídrico, interpretada pelo desdobramento da interação destes fatores sobre a mesma.

Verifica-se na Tabela 19, que para todas as cultivares, os tratamentos ETc100% e Início70% não apresentaram diferença estatística, portanto, a redução da lâmina de irrigação, dos 32 aos 61 DAP, não afetou significativamente a produtividade das cultivares, com valores acima dos 5375,0 kg ha<sup>-1</sup>. Esses resultados corroboram em parte com os obtidos por Zonta et al. (2017), que afirmam que em regiões com déficit hídrico o algodoeiro pode ser irrigado com lâmina de 70% da ETc, com produtividade média acima de 4000,0 kg ha<sup>-1</sup> e boa qualidade da fibra. Observa-se que, para os déficits Flor50% e Início50%, as cultivares que apresentaram maiores produtividades foram a BRS 416 e a BRS JADE, com valores acima dos padrões varietais.

**Tabela 19.** Valores médios da produtividade de algodão em caroço para a interação cultivares x déficits hídricos.

Cultivares/Tratamentos	ETc 100%	Flor 70%	Início 70%	Flor 50%	Início 50%	Média
BRS 430 B2RF	6975,0Aa	4462,5Bc	6237,5Aa	4537,5Bb	4768,8Bb	5396,26
BRS 433 FL B2RF	6275,0Aa	5012,5ABb	5375,0Aab	4368,8Bb	4650,0Bb	5136,26
BRS 416	6546,9Aa	4487,5Bc	5962,5Aa	4918,8Ba	5206,3ABabc	5424,4
BRS JADE	6546,9Aa	6206,3Aab	6768,8Aa	5050,0Aa	5750,0Aab	6064,4
Média	6234,4	5270,5	5231,3	5417,2	5126,6	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Períodos de déficit dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos períodos de déficit) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

As cultivares BRS 433 FL B2FR e BRS 430 B2RF foram as menos tolerantes aos períodos e níveis de déficit hídrico. Os déficits, Início50% e Flor50%, resultaram nas menores produtividades da BRS 433 FL B2RF, com valores respectivamente de, 4650,0 e 4368,8 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> (Tabela 19), totalizando redução de, respectivamente, 25,90 e 30,30% em relação ao tratamento controle (Tabela 20). No entanto, esses valores são superiores ao padrão varietal da BRS 433 FL B2RF, que é de 4080,0 kg ha<sup>-1</sup>. Já o déficit Flor70%, resultou em reduções severas nas cultivares BRS 430 B2RF (4462,5 kg ha<sup>-1</sup>), e BRS 416 (4487,0 kg ha<sup>-1</sup>), com reduções de 36,02 e 31,46%, em relação ao tratamento controle, resultando em valor abaixo do padrão varietal, que é de 4905,0 kg ha<sup>-1</sup> (Ferreira & Silva, 2019). Segundo Niu et al. (2013), a tolerância ao estresse abiótico, incluindo tolerância a seca, varia de acordo com o genótipo.

**Tabela 20.** Redução da produtividade sob déficit hídrico em relação ao tratamento controle (ETc100%) para a interação cultivares x déficits hídricos.

Cultivares/Tratamentos	Flor 70%	Início 70%	Flor 50%	Início 50%	Média
BRS 430 B2RF	-36,02	-10,57	-34,95	-31,63	-22,63
BRS 433 FL B2RF	-20,12	-14,34	-30,38	-25,90	-18,15
BRS 416	-31,46	-8,93	-24,87	-20,48	-17,15
BRS JADE	-5,20	3,39	-22,86	-12,17	-7,37
Média	-23,20	-7,61	-28,26	-22,54	

Os resultados apresentados acima, corroboram Gwathmey et al. (2011) que afirmam que o déficit hídrico no início do florescimento tende a aumentar a queda de botões florais, enquanto que no final do mesmo reduz a taxa de florescimento e retenção de maçãs, o que corrobora também com os resultados aqui obtidos. Por sua vez, Zonta et al. (2017) apresentaram uma perspectiva para o uso da irrigação com déficit hídrico controlado na cultura do algodoeiro, aplicando-se menores lâminas de irrigação nas fases iniciais e após a abertura dos capulhos, onde o algodoeiro é mais tolerante à seca. De acordo com Araújo et al. (2019), quando o déficit hídrico foi aplicado no crescimento inicial e na fase de aparecimento de botões florais, a produtividade de algodão em caroço e em pluma foram menos afetados, uma vez que a planta teve tempo de se recuperar do estresse hídrico, como constatado no estudo da fisiologia das cultivares.

Segundo Sun et al. (2015), a tolerância ao estresse hídrico depende do estágio de crescimento da planta e, quando ocorre déficit hídrico em estágios críticos, como o reprodutivo, o crescimento e desenvolvimento da planta pode ser afetado. Os déficits hídricos reduzem a atividade fotossintética da planta de algodão devido à sua eficiência de fechamento estomático para reduzir as trocas e transpiração de gases do algodão (Araújo et al., 2019a). Analisando-se o desdobramento dos déficits dentro das cultivares, a BRS JADE foi a mais resistente aos déficits, apresentando maior produtividade em todos os tratamentos, com valores entre 5050,0 kg ha<sup>-1</sup> (Flor50%) e 6768,8 kg ha<sup>-1</sup> (Início70%).

A cultivar BRS JADE sob as lâminas de irrigação com déficits Flor70% e Flor50%, resultaram nas maiores eficiências do uso da água, com valores, respectivamente de, 0,90 e 0,88

kg m<sup>-3</sup> (Tabela 21). Por outro lado, a BRS 433 FL B2RF e a BRS 430 B2RF, sob o déficit hídrico Início50%, apresentaram as menores EUA, com valores respectivamente de, 0,61 e 0,63 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 21.** Eficiência do uso da água para a interação cultivares x déficits hídricos.

Cultivares/Tratamentos	ETc 100%	Flor 70%	Início 70%	Flor 50%	Início 50%	Média
BRS 430 B2RF	0,77	0,64	0,78	0,79	0,63	0,72
BRS 433 FL B2RF	0,69	0,72	0,67	0,76	0,61	0,69
BRS 416	0,72	0,65	0,74	0,86	0,69	0,73
BRS JADE	0,72	0,90	0,84	0,88	0,76	0,82
Média	0,73	0,73	0,76	0,83	0,67	

### Parâmetros de qualidade da fibra

Os resultados da análise de variância para as variáveis: uniformidade, índice de fibras curtas, resistência, alongamento à ruptura, índice de micronaire e maturidade da fibra de cultivares de algodão sob déficit hídrico em estágios específicos do ciclo da cultura são apresentados na Tabela 22.

**Tabela 22.** Resumo da análise de variância para comprimento (UHM\_mm), uniformidade (UNF\_%), índice de fibras curtas (SFI\_%), resistência (STR\_gf tex<sup>-1</sup>), alongamento à ruptura (ELG\_%), índice de micronaire (MIC\_μg pol<sup>-1</sup>), maturidade da fibra (MAT\_%), reflectância (Rd\_%), grau de amarelo (+b) e índice de fiabilidade (CSP) de cultivares de algodão submetidas a diferentes déficits hídricos.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio									
		UHM	UNF	SFI	STR	ELG	MIC	MAT	Rd	+b	CSP
Bloco	3	0,31 ns	0,25 ns	0,03 ns	0,41 ns	0,03 ns	0,07 ns	0,000018 ns	0,67 ns	0,26 ns	11351,55 ns
Cultivar (C)	3	64,44**	12,76**	7,43**	75,39**	1,17*	0,23**	0,000038 ns	5253,23**	449,98**	1823670,11**
Resíduo a	9	0,72	0,95	0,13	2,91	0,19	0,02	0,000017	1,18	0,25	14985,13
Déficit (D)	4	2,24 ns	0,34 ns	0,43 ns	0,51 ns	0,31 ns	0,18*	0,000103 ns	3,71 ns	0,35 ns	26392,88 ns
Resíduo b	12	0,71	2,32	0,29	2,69	0,12	0,04	0,000048	2,02	0,22	64425,90
C x D	12	1,54*	1,64 ns	0,48 ns	3,77*	0,24 ns	0,39**	0,000193**	2,13 ns	0,36 ns	82302,47**
Resíduo c	36	0,57	1,55	0,34	1,80	0,17	0,07	0,000069	1,06	0,31	26329,67
Total	79										
Média Geral		30,68	85,69	6,71	32,11	5,29	4,85	0,88	73,93	12,02	2975,68
CV 1 (%)		2,76	1,14	5,45	5,31	8,23	2,93	0,46	1,47	4,12	4,11
CV 2 (%)		2,75	1,78	8,07	5,11	6,53	4,36	0,79	1,92	3,93	8,53
CV 3 (%)		2,46	1,45	8,72	4,18	7,71	5,61	0,94	1,39	4,67	5,45

\* e \*\* - Significante a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. ns – não significativo a 5%.

Fonte: Autor.

A análise de variância e teste de médias para o comprimento, uniformidade, índice de fibras curtas, resistência, alongamento à ruptura, índice de micronaire, maturidade da fibra, reflectância, grau de amarelo e índice de fiabilidade, para as cultivares estudadas, sob déficits hídricos em diferentes estágios do ciclo da cultura, são apresentados nas Tabela 23 e 26. Para o fator cultivar, não houve significância apenas para a maturidade. Já para o fator déficit, observa-se que apenas o índice de micronaire foi influenciado pelos tratamentos, enquanto que a interação (C x D) foi significativa para as variáveis comprimento (UHM), resistência (STR), índice de micronaire (MIC), maturidade da fibra (MAT) e índice de fiabilidade (CSP).

As variáveis uniformidade (UNF) e índice de fibras curtas (SFI) apresentaram diferença estatística significativa a 1% de probabilidade para o fator cultivar, com a BRS 433 FL B2RF apresentando os melhores resultados e a BRS JADE os piores (Tabela 23). A BRS 433 FL B2RF apresentou UNF de 86,6% e SFI de 5,9%, sendo classificada com uniformidade muito alta e conteúdo de fibras curtas muito baixo. Por outro lado, a BRS JADE apresentou UNF de 84,7% e SFI de 7,4%, classificando-se como alta uniformidade e baixo índice de fibras curtas.

**Tabela 23.** Análise de variância e teste de médias para as variáveis uniformidade (UNF), índice de fibra curta (SFI), alongamento à ruptura (ELG), resistência (STR) e comprimento (UHM), em função das cultivares e déficits hídricos.

Anova	Pr > Fc				
	UNF %	SFI %	ELG %	STR gf tex <sup>-1</sup>	UHM Mm
Cultivares (C)	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01
Déficits (D)	0,96	0,27	0,09	0,94	0,06
C X D	0,42	0,21	0,20	<0,05	<0,05
**Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,05 indicam diferença significativa a 5%, valores menores que 0,01 indicam significância a 1%.					
Médias					
Déficit hídrico					
ETc 100%	85,7A	6,4A	5,4A	32,3A	31,2A
Flor 70%	85,7A	6,8A	5,3A	32,2A	30,8A
Inicial 70%	85,5A	6,8A	5,2A	32,0A	30,2A
Flor 50%	85,8A	6,7A	5,5A	32,2A	30,7A
Inicial 50%	85,8A	6,8A	5,1A	31,8A	30,6A
Cultivares					
BRS 430 B2RF	85,9AB	6,7B	5,3AB	31,7B	31,7B
BRS 433 FL B2RF	86,6A	5,9C	5,0B	34,9A	32,6A
BRS 416	85,6BC	6,8B	5,4AB	31,4B	29,6C
BRS JADE	84,7C	7,4A	5,6A	30,4B	28,8C

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor.

Com relação ao alongamento a ruptura (ELG), não houve diferença significativa para os déficits hídricos aplicados (Tabela 23). Wen et al. (2013) também não encontraram diferenças significativas para o alongamento, quando comparadas a irrigação total com irrigações com até 50% de déficit. Semelhantemente, Hussein et al. (2011) afirmam que níveis de irrigação exercem pouco ou nenhum efeito sob o alongamento à ruptura. Quanto ao fator cultivar, houve diferença significativa (Tabela 23), no entanto, apesar da diferença, todas as cultivares foram classificadas, de acordo com a classificação industrial (Sestren & Lima, 2015), como baixo percentual de alongamento à ruptura da fibra, com valores entre 5,0 e 5,6%.

Seguindo o mesmo comportamento, não houve diferença entre os períodos de déficits hídricos aplicados para a resistência da fibra (STR), com todos os tratamentos resultando em fibras muito resistentes (STR acima de 31 gf tex<sup>-1</sup>) (Tabela 23). As cultivares diferenciaram entre si, assim como a interação entre as cultivares e os déficits.

Analisando o desdobramento da interação dos fatores estudados no STR (Tabela 24), particularmente os períodos de déficit dentro de cada cultivar, observa-se que na cultivar BRS 416, os períodos diferiram estatisticamente, tendo o déficit Flor70% apresentado a maior média, com valor de STR igual a 33,7 gf tex<sup>-1</sup>, classificando-se como uma fibra muito resistente (Sestren & Lima, 2015); nas demais cultivares, os déficits não diferiram entre si.

**Tabela 24.** Valores médios da resistência das fibras (STR) para a interação cultivares x déficits hídricos.

Cultivares/Tratamentos	ETc 100%	Flor 70%	Inicial 70%	Flor 50%	Inicial 50%	Média
BRS 430 B2RF	32,6Aab	31,0Ab	31,4Ab	32,3Aab	31,5Ab	31,7
BRS 433 FL B2RF	34,5Aa	34,2Aa	35,5Aa	34,9Aa	35,4Aa	34,9
BRS 416	31,1ABb	33,7Aa	30,2Bb	31,1ABb	31,0ABb	31,4
BRS JADE	31,0Ab	30,0Ab	31,1Ab	30,6Ab	29,5Ab	30,4
Média	32,3	32,2	32,0	32,2	31,8	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Períodos de déficit dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos períodos de déficit) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Em se tratando da interação das cultivares dentro dos diferentes períodos de déficit hídrico na resistência das fibras (STR), observa-se que para os déficits Inicial70% e Inicial50%, e tratamento controle (ETc100%), a cultivar BRS 433 FL B2RF expressou o maior valor, superando seu padrão varietal, que é de 34,0 gf tex<sup>-1</sup> (Ferreira & Silva, 2019), com as demais cultivares não diferindo entre si. Para o déficit Flor70%, as cultivares BRS 416 e BRS 433 FL B2RF apresentaram os maiores valores, diferenciando-se das demais cultivares. O déficit Inicial50% resultou no menor valor dentre todas as interações, com a cultivar BRS JADE

apresentando valor médio de 29,5 gf tex<sup>-1</sup>, acima do padrão varietal que é de 29,2 gf tex<sup>-1</sup> (Ferreira & Silva, 2019). De acordo com Cordão Sobrinho et al. (2015) e Zhao et al. (2012), quanto maior a resistência da fibra, maior seu valor comercial na tecelagem, no ganho de qualidade e na produtividade.

Verifica-se que quanto ao comprimento da fibra (UHM), não houve diferença significativa entre os períodos de déficit hídrico (Tabela 24). As cultivares diferenciaram entre si, com destaque para a cultivar BRS 433 FL B2RF classificada como algodão de fibra muito longa, obtendo média de 32,6 mm, superior a cultivar 430 B2RF que teve 31,7 mm, classificada como algodão de fibra longa, de acordo com a classificação industrial (Sestren & Lima, 2015). Ambas as cultivares apresentaram valores médios acima do padrão varietal que é de 32,5 mm para a cultivar BRS 433 FL B2RF e de 30,0 mm para a BRS 430 B2RF (Ferreira & Silva, 2019).

Analisando o desdobramento da interação dos fatores estudados no UHM (Tabela 25), particularmente os períodos de déficit dentro de cada cultivar, observa-se que na cultivar BRS 430 B2RF, o déficit Flor50% apresentou a maior média para o UHM (32,5 mm), superando seu padrão varietal que é de 30,0 mm (Ferreira & Silva, 2019); analisando a cultivar BRS 433 FL B2RF, observou-se que o déficit Inicial50% apresentou a maior média (33,6 mm). Por sua vez, a BRS 416 apresentou seu maior valor (30,2 mm) no tratamento controle (ETc100%), superando seu padrão varietal (29,7 mm) (Ferreira & Silva, 2019). Além disso, os déficits Flor70% e Flor50% também foram maiores que o padrão varietal. Diferentemente das cultivares citadas anteriormente, a BRS JADE não apresentou diferença significativa quanto aos déficits hídricos aplicados. No entanto, apenas os tratamentos ETc100%, Flor70% e Inicial70% resultaram em valores maiores que o padrão varietal (28,6 mm) (Ferreira & Silva, 2019).

**Tabela 25.** Valores médios do comprimento (UHM) para a interação cultivares x déficits hídricos.

Cultivares/Tratamentos	ETc 100%	Flor 70%	Inicial 70%	Flor 50%	Inicial 50%	Média
BRS 430 B2RF	32,0ABa	31,9ABa	31,0Ba	32,5Aa	31,4ABb	31,8
BRS 433 FL B2RF	33,4ABa	32,0Ba	32,2ABa	31,9Ba	33,6Aa	32,6
BRS 416	30,2Ab	30,1ABb	28,6Bb	29,8ABb	29,4Abc	29,6
BRS JADE	29,3Ab	29,2Ab	28,9Ab	28,4Ac	28,2Ac	28,8
Média	31,2	30,8	30,2	30,7	30,7	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Períodos de déficit dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos períodos de déficit) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Segundo Lokhande & Reddy (2014), na fase inicial de alongamento da fibra, que vai até os 15 dias após a antese, o estresse hídrico inibe o alongamento, comprimento e uniformidade da fibra. A cultivar BRS 433 FL B2RF apresentou os maiores valores de UHM e STR, resultados interessantes, pois segundo Zhao et al. (2012) o comprimento e a resistência da fibra são determinantes significativos da qualidade da fibra.

Avaliando cada cultivar dentro dos diferentes déficits aplicados no comprimento da fibra (UHM) (Tabela 25), observa-se que em todos os períodos de déficits aplicados, as cultivares diferiram entre si, com destaque para as cultivares BRS 433 FL B2RF e BRS 430 B2RF, que expressaram os maiores valores em todos os tratamentos.

Os tratamentos de períodos de déficit hídrico, não afetaram a maturidade da fibra do algodoeiro (Tabela 26). Também não ocorreu efeito significativo para o fator cultivar e interação entre os fatores estudados. Destaca-se que, para fins industriais, todos os tratamentos e cultivares foram classificados como fibras maduras (Sestren & Lima, 2015).

**Tabela 26.** Análise de variância e teste de médias para as variáveis maturidade da fibra (MAT), reflectância (Rd), grau de amarelo (+b), índice de micronaire (MIC) e índice de fiabilidade (CSP) em função das cultivares e déficits hídricos.

Anova	Pr > Fc				
	MAT %	Rd %	+b	MIC $\mu\text{g pol}^{-1}$	CSP
Cultivares (C)	0,15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Déficits (D)	0,14	0,19	0,25	<0,05	0,80
C X D	0,25	0,06	0,35	<0,01	<0,01
Médias					
Déficit hídrico					
ETc 100%	0,88A	74,5A	11,9A	4,7B	3040,2A
Flor 70%	0,89A	73,2A	12,0A	5,0A	2949,6A
Inicial 70%	0,88A	73,8A	12,2A	4,8AB	2940,4A
Flor 50%	0,88A	73,8A	12,2A	4,9AB	2990,1A
Inicial 50%	0,89A	74,2A	11,9A	4,9AB	2958,2A
Cultivares					
BRS 430 B2RF	0,88A	82,4A	8,9D	4,8BC	3045,9B
BRS 433 FL B2RF	0,88A	82,4A	9,6C	4,7C	3360,0A
BRS 416	0,88A	81,3B	10,5B	5,0A	2842,6C
BRS JADE	0,88A	49,6C	19,1A	4,9AB	2654,4D

\*\*Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,05 indicam diferença significativa a 5%, valores menores que 0,01 indicam significância a 1%. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor.

Com relação à reflectância (Rd%) e grau de amarelo (+b), relacionadas com a cor da fibra, os períodos de déficit não afetaram o comportamento do algodoeiro (Tabela 26). No entanto, o grau +b e (Rd) foram diferenciados entre as cultivares, sendo a BRS 430 B2RF e BRS 433 FL B2RF com a maior reflectância (82,4%), superando os padrões varietais que é de 80,0%. Esses resultados segundo Cordão Sobrinho et al. (2015) são satisfatórios, uma vez que, quanto maior a reflectância da fibra, menor será seu acinzentamento e em consequência, maior o interesse para a cadeia do algodão e da indústria têxtil por ter um maior valor agregado ao produto. De acordo com os padrões universais para classificação do algodão, as cultivares BRS 430 B2RF, BRS 433 FL B2RF e BRS 416 foram classificadas como branco, diferentemente da BRS JADE, que foi classificada como amarelada (Rd igual a 49,6% e +b igual a 19,1). Essas diferenças encontradas entre as cultivares eram esperadas, pois segundo Bradow & Davidonis (2000), a maioria das características de qualidade da fibra é dependente do genótipo.

Segundo Cordão Sobrinho et al. (2015) conhecer o valor do grau de amarelo é importante, pois a coloração da fibra nem sempre pode ser vista a olho nu e sim somente com luz ultravioleta e, se não controlado o grau de amarelo na mistura, pode haver problemas tais como barramento no fio, no tecido e na malha.

O índice de micronaire (MIC) apresentou diferença significativa quanto a interação entre os fatores estudados. Analisando o desdobramento dos déficits dentro das cultivares (Tabela 27), as cultivares BRS 430 B2RF e BRS 416 apresentaram valores dentro do intervalo exigido pela indústria têxtil, entre 3,5 e 5,0  $\mu\text{g pol}^{-1}$ , para todos os tratamentos aplicados, com exceção do déficit Flor70%. A BRS JADE apresentou pior índice de micronaire para o déficit Inicial 70%, diferentemente da BRS 433 FL B2RF, que apresentou pior índice para o déficit Flor50%.

**Tabela 27.** Valores médios do índice de micronaire (MIC) para a interação cultivares x déficits hídricos.

Cultivares/Tratamentos	ETc 100%	Flor 70%	Inicial 70%	Flor 50%	Inicial 50%	Média
BRS 430 B2RF	4,5Ba	5,2Aa	4,8ABab	4,9AAa	4,7ABab	4,8
BRS 433 FL B2RF	4,7ABa	5,0Aa	4,4Bb	5,1Aa	4,6ABab	4,8
BRS 416	4,9ABa	5,3Aa	4,7Bab	5,0ABa	4,9ABab	5,0
BRS JADE	4,9BCa	4,5Cb	5,2ABa	4,6Ca	5,4Aa	4,9
Média	4,8	5,0	4,8	4,9	4,9	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Períodos de déficit dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos períodos de déficit) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Com relação as cultivares dentro dos déficits (Tabela 27), observa-se para a ETc100% e Flor50%, que as cultivares não apresentaram diferença significativa. Os déficits no início do ciclo fenológico (Inicial70% e Inicial50%) apresentaram o melhor índice através da cultivar BRS 433 FL B2RF, com valor de 4,4  $\mu\text{g pol}^{-1}$ , superando seu padrão varietal que é de 4,2  $\mu\text{g pol}^{-1}$  (Ferreira & Silva, 2019). Por sua vez, o déficit Flor70% apresentou o melhor índice para a cultivar BRS JADE, com valor de 4,5  $\mu\text{g pol}^{-1}$ .

Diversos autores como Cordão Sobrinho et al. (2015) e Zonta et al. (2015a) tem relatado índices micronaire acima de 5,0  $\mu\text{g pol}^{-1}$  em experimentos com algodão irrigado, sendo considerada uma fibra grossa, e acima do tolerável pelo mercado, corroborando com os obtidos na presente pesquisa (Tabela 27), onde foi encontrado valores de índice micronaire bem próximo ou acima de 5,0  $\mu\text{g pol}^{-1}$  (algodão de fibra grossa), não sendo aceitável/tolerável pela moderna indústria têxtil.

Fibras com micronaire de até 3,80  $\mu\text{g pol}^{-1}$  são classificadas como finas, tendo maior valor comercial nas tecelagens (Araújo et al., 2019b). Valores de micronaire menores que 3,5  $\mu\text{g pol}^{-1}$ , sugerem que a fibra é imatura, podendo ocasionar baixa afinidade tintorial no acabamento (Kljun et al. 2014). Segundo Cordão Sobrinho et al. (2015), um fluxo de fibras grossas provoca perda de resistência do fio e redução da eficiência no processo, enquanto fibras finas, provocam aumento na ruptura no processo, além de defeito no tingimento.

Analisando o índice de fiabilidade (CSP), que é um indicador da resistência dos fios, de cada cultivar dentro dos tratamentos aplicados (Tabela 28), observa-se que as cultivares BRS JADE e BRS 430 B2RF não apresentaram diferença significativa com relação aos tratamentos aplicados. Por sua vez, a BRS 416 apresentou o maior CSP para o déficit Flor70% (2988,3), enquanto que a BRS 433 FL B2RF foi sob o déficit Início50% (3568,3), ambas classificadas como muito altos (Sestren & Lima, 2015).

**Tabela 28.** Valores médios do índice de fiabilidade (CSP) para a interação cultivares x déficits hídricos.

Cultivares/Tratamentos	ETc 100%	Flor 70%	Inicial 70%	Flor 50%	Inicial 50%	Média
BRS 430 B2RF	3164,8Aab	2919,8Aab	2953,0Ab	3191,3Aa	3000,5Ab	3045,88
BRS 433 FL B2RF	3362,3ABa	3162,3Ba	3426,0ABa	3281,0ABa	3568,3Aa	3359,98
BRS 416	2931,0ABbc	2988,3Aab	2654,8Bb	2830,5ABb	2808,5ABbc	2842,62
BRS JADE	2702,8Ac	2728,0Ab	2728,0Ab	2657,5Ab	2455,5Ac	2654,36
Média	3040,23	2949,60	2940,45	2990,08	2958,20	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas linhas (Períodos de déficit dentro das cultivares) e; de mesmas letras minúsculas nas colunas (Cultivares dentro dos períodos de déficit) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Em se tratando dos déficits dentro das cultivares (Tabela 28), em todos os tratamentos aplicados, a cultivar BRS 433 FL B2RF apresentou os maiores valores de CSP, variando entre 3162,3 (Flor70%) e 3568,3 (Inicial50%), superando o padrão varietal, em ambos os casos, que é de 2828. Por fim, destaca-se que a classificação do CSP foi muito alta (Sestren & Lima) para todas as cultivares sob influência de todos os tratamentos. Estes resultados são satisfatórios, pois segundo Cordão Sobrinho et al. (2015) altos índices de fiabilidade alcançados traduzem a característica da resistência dos fios que depende especialmente das fibras individuais.

#### 4. CONCLUSÕES

Os manejos SmartCrop e ETc proporcionaram os melhores resultados de produtividade e qualidade de fibra, enquanto o Irrigâmetro resultou na maior eficiência do uso da água. Logo, para regiões com baixa disponibilidade de água, recomenda-se o uso do Irrigâmetro.

A cultivar BRS JADE apresentou os melhores resultados de componentes de produção, e a BRS 433 FL B2RF os melhores componentes de fibra.

O déficit hídrico Flor50% foi o mais prejudicial aos componentes de produção das culturas.

No que diz respeito à qualidade da fibra, esta não apresentou diferença significativa entre o tratamento controle e déficits aplicados, com exceção do índice de micronaire.

Os manejos e déficits aplicados resultaram em componentes de fibra adequados aos padrões exigidos pela moderna indústria têxtil, exceto o alongamento à ruptura.

Recomenda-se a irrigação com 70% da ETc durante o início do florescimento, tendo em vista os excelentes resultados de produtividade e qualidade de fibra.

## REFERÊNCIAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M.; Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Almeida, E. S. A. B de; Pereira, J. R.; Azevedo, C. A. V de; Araújo, W. P.; Zonta, J. H.; Cordão, M. A. Algodoeiro herbáceo submetido a déficit hídrico: Produção. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.13, n.1, p.22-28, 2017.
- Almeida, E. S. A. B. de; Pereira, J. R.; Azevedo, C. A. V. de; Araújo, W. P.; Zonta, J. H.; Lima, R. F. de. Algodoeiro herbáceo submetido a déficit hídrico: Qualidade da fibra. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.12, n.3, p.251-257, 2016.
- Araújo, W. P.; Pereira, J. R.; Zonta, J. H.; Guerra, H. O. C.; Cordão, M. A.; Brito, M. E. B. Gas exchange in upland cotton cultivars under water deficit strategies. *African Journal of Agricultural Research*, v.14, n.20, p.887-896, 2019a.
- Araújo, W. P.; Pereira, J. R.; Zonta, J. H.; Guerra, H. O. C.; Cordão, M. A.; Lima, R. F. de. Fiber quality in upland cotton cultivars under water deficit strategies. *African Journal of Agricultural Research*, v.14, n.20, p.887-896, 2019b.
- Araújo, W. P.; Pereira, J. R.; Zonta, J. H.; Guerra, H. O. C.; Cordão, M. A.; Lima, R. F. de. Production components and water efficiency of upland cotton cultivars under water deficit strategies. *African Journal of Agricultural Research*, v.14, n.20, p.887-896, 2019c.
- Bachelier, B.; Chanselme, J-L. Qualidade da fibra e do caroço. In: Chanselme, J-L. Manual de beneficiamento. Cuiabá: AMPA; IMAmt, 2014, p.284-237.
- Bachelier, B.; Gourlot, J-P. A fibra de algodão: origem, estrutura, composição e caracterização. In: Belot, J-L (Ed). Manual de qualidade de fibra da AMPA. Cuiabá: AMPA; IMAmt, 2018, p. 28-57.
- Baloch, M. J.; Khan, N. U.; Jatoi, W. A.; Hassan, G.; Khakhwani, A. A.; Soomro, Z. A.; Veesar, N. F. Drought tolerance studies through WSSI and stomata in upland cotton. *Pakistan Journal of Botany*, v.43, n.5, p.2479-2484, 2011.
- Bezerra, J. R. C.; Azevedo, P. V. de; Silva, B. B. da; Dias, J. M. Evapotranspiration and crop coefficient of irrigated cotton crop cultivar BRS200 Marrom. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.6, p.625-632, 2010.
- Bradow, J. M.; Davidonis, G. H. Quantization of fiber quality and the cotton production-processing interface: a physiologist's perspective. *The Journal of Cotton Science*, v.4, p.34-64, 2000.
- Brito, G. G.; Sofiatti, V.; Lima, M. M. de A.; Carvalho, L. P. de; Silva Filho, J. L. da. Physiological traits for drought phenotyping in cotton. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.33, n.1, p.117-125, 2011.

Carvalho, I. R.; Korcelski, C.; Pelissari, G.; Hanus, D. A.; Rosa, G. M. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. Enciclopédia Biosfera, v.9, n.17, p.969-985, 2013.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos. Décimo segundo Levantamento, Setembro - 2019. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 11 set. 2019.

Cordão Sobrinho, F. P.; Guerra, H. O. C.; Araujo, W. P.; Pereira, J. R.; Zonta, J. H.; Bezerra, J. R. C. Fiber quality of upland cotton under different irrigation depths. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande, v.19, n.11, p.1057-1063, 2015.

Farias, F. J. C.; Carvalho, L. P. de.; Morello, C. de L.; Silva Filho, J. L. da.; Suassuna, N. D.; Pedrosa, M. B.; Ribeiro, J. L. Desempenho da nova cultivar de algodoeiro herbáceo BRS 416 nas condições do Semiárido Nordestino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 11., 2017, Maceió. Resumos... Inovação e rentabilidade na cotonicultura: resumos... Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão - Abrapa, 2017.

Ferreira, D. da S.; Silva, S. C. da (Ed). Catálogo de cultivares de algodão: safra 2019-2020. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2019.

Ferreira, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. Ciência e Agrotecnologia. vol.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

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

Gwathmey, C. O.; Leib, B. G.; Main, C. L. Lint Yield and Crop Maturity Responses to Irrigation in a Short-Season Environment. The Journal of Cotton Science, v.15, n.1, p.1-10, 2011.

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 Agricultural and Forestry, v.35, p.611-621, 2011.

Kljun, A.; El-Dessouky, H. M.; Benians, T. A.; Goubet, F.; Meulewaeter, F.; Knox, J. P.; Blackburn, R. S. Analysis of the physical properties of developing cotton fibers. European Polymer Journal, v.51, p.57-68, 2014.

Lokhande, S.; Reddy, K. R. Reproductive and fiber quality responses of upland cotton to moisture deficiency. Agronomy Journal, v. 106, n. 3, p. 1060-1069, 2014.

Luo, H.; Zhang, H.; Han, H.; Hu, Y.; Zhang, Y.; Zhang, W. Effects on water storage in deeper soil layers on growth yield, and water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in arid areas of northwestern china. Irrigation and Drainage, v.63, n.1, p.59-70, 2013.

Méndez-Natera, J. R.; Rondón, A.; Hernández, J.; Merazo-Pinto, J. F. Genetic studies in upland cotton (*Gossypiumhirsutum* L.) II. General and specific combining ability. Journal of Agricultural Science and Technology, v.14, n.3, p.617-627, 2012.

Morello, C. de L.; Suassuna, N. D.; Pedrosa, M. B.; Silva Filho, J. L. da.; Barroso, P. V.; Suassuna, T. de M. F.; Perina, F. J. Sofiatti, V.; Farias, F. J. C.; Magalhães, F. O. da C. BRS

433 FL B2RF: cultivar de algodoeiro de fibra longa com resistência a lepidópteros e tolerância ao herbicida glifosato. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 11., 2017, Maceió. Resumos... Inovação e rentabilidade na cotonicultura: resumos... Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão - Abrapa, 2017.

Niu, G.; Rodriguez, D.; Dever, J.; Zhang, J. Growth and physiological responses of five cotton genotypes to sodium chloride and sodium sulfate saline sater irrigation. *The Journal of Cotton Science*, v.17, n.3, p.233-244, 2013.

Ramos, A. M.; Santos, L. A. R.; Fortes, L. T. G. Normais climatológicas do Brasil 1961-1990. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia. 2009. 465p.

Sestren, J. A.; Lima, J. J. Características e classificação da fibra de algodão. In: Freire, E. C. (Ed.) Algodão no cerrado do Brasil. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. 3.ed. Brasília: Positiva, 2015, p.653-750.

Snowden, M. C.; Ritchie, G. L.; Simao, F. R.; Bordovsky, J. P. Timing of episodic drought can be critical in cotton. *Agronomy Journal*, v.106, n.2, p.452-458, 2014.

Suassuna, N. D.; Morello, C. de L.; Pedrosa, M. B.; Barroso, P. A. V.; Silva Filho, J. L. da; Suassuna, T. de M. F.; Perina, F. J.; Sofiatti, V.; Magalhães, F. O. da C.; Farias, F. J. C. BRS 430 B2RF and BRS 432 B2RF: Insect-resistant and glyphosate-tolerant high-yielding cotton cultivars. *Crop Breed and Applied Biotechnology*. v.18, n.1, p.221-225, 2018.

Sun, Y.; Niu, G.; Zhang, J.; Del Valle, P. Growth responses of an interspecific cotton breeding line and its parents to controlled drought using an automated irrigation system. *The Journal of Cotton Science*, v.19, n.2, p.290-297, 2015.

Unlu, M.; Kanber, R.; Koc, D. L.; Tekin, S.; Kapur, B. Effects of deficit irrigation on the yield and yield components of drip irrigated cotton in a mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, v.98, n.4, p.597-605, 2011.

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

Wen, Y.; Rowland, D. L.; Piccinni, G.; Cothren, J. T.; Leskovar, D. I.; Kemanian, A. R.; Woodard, J. D. Lint yield, lint quality, and economic returns of cotton production under traditional and regulated deficit irrigation schemes in southwest Texas. *The Journal of Cotton Science*, v.17, n.1, p.10-22, 2013.

Zanella, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. *Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente*, n.36, Volume Especial, p.126-142, 2014.

Zhao, W.; Li, J.; Li, Y.; Yin, J. Effects of drip system uniformity on yield and quality of Chinese cabbage heads. *Agricultural Water Management*, v.110, p.118-128, 2012.

Zonta, J. H.; Bezerra, J. R. C. B.; Sofiatti, V.; Farias, F. J. C.; Carvalho, L. P. de. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. *Revista Caatinga*, v.28, n.4, p.43-52, 2015a.

Zonta J. H.; Bezerra, J. R. C.; Sofiatti, V.; Brandão, Z. N. Yield of cotton cultivars under different irrigation depths in the Brazilian semi-arid region. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.19, n.8, p.748-754, 2015b.

Zonta, J. H.; Brandão, Z. N.; Rodrigues, J. I da S.; Sofiatti, V. Cotton response to water deficits at different growth stages. *Revista Caatinga*, v.30, n.4, p.980-990, 2017.