



**Fabio
ECHER**
Unoeste



**Ciro A.
ROSOLEM**
Unesp, Botucatu



**Juan Piero
A. RAPHAEL**
Unesp, Botucatu

Desenvolvimento da planta e qualidade da fibra

1. Bioquímica básica e fases de crescimento e enchimento da fibra

Processo de formação da fibra

A fibra do algodão é uma célula simples, sem vida, resultante de um processo biológico que se realiza por um período que varia entre cinquenta e setenta dias após a fertilização da flor. No entanto, durante seu desenvolvimento, ela é um organismo vivo, decisivamente afetado por fatores ambientais, de modo que suas propriedades podem apresentar grande variação dependendo do ano, da época de semeadura, do local, das propriedades do solo etc. Uma compreensão inicial do processo de formação da fibra é, portanto, fundamental para entender a influência desses fatores sobre as propriedades intrínsecas finais, que serão determinantes para definição de seu valor comercial para matéria-prima de fiação. No mais, o objetivo desta seção do capítulo não é um aprofundamento detalhado sobre o tema, mas uma descrição básica para entender o desenvolvimento ecofisiológico da fibra. Revisões mais detalhadas e específicas envolvendo aspectos citológicos e bioquímicos podem ser encontradas em Basra e Malik (1984), Wakelyn *et al.* (2006), Hsieh (2007), Kloth e Turley (2010) e Stiff e Haigler (2012).

Florescimento, fecundação e formação de frutos e sementes no algodão

Botanicamente, as fibras de algodão são tricomas produzidos na epiderme das sementes localizadas dentro dos frutos e começam a ser produzidas logo após o processo de fecundação das flores. Nesse sentido, uma compreensão inicial da antese

e da fecundação no algodoeiro é importante para um entendimento geral da fisiologia da formação da fibra.

Normalmente, a abertura das primeiras flores do algodoeiro nas principais regiões produtoras do Brasil ocorre entre 50 e 60 dias após a emergência, mas esse período pode aumentar ou reduzir dependendo de fatores ambientais como temperatura ou estresses durante fases anteriores de desenvolvimento. As flores são isoladas, pedunculadas e simétricas; o cálice é constituído por 5 sépalas unidas (gamossépalas) e truncadas e a corola, por 5 pétalas separadas (dialipétalas), com cores que variam de branco a creme, tornando-se violáceas ou arroxeadas a partir do dia da antese, conforme expostas à luz solar (Beltrão *et al.*, 2008; Tan *et al.* 2013). São protegidas por 3 brácteas, folhas modificadas que se desenvolvem na base da flor; apresentam androceu e gineceu, sendo, portanto, hermafroditas. O androceu é constituído por uma coluna estaminal que envolve o estilete; as anteras, onde se desenvolvem os grãos de pólen, são conectadas à coluna estaminal por meio de filamentos (filetes). O gineceu é composto por um ovário súpero, formado por de 3 a 5 carpelos, contendo o mesmo número de lóculos, cada um em geral com 8 a 10 óvulos (Correa, 1965; Beltrão *et al.*, 2008), podendo este número chegar a 12 em alguns casos. Na *Figura 1* estão apresentadas as partes constituintes de uma flor de algodão.

Após a fecundação, o ovário transforma-se no fruto (maçã), uma cápsula deiscente, que após seu desenvolvimento e abertura (capulho) expõe as fibras desenvolvidas em seu interior originadas das sementes formadas; cada lóculo do fruto é uma fração do

capulho formado. Assim, um ovário com 5 carpelos resultará em um capulho de 5 lóculos (cinco divisões internas do fruto pelas quais fibra e semente estão distribuídas) após a deiscência. Cada óvulo fecundado poderá resultar em uma semente. No entanto, usualmente, o número de sementes maduras formadas por lóculo varia de 5 a 9; um número de sementes muito reduzido por lóculo é, portanto, um indicativo de que o processo de polinização/fecundação não foi bem-sucedido. Como a fibra produzida está presente na semente, a redução no número de sementes pode representar redução na produtividade de fibra e, em casos de crescimento insuficiente da semente, em comprometimento da qualidade.

O estigma localiza-se, em geral, a uma altura semelhante ou em uma posição ligeiramente superior ao androceu, o que pode dificultar o transporte dos grãos de pólen das anteras sem auxílio externo. Na cultura do algodoeiro, insetos polinizadores, como abelhas, têm particular importância para a reprodução (Beltrão *et al.*, 2008). Uma vez transportados para o estigma, e havendo condições favoráveis, os grãos de pólen germinam, e seus respectivos tubos polínicos são emitidos, desenvolvendo-se até atingir cada um deles um óvulo. Para que, por exemplo, cada óvulo de um ovário de 4 lóculos (tendo cada lóculo 8 óvulos) seja fecundado, é necessário que pelo menos 32 grãos de pólen atinjam o estigma, germinem, emitam o tubo polínico e desenvolvam-se de forma viável. Um fator que pode prejudicar a polinização e a fecundação — e, conseqüentemente, reduzir o número de sementes — é a ocorrência de temperaturas baixas no dia da antese. Em dias com temperaturas adequadas, a abertura das flores ocorre rapidamente pela manhã, de modo que há maior probabilidade de insetos polinizadores estarem na lavoura e transportarem grãos de pólen viáveis para o estigma. Por outro lado, quando as temperaturas são baixas, a abertura é adiada. Desse modo, as possibilidades de polinização entomófila no dia da antese são reduzidas, podendo inclusive ocorrer somente no dia seguinte, não tendo os grãos de pólen possivelmente mais viabilidade para germinarem. Embora altas taxas de polinização cruzada possam ocorrer em situações específicas, como, por exemplo, diante de alta quantidade de insetos polinizadores, o algodoeiro é uma espécie em que predomina a autogamia.

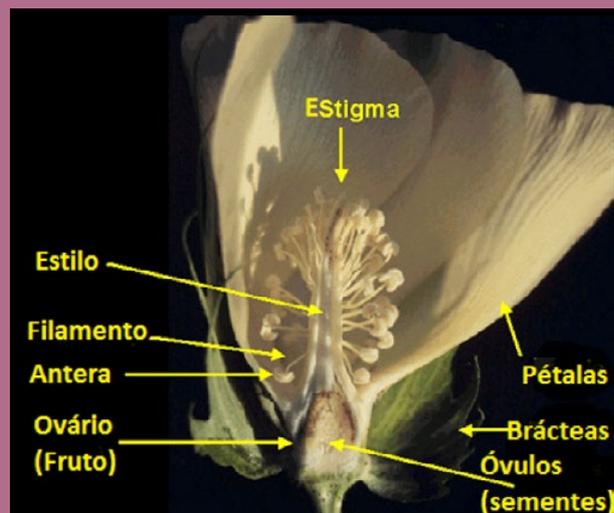


Figura 1. Partes de uma flor madura de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) com seus verticilos masculino (androceu) e feminino (gineceu) (Fonte: Ritchie *et al.*, 2004)

A formação da fibra de algodão

A fibra do algodão desenvolve-se a partir da epiderme, camada mais externa da semente; o processo de formação é dividido em 3 fases principais: (1) iniciação, (2) alongação ou crescimento em comprimento e (3) crescimento em espessura da parede secundária ou maturação (Naithani *et al.*, 1982). Células da epiderme do óvulo diferenciam-se em células de fibra entre 2 e 3 dias antes da antese, permanecendo em um estágio latente até que ocorram estímulos hormonais associados à abertura e à fecundação (Graves e Stewart, 1988). A diferenciação morfológica de uma fibra começa quando uma célula epidérmica adquire conformação arredondada e sua superfície externa projeta-se para fora (Basra e Malik, 1984). A iniciação das fibras nas células da epiderme do óvulo é observada já no dia da antese, quando passam a apresentar uma rápida alongação (Figura 2).

Cada fibra é originária do crescimento de uma célula simples da epiderme; essa célula alonga-se em uma média aproximada de 1 mm por dia até atingir seu comprimento máximo, cujo tamanho final será determinado por atributos genéticos e condições ambientais. De acordo com resultados de pesquisas anteriores, o principal período de crescimento em comprimento da fibra ocorre até entre 25 e trinta dias após a fecundação/antese da flor, em que se observa um aumento

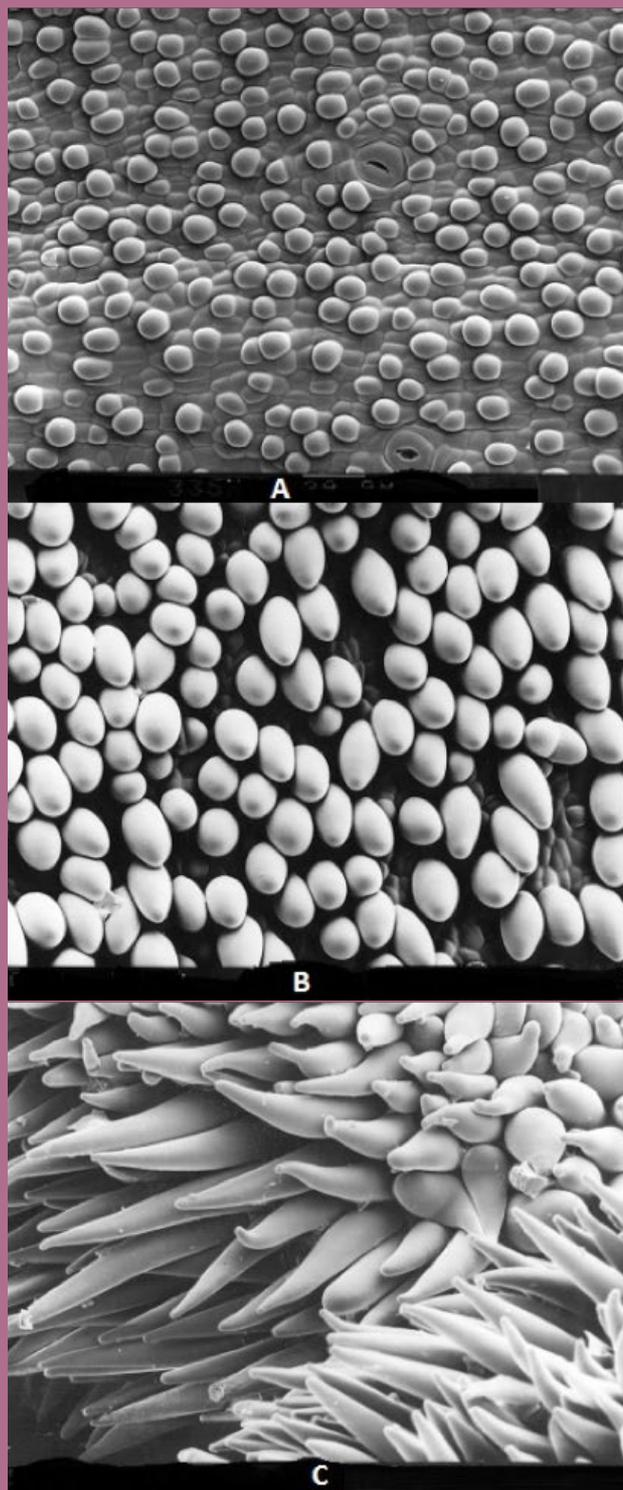


Figura 2. Fibras de algodão em desenvolvimento; observe-se a iniciação e a rápida alongação inicial. A) 0 dias após a antese (DPA); B) 1 DPA; C) 2 DPA (Fonte: Jernsted citado por Hsieh, 2007)

praticamente linear quando o valor máximo é atingido (Sabino *et al.*, 1976), ou a taxa de crescimento passa a ser muito lenta e não significativa (Schubert *et al.*, 1973). O comprimento da fibra pode variar entre 12 mm e 65 mm (Correa, 1965); fibras mais longas exigem menos torções para obtenção de fios resistentes, melhorando o rendimento industrial. No Brasil, predomina o cultivo da espécie *Gossypium hirsutum*, de fibras médias, cujo comprimento é classificado por um código universal associado a uma escala que varia de 20,1 mm a 31,2 mm, pela instrução normativa nº 63/2002 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

Depois desse período de trinta dias após a fecundação, passa então a predominar um processo de crescimento em espessura da parede celular da célula de fibra pela deposição de celulose em camadas internas concêntricas; tal processo é conhecido como maturação da fibra e, em geral, prolonga-se até 45-75 dias após a fecundação, dependendo do genótipo e das condições meteorológicas locais. A fibra de algodão em desenvolvimento é essencialmente circular e, após o período de maturação, o diâmetro é uniforme em torno do ponto médio, afinando-se em direção a sua ponta e a sua base. A maturidade da fibra é, portanto, determinada pela magnitude do espessamento da parede celular; fibras imaturas, por serem mais fracas, quebram-se facilmente e apresentam uma série de espessamentos nodulares irregulares (*neps*), prejudicando o rendimento industrial em etapas de fição e tingimento e a qualidade do tecido final. A maturidade também está relacionada à finura da fibra, de modo que fibras mais maduras apresentam maior diâmetro por unidade de comprimento.

A expansão das fibras, conforme o processo de maturação avança, e a evaporação interna de água decorrente da exposição às temperaturas diurnas aumentam a pressão interna do fruto, resultando em sua abertura. Se as fibras forem pouco maduras, ou seja, tiverem o processo de maturação prejudicado por alguma razão, apresentarão uma forma achatada quando observadas de modo transversal, por conta da ausência das paredes internas de celulose. Por outro lado, se estiverem bem desenvolvidas, terão formas arredondadas ou elípticas, indicando o preen-

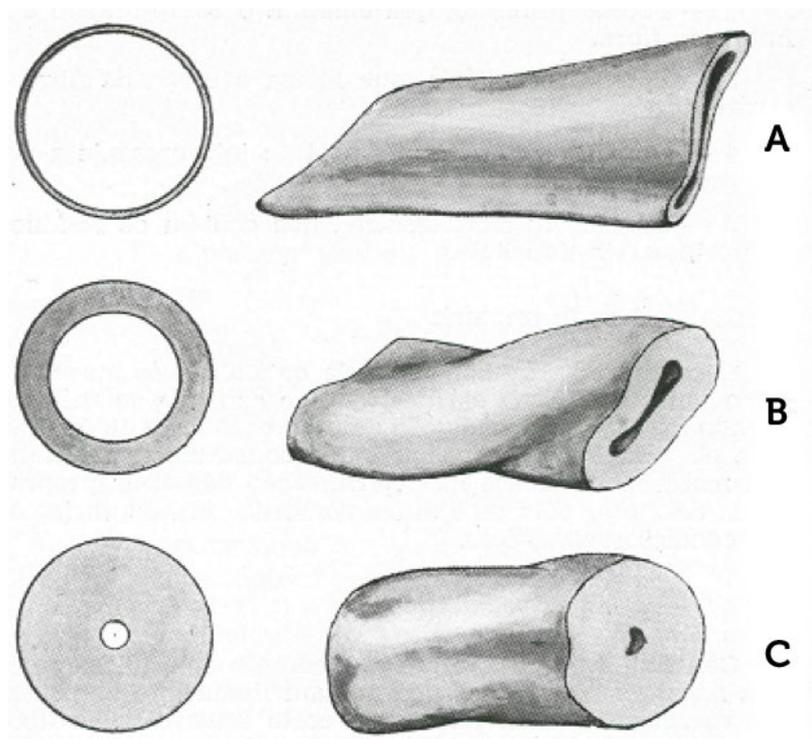


Figura 3. Representação esquemática de fibra imatura (A); fibra de maturação média (B); e fibra madura de aspecto cilíndrico e com lúmen reduzido (C) (Fonte: Correa, 1965)

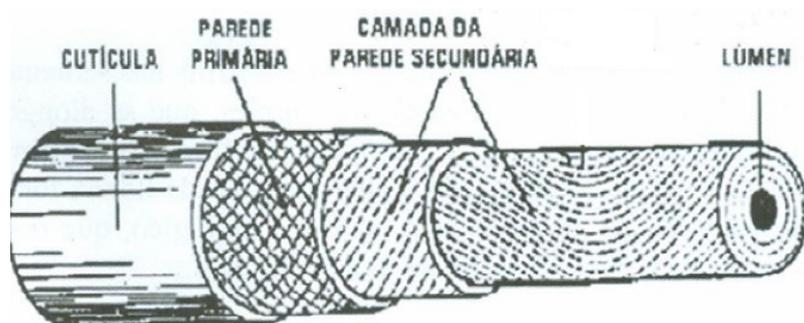


Figura 4. Representação esquemática da estrutura da fibra de algodão com suas partes principais (Fonte: Kondo e Sabino, 1989)

chimento bem sucedido das camadas internas; na parte central da fibra permanece um canal vazio, o lúmen. O número de fibras por semente na espécie *Gossypium hirsutum* varia tipicamente entre 7 mil e 15 mil (Correa, 1965), embora em análises recentes números próximos a 20 mil unidades tenham sido observados (Cranmer, 2004). Uma representação de fibras em diferentes condições de maturidade pode ser vista na Figura 3.

Estrutura da fibra de algodão

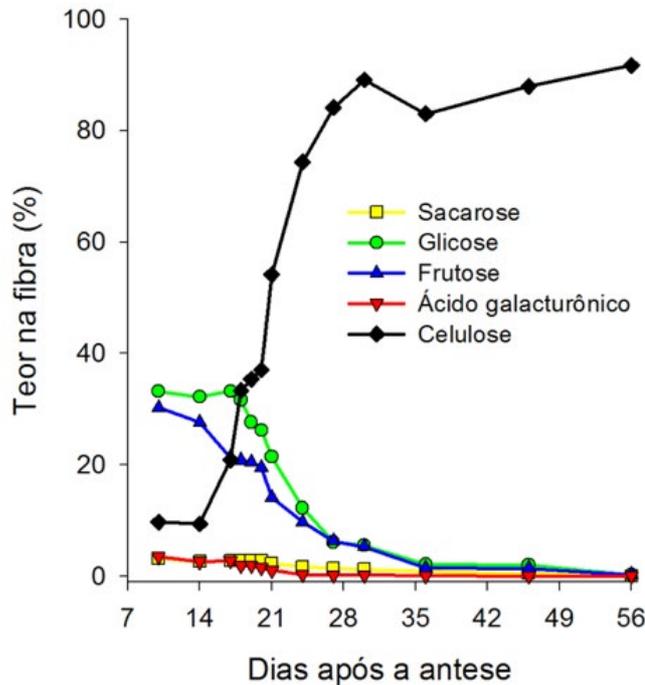
A fibra de algodão é tubular, mais larga na base e mais achatada nas extremidades, apresentando uma série de torções estruturais, que surgem durante as deposições de camadas de celulose na fase de maturação e decorrem do fato de que, embora concêntricas, essas camadas são depositadas em direções aleatórias, resultando em uma

forma final espiralada de fibra. O comprimento tem de mil a 3 mil vezes a largura (Basra e Malik, 1984).

A estrutura da fibra é composta pelas seguintes partes principais, ilustradas na Figura 4:

- a) **Cutícula** - localizada na parte mais externa da fibra, composta por pectinas, ceras, óleos etc., com a função de proteção.
- b) **Parede primária** - delimitada externamente pela cutícula e internamente pela parede secundária, tendo papel importante sobre o comprimento e sobre a finura da fibra; embora sua participação seja proporcionalmente pequena, pode influenciar propriedades intrínsecas finais.
- c) **Parede secundária** - constitui o corpo da fibra, composta por fibrilas de celulose pura, depositada

Figura 5. Teores de celulose e açúcares redutores em fibras de algodão durante seu desenvolvimento. Médias de duas cultivares de *G. hirsutum* (Fonte: adaptado de Abidi et al., 2010)



na forma de camadas concêntricas, sendo fortemente influenciada por fatores ambientais, como temperatura.

d) **Lúmen** - é um canal central onde se encontram resíduos proteicos da célula após a fase de maturação.

Composição química da fibra de algodão

A parede secundária compõe a maior parte da fibra; consequentemente, o principal componente químico é a celulose, que ultrapassa 90% da constituição da fibra após o processo de maturação. Durante o período de desenvolvimento, o teor de celulose aumenta, resultante de reações

de polimerização de sacarídeos mais simples, como glicose e frutose, produzidos a partir da conversão da sacarose translocada para a célula da fibra (Abidi et al., 2010) (Figura 5). Na, essa variação no teor de celulose da fibra é demonstrada de forma detalhada, iniciando-se com níveis próximos a 10% aos dez dias após a fecundação da flor e aproximando-se de 90% aos cinquenta dias, enquanto os níveis de açúcares redutores diminuem.

A fibra também apresenta em sua composição outras substâncias, incluindo proteínas, ceras, pectinas, açúcares redutores e cinzas (Tabela 1), cujos teores finais são relativamente baixos.

Tabela 1. Composição química de fibras maduras de algodão

| Constituinte | Composição da fibra em base seca | |
|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| | Típico (%) | Faixa (%) |
| Celulose | 95 | 88-96 |
| Proteína (N x 6,25) ^a | 1,3 | 1,1-1,9 |
| Substâncias pécnicas | 0,9 | 0,7-1,2 |
| Cinzas | 1,2 | 0,7-1,6 |
| Ceras | 0,6 | 0,4-1,0 |
| Açúcares totais | 0,3 | 0,1-1,0 |
| Ácidos orgânicos | 0,8 | 0,5-1,0 |
| Pigmentos | - | - |
| Outros | 1,4 | - |

(a) Método-padrão de determinação de estimativa do percentual de proteína a partir do conteúdo de nitrogênio (Fonte: Wakelyn et al., 2006)

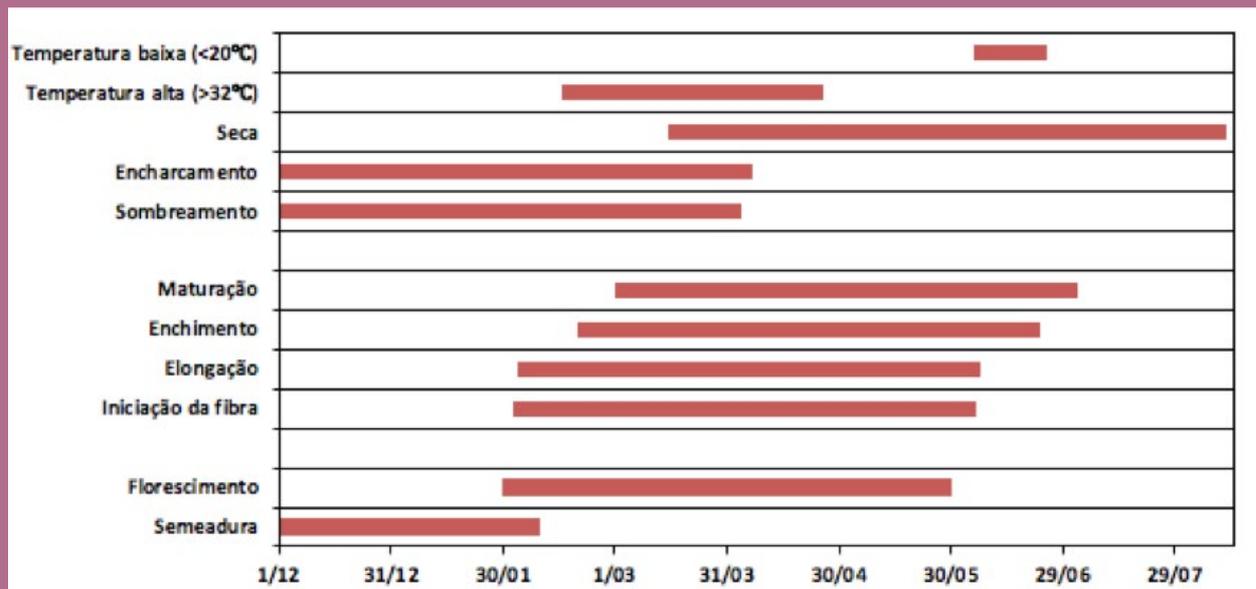


Figura 6. Representação esquemática hipotética das épocas de semeadura, florescimento, crescimento e desenvolvimento da fibra e da ocorrência de estresses no algodoeiro em Mato Grosso. Para elaboração deste esquema, utilizaram-se valores históricos de precipitação, temperaturas e radiação, sendo que esses eventos climáticos podem ocorrer durante todo o ciclo, dependendo da microrregião

Os teores de proteínas e açúcares redutores são inicialmente maiores, mas diminuem conforme ocorre o acúmulo de celulose na parede secundária. As ceras estão associadas a importantes propriedades, como lenta absorção de água, o que dificulta sua degradação por microrganismos e possibilita redução do atrito entre as diferentes fibras durante o beneficiamento e a fiação, evitando o desgaste excessivo; as ceras são encontradas na parede primária, assim como as pectinas, que possuem função cimentante. As cinzas são constituí-

das basicamente por elementos inorgânicos, como potássio, cálcio, magnésio etc. Os teores de silício e dos principais metais encontrados na fibra estão presentes na *Tabela 2*.

Uma vez compreendidas as noções básicas de fisiologia da formação da fibra, pode-se então estudar suas relações com fatores ambientais abióticos e práticas de manejo, visando adotar estratégias no campo que propiciem a melhor qualidade possível dos capulhos a serem destinados para a indústria têxtil.

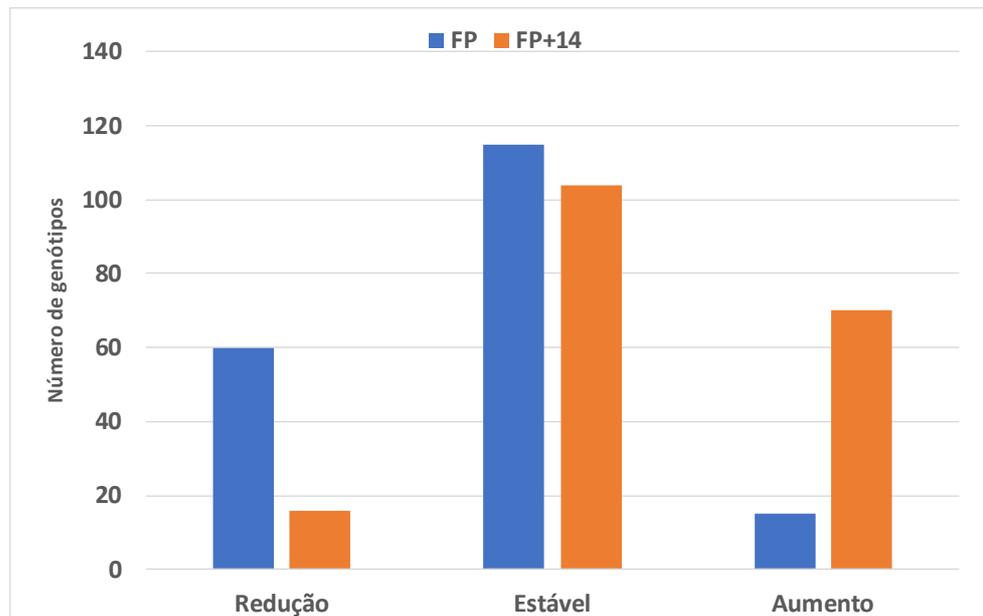
Tabela 2 - Elementos metálicos e silício em fibras maduras de algodão

| Elemento | Teor (ppm ^a) |
|----------|--------------------------|
| Potássio | 2000-6500 |
| Silício | 600-1200 |
| Cálcio | 400-1200 |
| Magnésio | 400-1200 |
| Sódio | 100-300 |
| Ferro | 20-90 |
| Manganês | 1-10 |
| Cobre | 1-10 |
| Zinco | 1-10 |
| Chumbo | n.d. ^b |
| Cádmio | n.d. |

(a) partes por milhão.

(b) não detectado
(Fontes: Boylston, 1988;
Brushwood e Perkins Jr., 1994)

Figura 7. Variação do micronaire em genótipos de algodão submetidos ao estresse hídrico no estágio de florescimento pleno (FP) e florescimento pleno + 14 dias (FP+14). Redução (<10,1%); Estável (+-10%) e Aumento (>10,1%) no índice micronaire em relação ao controle irrigado



2. Efeito dos fatores abióticos sobre a qualidade da fibra

O algodoeiro está sujeito a estresses ambientais desde sua semeadura até a colheita; por exemplo, o excesso de chuva aliado à textura argilosa do solo pode reter muita água no solo, levando à condição de encharcamento, principalmente no início do desenvolvimento vegetativo, podendo estender-se até o começo do florescimento (Figura 6). Aliado a isso, tem-se a condição de baixa disponibilidade luminosa, que pode levar à redução da produtividade e da qualidade da fibra, dependendo do momento em que ocorrer. Depois, a baixa disponibilidade de água, principalmente em solos de textura leve, pode limitar as fases de alongação e enchimento das fibras. Associada à seca pode estar a elevada temperatura, tanto a diurna quanto a noturna, em algumas regiões de baixa altitude, o que pode limitar tanto a retenção das estruturas como o suprimento de carboidratos para o enchimento da fibra. Baixas temperaturas também podem ocorrer nas regiões mais altas (Chapada dos Guimarães, Campo Verde e Primavera do Leste), normalmente por poucos dias,

mas que podem limitar a qualidade da fibra pela interação com a seca, pois, mesmo que as temperaturas voltem a ficar em patamares ideais, a disponibilidade hídrica pode limitar a translocação dos carboidratos para enchimento dos frutos e haver problemas nas características da fibra, principalmente no micronaire e na resistência.

2.1 Estresse hídrico

O estresse hídrico caracteriza-se por uma oferta em maior ou menor quantidade de água demandada pelo algodoeiro em determinada fase fenológica. Assim, o fenômeno será tratado neste capítulo como os eventos de seca e de encharcamento, pois, em uma mesma safra, existe a possibilidade da ocorrência das duas situações em lavouras de Mato Grosso, a exemplo do excesso de chuva em algumas regiões (Nova Mutum, Lucas do Rio Verde, Sorriso, Sapezal e Campo Novo do Parecis) nos estádios iniciais da cultura (germinação, emergência, desenvolvimento vegetativo, emissão de botões florais e até o início do florescimento) e da deficiência hídrica posterior na fase de enchimento das maçãs, sobretudo as do terço médio e superior da planta.

2.2 Seca

A fibra de algodão, conforme visto anteriormente, possui duas fases principais de desenvolvimento: o crescimento e o enchimento. Por ser uma célula, como qualquer outra da planta, a fibra depende de água para sua expansão e, portanto, para seu crescimento; dessa forma, o que se espera é que, em condições de seca, haja uma redução do comprimento da fibra. Além disso, o secamento do solo induz a produção de ácido abscísico, fito-hormônio que controla a abertura e o fechamento dos estômatos, reduzindo o potencial hídrico da folha, interferindo negativamente na interceptação luminosa, na assimilação de carbono e, conseqüentemente, na disponibilidade de carboidratos para o enchimento dos frutos (Allen e Aleman, 2011).

Estudos conduzidos em Primavera do Leste/MT avaliaram o efeito da deficiência hídrica sobre o micronaire de 190 genótipos de algodão quando as plantas estavam no estágio de florescimento pleno (FP) e no florescimento pleno + 14 dias (FP+14) (Figura 7). Foi observado que a maior parte dos genótipos avaliados (60% para o estresse em FP e 55% para FP+14) apresentou micronaire estável (+/-10%) em relação ao controle irrigado; porém, observou-se maior proporção do número de genótipos que apresentaram redução no micronaire quando o estresse ocorreu no florescimento pleno. Nessa condição, o abortamento das estruturas frutíferas foi seguido do desenvolvimento dos frutos de segunda e terceira posição e estes encontraram limitação por água e temperatura na fase de enchimento do fruto, o que limitou a produção e redistribuição de carboidratos e a síntese de celulose. Além disso, houve aumento da frequência de genótipos que tiveram aumento do micronaire quando o estresse hídrico ocorreu no florescimento pleno + 14 dias. O fato pode ser explicado pelo maior abortamento de estruturas quando o estresse ocorreu na fase FP+14 dias, e nessa condição há maior disponibilidade de carboidratos para o enchimento dos frutos remanescentes. Essas observações são importantes do ponto de vista do melhoramento genético, pois, uma vez identificados, esses genótipos que toleram mais o estresse em ambas as fases podem servir de base para os cruzamentos.

Davis *et al.* (2014) estudaram o efeito do déficit hídrico e da infestação de nematoide-das-galhas (*Meloydogyne incognita*), problema que

vem agravando-se nas últimas safras em Mato Grosso, e observaram que o micronaire aumentou em função do déficit hídrico e dos nematoides, mas os efeitos foram independentes e aditivos, ou seja, um problema agravou o efeito do outro.

Lokhande e Reddy (2014) observaram redução da biomassa total, número de capulhos, peso de sementes e produtividade do algodão em resposta ao déficit hídrico como consequência do declínio da atividade fotossintética. Em adição, houve redução linear do comprimento da fibra, da resistência e da uniformidade com o decréscimo do potencial hídrico da folha (quanto mais negativo, mais seco) e aumento do micronaire em resposta ao aumento do déficit hídrico (Figura 8). Os autores pontuaram que a resistência e o micronaire foram as características mais responsivas ao estresse por seca, seguido pelo comprimento e pela uniformidade. Também o conteúdo de fibras imaturas aumentou e a maturidade diminuiu como resposta à redução do potencial hídrico da folha.

2.3 Encharcamento

Eventos de encharcamento têm sido frequentes em algumas regiões de Mato Grosso, especialmente nas microrregiões que sofrem grande influência da região Amazônica, o que leva à redução da disponibilidade de oxigênio às raízes do algodoeiro, dificultando a absorção de nutrientes, especialmente o nitrogênio e o ferro, diminuindo a área foliar, a interceptação luminosa, a fixação de carbono e, por fim, o crescimento e o desenvolvimento. O efeito da hipoxia (baixa concentração de O₂ no solo) sobre a qualidade de fibra em Mato Grosso é baixo, uma vez que o maior efeito é a redução do número das estruturas frutíferas e da produtividade, assim os frutos remanescentes terão sua qualidade preservada.

Resultados da literatura são controversos com relação à resposta da qualidade da fibra ao encharcamento. Por exemplo, Bange *et al.* (2004) não observaram efeito do encharcamento sobre o comprimento da fibra e sobre o micronaire em um estudo de campo de três safras na Austrália. Por outro lado, Wang *et al.* (2017), em um estudo em ambiente controlado, observaram que o encharcamento no florescimento reduziu o comprimento da fibra, aumentou o micronaire (exceto no estágio de botões florais) e reduziu a resistência nas fases de florescimento e de capulho. Particularmente, a resistência

Figura 8. Índices de déficit hídrico em características da fibra de algodão. Os valores potenciais foram estimados pela divisão dos valores máximos estimados por todos os valores para derivar os fatores de redução e expressos como a fração entre 0 e 1 (Fonte: adaptado de Lokhande e Reddy, 2014)

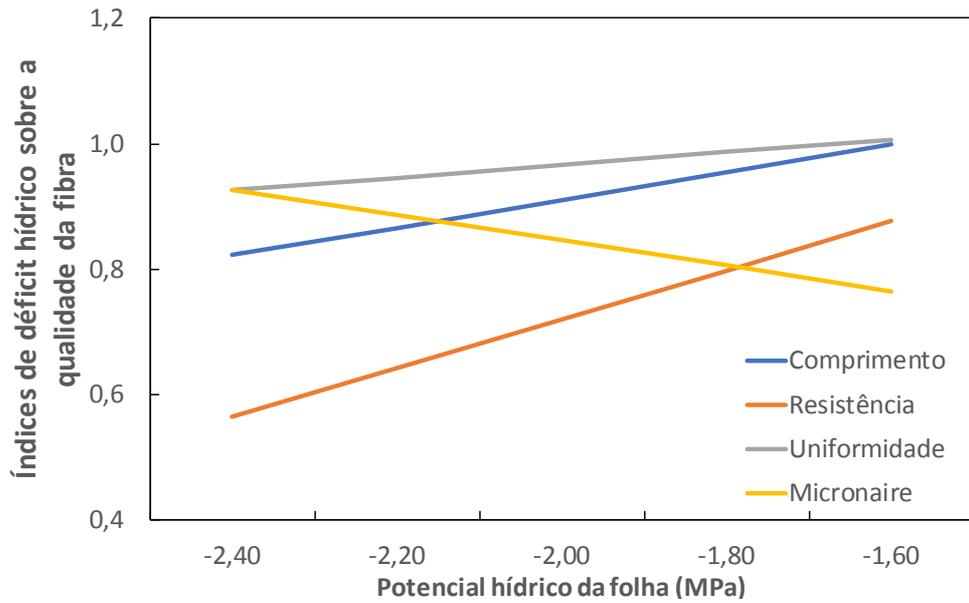
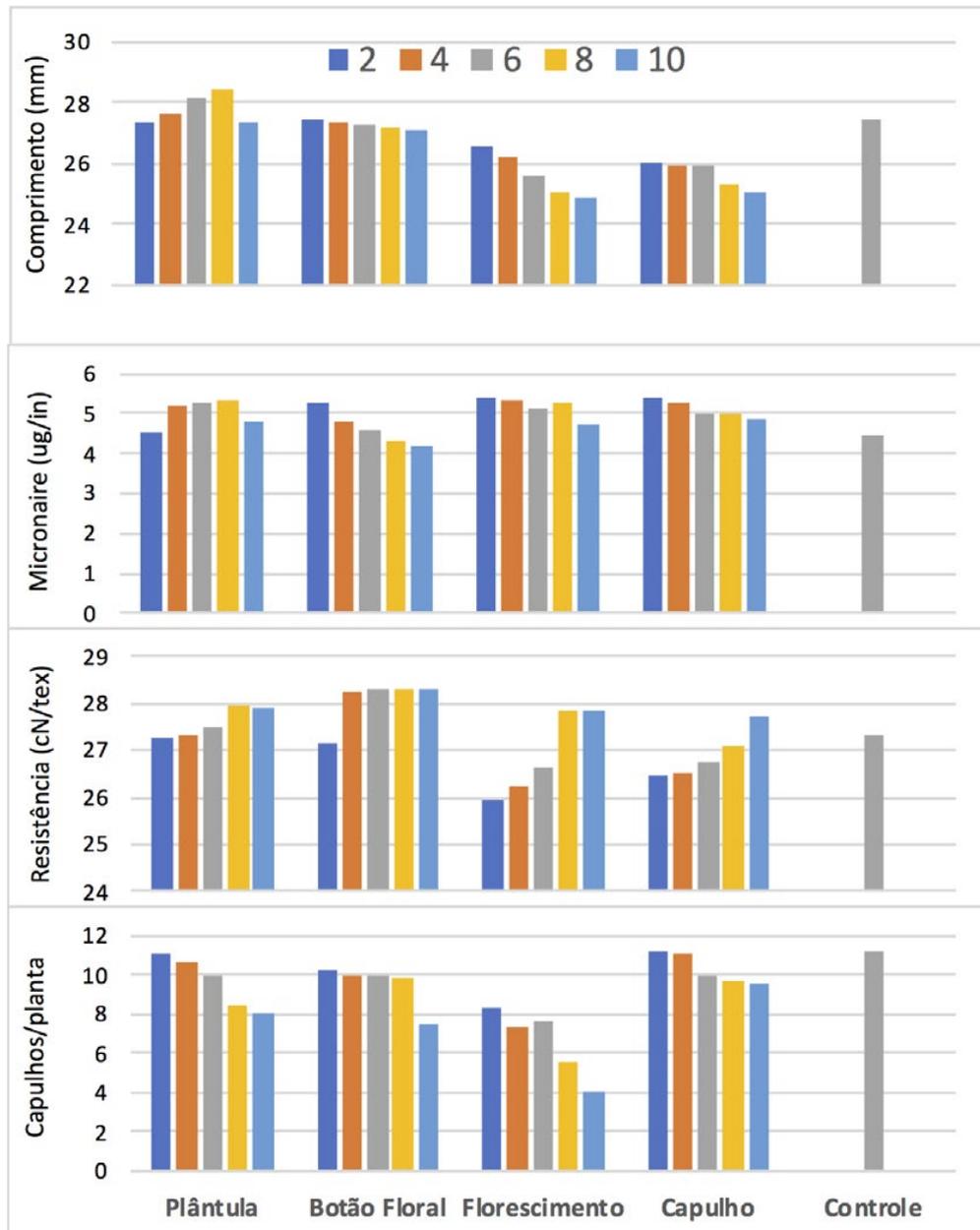


Figura 9. Efeito do período de encharcamento do solo (2, 4, 6, 8 e 10 dias) em diferentes estádios fenológicos do algodoeiro sobre as características tecnológicas da fibra e sobre o número de capulhos por planta (Fonte: adaptado de Wang et al., 2017)



da fibra foi inversamente proporcional á quantidade de capulhos retidos na planta, assim, as plantas com menos capulhos apresentaram maior resistência, o que se justifica pela alteração da relação fonte dreno (*Figura 9*).

2.4 Temperatura

A temperatura é o principal fator ambiental que interfere no crescimento e no desenvolvimento do algodoeiro e também de grande importância para a formação da qualidade da fibra. Em geral, em Mato Grosso, as temperaturas nas regiões produtoras de algodão não são limitantes para obtenção de alta produtividade e qualidade de fibra. Em alguns locais específicos pode haver limitação por baixas temperaturas no mês de junho (altitudes superiores a 600 metros - Chapada dos Guimarães, Campo Verde, Primavera do Leste, Serra da Petrovina), de modo que a principal consequência disso é o alongamento do ciclo, pois a planta precisa de mais dias para acumular os graus-dias necessários para o avanço nas fases fenológicas, e, nesse caso, a formação e o desenvolvimento da qualidade da fibra podem ser modificados. Dependendo das condições ambientais após o período de frio, pode haver perdas na qualidade. Em outros lugares, de baixa altitude (Rondonópolis, Lucas do Rio Verde, Vale do Araguaia), as altas temperaturas noturnas podem interferir tanto na qualidade como na produtividade. Por fim, a combinação de eventos, tais como seca vs. alta temperatura, seca vs. baixa temperatura ou encharcamento vs. temperatura noturna ou diurna alta podem apresentar grande limitação à obtenção de altas produtividades e qualidade de fibra.

Efeito das temperaturas sobre a qualidade da fibra

Um trabalho clássico que mostra o efeito da temperatura, tanto baixa como elevada, foi desenvolvido por Haigler *et al.* (1991). Os autores reportaram um bom desenvolvimento dos anéis concêntricos de celulose quando a fibra se desenvolveu em temperatura de 34-22°C (*Figura 10*). Por outro lado, sob temperatura noturna de 15°C (34-15°C) houve deposição irregular de celulose. Sob temperaturas noturnas mais elevadas, o número de camadas de celulose depositadas foi menor (34-28°C) e sob temperatura constante de 34°C não houve a formação das camadas de celulose. A deposição irregular de celulose dá-se pela menor atividade enzimática

sob baixas temperaturas ou pelo aumento da respiração noturna, o que consome os carboidratos que seriam disponibilizados para enchimento da fibra (Echer *et al.*, 2014; Loka *et al.*, 2010; Loka *et al.*, 2016). A consequência disso será fibra imatura, de baixa resistência e micronaire.

Ainda em relação ao efeito da temperatura sobre o micronaire, Bange *et al.* (2010) desenvolveram um modelo para estimar o efeito das temperaturas mínimas e médias sobre o micronaire com uma acurácia de 68%. Dessa forma, para obtenção de fibras com micronaire na faixa premium (3,7 a 4,2), as faixas de temperatura mínima e média seriam entre 15-18°C e 22-25°C, respectivamente (*Figura 11*).

A resistência da fibra aumenta linearmente com o aumento da temperatura (Lokhande e Reddy, 2014), e esse comportamento ocorre devido à menor retenção de capulhos sob temperaturas maiores que 30-22°C, devido à modificação da relação fonte-dreno.

Além da alteração na deposição de celulose, observa-se que, sob regimes de temperatura mais elevados (34-34°C e 34-28°C), o comprimento final da fibra é atingido cerca de uma semana mais cedo em relação à temperatura 34-22°C; enquanto que, sob baixas temperaturas noturnas (34-15°C), a fibra fica menor e não atinge o comprimento dos demais regimes (*Figura 12*).

2.5 Luminosidade

O algodoeiro é cultivado em Mato Grosso predominantemente em áreas não irrigadas, sendo dependente da ocorrência de chuvas; a estação chuvosa normalmente inicia-se em setembro/outubro, permanecendo até meados de abril. Boa parte das precipitações concentra-se entre janeiro e fevereiro. Embora a disponibilidade de água seja essencial para o desenvolvimento das plantas, nesses meses períodos nublados prolongados podem ocorrer, limitando a disponibilidade de luz. A restrição de luz reduz a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa e a atividade fotossintética das folhas, implicando em diversas outras consequências fisiológicas. Uma discussão mais direta desses efeitos sobre o desenvolvimento e a produtividade do algodão foi realizada anteriormente (Echer e Rosolem, 2014), de modo que aqui será dada maior atenção ao desenvolvimento e à qualidade da fibra.

Durante o desenvolvimento reprodutivo, a redução da produção de açúcares nas folhas pela fotossíntese devido ao sombreamento limita o

Figura 10. Enchimento da fibra de algodão sob diferentes regimes de temperatura diurna/noturna (12/12h) (Fonte: adaptado de Haigler et al., 1991)

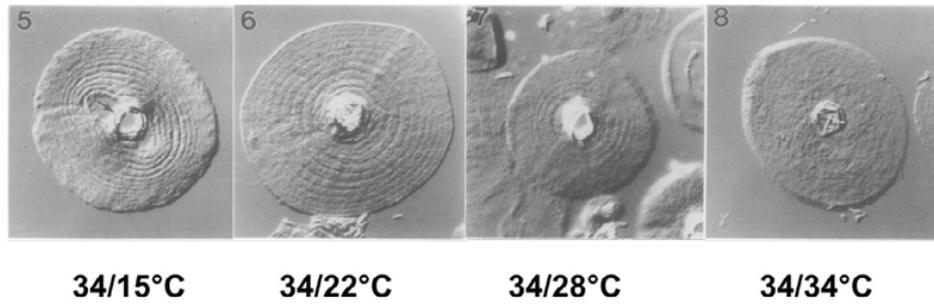


Figura 11. Relação entre o micronaire e as temperaturas mínima e média (Fonte: adaptado de Bange et al., 2010)

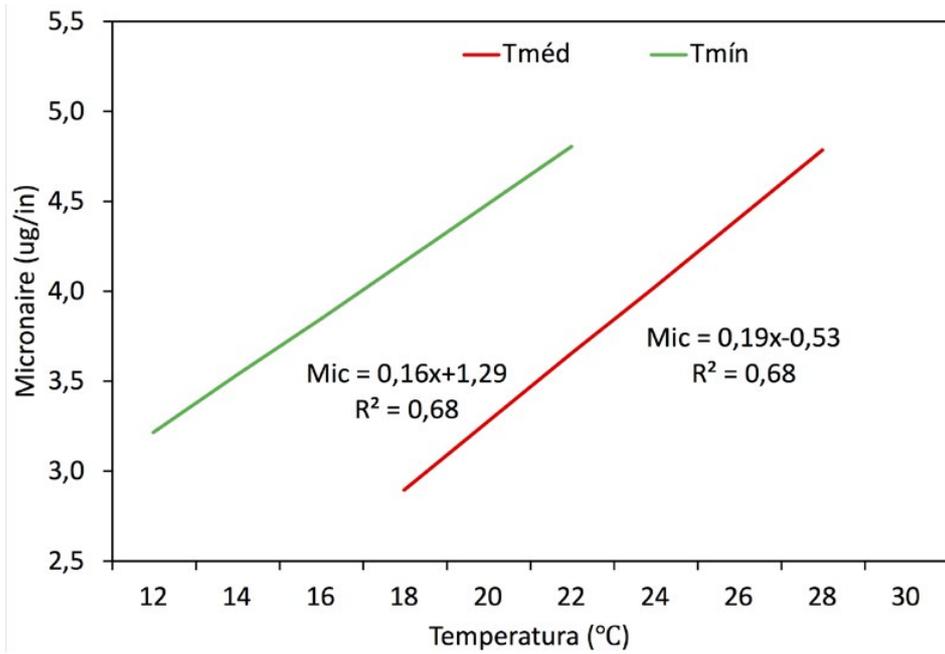
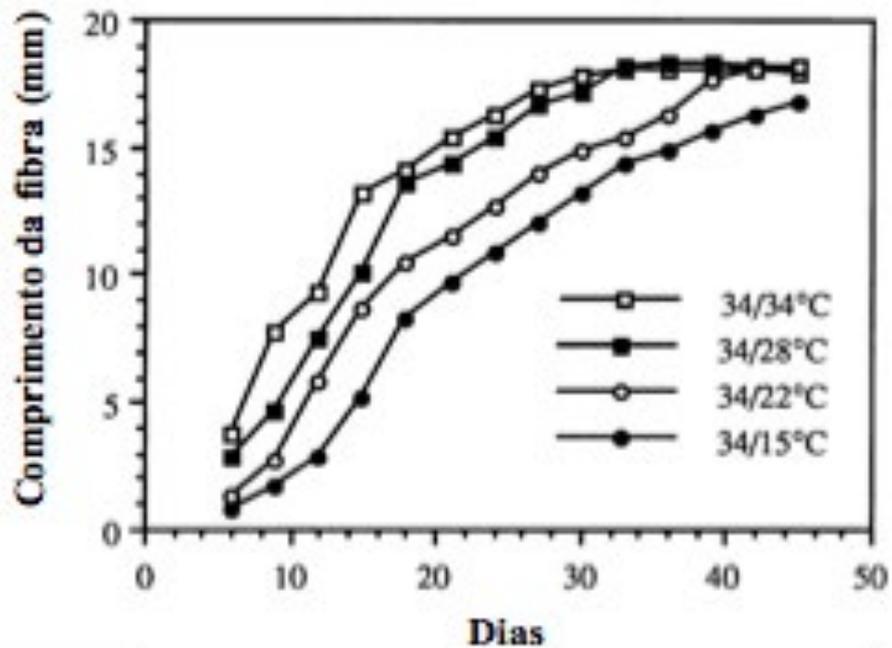


Figura 12. Comprimento da fibra sob diferentes regimes de temperatura (Fonte: adaptado de Haigler et al., 1991)



fluxo de sacarose para frutos jovens (Zhao e Oosterhuis, 1998). Essa limitação nos frutos pode desencadear uma série de repostas fisiológicas que levam à menor qualidade após colheita; esses efeitos, de modo geral, podem ser divididos em direto e indireto.

O efeito direto é o suprimento insuficiente de açúcares aos frutos, reduzindo a produção de polímeros de celulose, levando à formação de fibras imaturas; o efeito indireto, por sua vez, é decorrente da influência de outros fatores ambientais associados ou posteriores ao período de restrição de luz. Neste último caso, a redução do fluxo de carboidratos para botões florais e frutos recém-formados resulta em sua abscisão, podendo levar à redução do número de capulhos por área (Echer e Rosolem, 2015; Chen *et al.*, 2017a). A abscisão de botões e frutos iniciais jovens aumenta a proporção de frutos mais tardios (Pettigrew *et al.*, 1992), sujeitos, nas condições tropicais, a ambientes mais limitantes em temperatura e disponibilidade hídrica durante sua formação; esse efeito é intensificado quando a produção perdida é parcial ou totalmente compensada em posições de frutificação mais tardias. Se as temperaturas e a disponibilidade hídrica forem baixas, o peso de capulhos poderá ser reduzido, as fibras poderão ser imaturas e apresentar menor resistência (Figura 13). A redução do índice micronaire associado ao aumento da abscisão de frutos e da proporção de frutos tardios pode ocorrer se as plantas são sombreadas em diferentes épocas do florescimento (Figura 14). As épocas mais críticas de sombreamento incluem o início e o pico de florescimento e o período inicial de frutificação. Fibras analisadas após o sombreamento durante seu período de formação apresentaram menor acúmulo de sacarose e menor atividade das enzimas sacarose sintase e invertase, que apresentam importante função na alongação e na formação dos polímeros de celulose (Figura 15).

Além do sombreamento proveniente da redução de radiação direta, as folhas localizadas em regiões inferiores da planta podem ser sombreadas por aquelas localizadas em regiões superiores da mesma planta ou de plantas vizinhas. Dependendo da magnitude do fenômeno, conhecido como autossombreamento, a fotossíntese dessas folhas é comprometida a ponto de resultar na abscisão em grande número de frutos próximos. Os frutos que continuam na planta podem apresentar fibras malformadas. A presença excessiva de folhas também aumenta a umidade relativa

do ar dentro do dossel, criando condições favoráveis para o desenvolvimento de fungos saprófitos que atacam os frutos, levando a perdas por podridão que podem atingir níveis consideráveis (podridão de baixeiro).

Efeitos da restrição de luz sobre a qualidade intrínseca

Resultados experimentais indicam que o sombreamento prolongado nas fases críticas de florescimento e frutificação pode reduzir o peso dos capulhos (Zhao e Oosterhuis, 2000; Chen *et al.*, 2017a), a resistência (Lv *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2017a) e o índice micronaire (Zhao e Oosterhuis; Lv *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2017a), sendo este último o atributo mais frequentemente afetado. Assim, os riscos maiores estão relacionados à formação de fibras imaturas. No entanto, embora menos provável, também é possível que o sombreamento possibilite um aumento no índice micronaire, mesmo com a compensação da produção em épocas mais tardias. Esse fenômeno é possível, por exemplo, se os frutos mais tardios se desenvolverem em condições menos limitantes de temperatura (Echer e Rosolem, 2015) ou umidade do que os que foram abortados.

Os efeitos sobre o comprimento da fibra não são consistentes e variam; em alguns experimentos o comprimento não foi afetado pelo sombreamento (Zhao e Oosterhuis, 2000; Echer e Rosolem, 2015). Aumentos de comprimento foram relatados na China em ambientes de maiores temperaturas (Chen *et al.*, 2014; Lv, 2015), estando associados à maior duração do período de fechamento dos plasmodesmos das células da fibra, gerando maior turgor osmótico interno para a alongação. Por outro lado, em temperaturas baixas, a redução na atividade de enzimas e no fluxo de carboidratos levou à diminuição da taxa de alongação, reduzindo o comprimento final (Chen *et al.*, 2014). Nesse sentido, é possível que sementeiras muito tardias resultem fibras mais curtas se houver sombreamento prolongado durante a formação de maçãs, uma vez que a redução da temperatura pode tornar-se restritiva para alongação. No entanto, ressalta-se que temperaturas baixas são mais restritivas para a maturação que para a alongação; é possível também que, dependendo do ambiente, o sombreamento não afete a qualidade da fibra (Echer e Rosolem, 2015). Se o período de restrição luminosa for muito curto, ou se as condições após esse período não forem limitantes, os frutos remanescentes na lavoura não terão sua formação comprometida.

Figura 13.

Redução do peso de capulho e da qualidade intrínseca de fibra pelo sombreamento durante todo o período de formação da maçã (48 dias). Sombreamento mantido sobre o dossel através de telas com capacidade de redução de luz a 79-62% da disponibilidade original. Médias de dois anos de experimento (Fonte: adaptado de Chen et al., 2017)

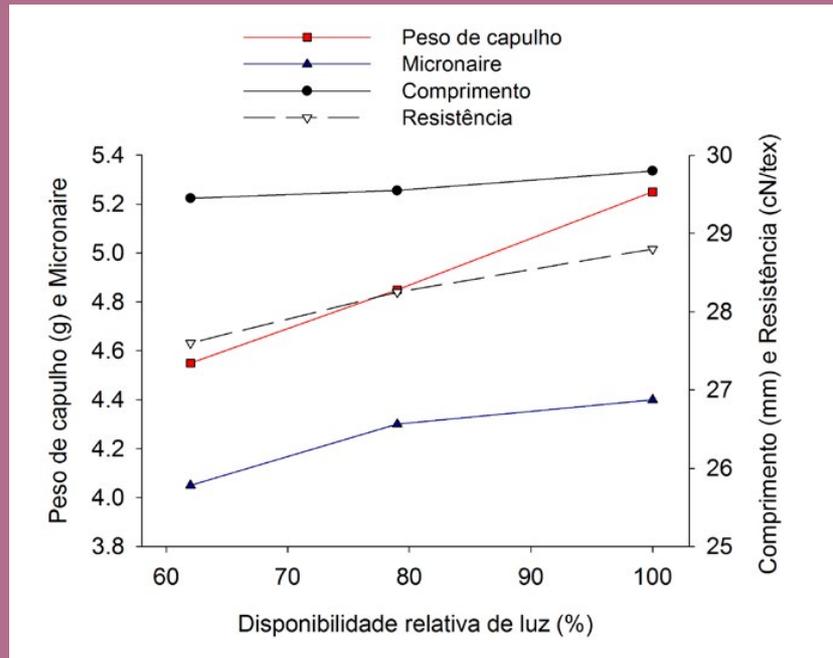


Figura 14.

Efeito de oito dias de sombreamento aplicado em diferentes fases do desenvolvimento reprodutivo sobre a o número de abortos (abscisão) de frutos, a produtividade e o índice micronaire. Redução de 63% da radiação fotossintética com tela de cor preta sobre o dossel. As fases de pico de florescimento e frutificação correspondem a oito e dezesseis dias após a abertura da primeira flor, respectivamente (Fonte: adaptado de Zhao e Oosterhuis, 2000)

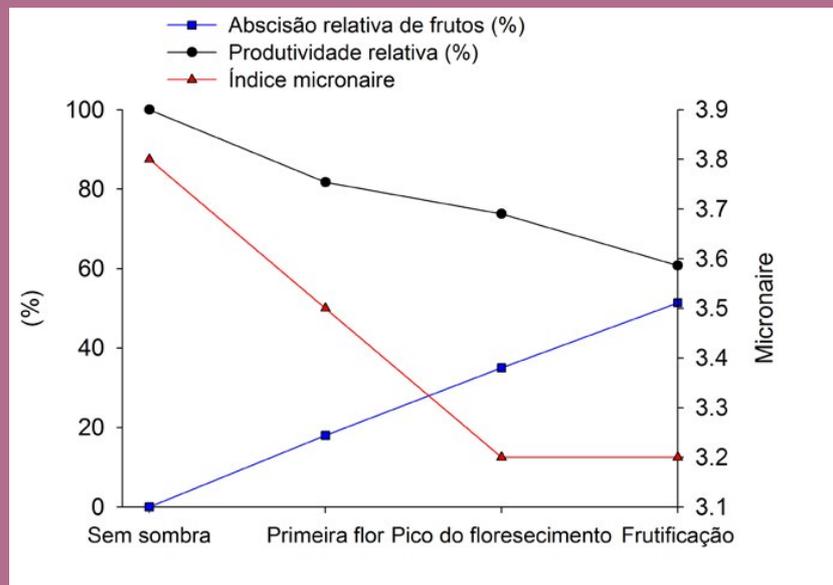
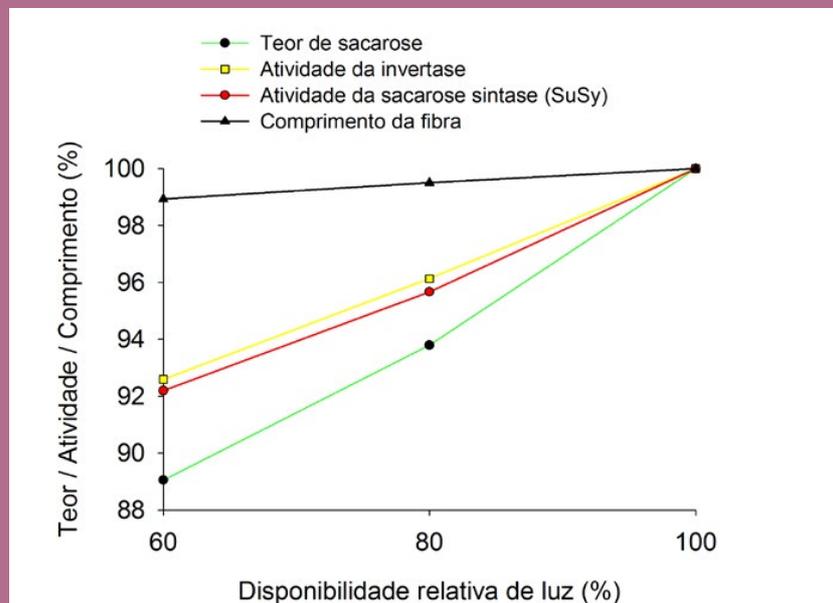


Figura 15.

Efeito do sombreamento sobre comprimento e respostas fisiológicas da fibra durante seu processo de formação (variações percentuais). Disponibilidade relativa de luz estabelecida pela ausência (100%) ou presença de telas de sombreamento durante toda a formação do fruto para obtenção de 80-60% da radiação fotossinteticamente ativa original. Média de três épocas de semeadura e duas cultivares (Fonte: adaptado de Chen et al., 2014)



Relações da época de semeadura e cultivares com efeitos do sombreamento

Quando a semeadura do algodoeiro é tardia (final de janeiro/início de fevereiro), o ciclo é mais curto, notando-se quedas de temperaturas e chuvas a partir do mês de abril, aproximadamente no início do florescimento. Assim, abortos de botões e frutos em semeaduras tardias são mais difíceis de serem recuperados em comparação às realizadas em épocas mais iniciais. Além disto, uma proporção maior da produção pode ser formada em épocas em que a disponibilidade de água é limitada e as temperaturas são baixas, prejudicando a qualidade de fibra. Nesse sentido, um período de sombreamento prolongado durante a fase reprodutiva da cultura oferece maiores riscos quando as semeaduras são tardias.

Em geral, cultivares de ciclo precoce são recomendadas para semeaduras mais tardias; isso porque, em teoria, a frutificação nessas cultivares tende a ser finalizada mais rapidamente, com maior proporção de capulhos retidos em partes inferiores da planta. Conseqüentemente, há menos riscos de perdas quando

chegarem as épocas mais secas e frias, além de menos capulhos formados nessas condições, evitando redução na qualidade da fibra, particularmente maturidade e índice micronaire. No entanto, essas cultivares são menos rústicas, ou seja, possuem menor capacidade de recuperação da produção perdida. As cultivares de ciclo tardio, por outro lado, retêm uma maior parte da produção em posições mais tardias e apresentam maior capacidade de recuperação da produção perdida por abortos. Resultados recentes obtidos em semeadura tardia indicam, porém, que, após sombreamento durante o florescimento, cultivares tardias podem ser menos afetadas que as precoces quanto ao índice micronaire (Figura 16). No entanto, há poucos resultados de estudos avaliando diferenças de produtividade e qualidade de fibra entre cultivares de ciclo precoce, médio e tardio submetidas à restrição de luz no Brasil. Nesse sentido, novos testes de tolerância de genótipos ao sombreamento, principalmente em semeaduras tardias, seriam úteis visando-se um posicionamento mais específico das cultivares diante dos riscos da restrição luminosa.

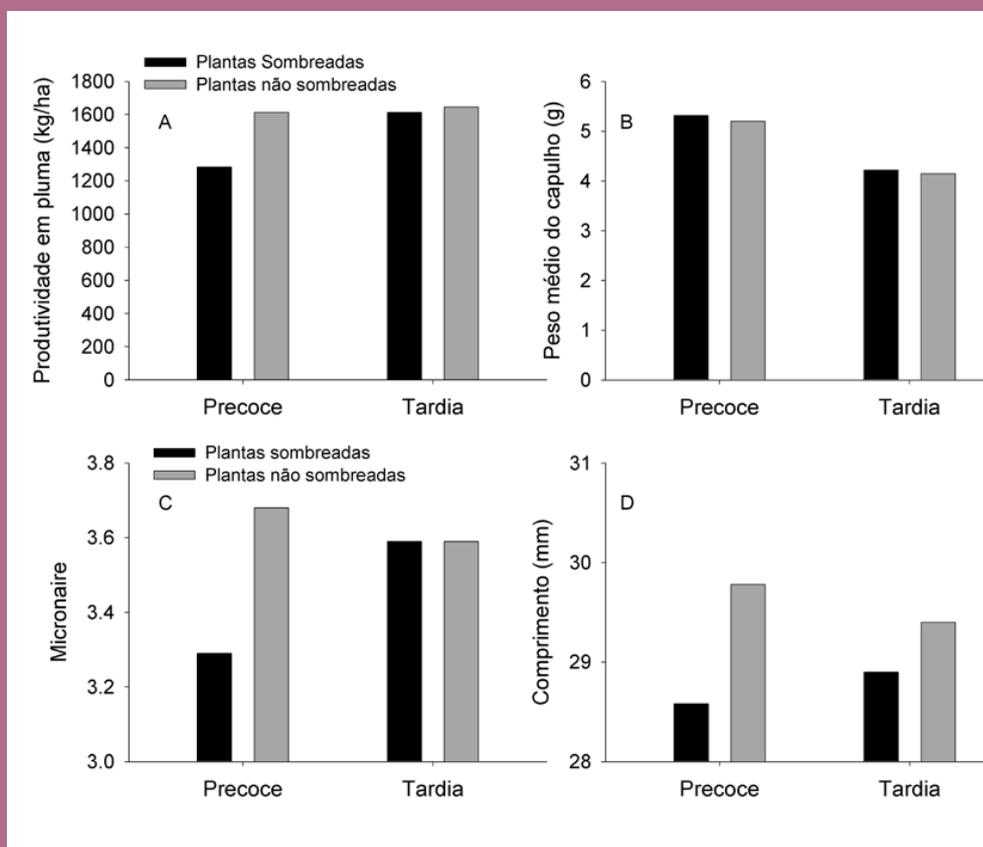


Figura 16. Resultados de produtividade em pluma (A), peso médio de capulho (B), índice micronaire (C) e comprimento da fibra (D) em duas cultivares de algodão semeadas no fim de janeiro de 2014, sendo uma de ciclo precoce e outra de ciclo tardio em Primavera do Leste/MT. As plantas foram submetidas ou não ao sombreamento (50%) com tela de cor preta por quinze dias durante o florescimento. Nota-se o menor efeito do sombreamento sobre produtividade, micronaire e comprimento na cultivar tardia. (Fonte: adaptado de Echer, 2017)

Evitando perdas de qualidade de fibra pela restrição de luz

As perdas de qualidade de fibra pela restrição de luz são difíceis de serem previstas, pois as variações das condições meteorológicas de ano a ano — e mesmo dentro da safra — são muito grandes. O planejamento adequado para cada ambiente edafoclimático, incluindo épocas de semeadura, escolha das cultivares e manejo do solo, é a melhor prevenção. É importante ter especial atenção com semeaduras tardias, pois as perdas decorrentes de sombreamento podem não ser recuperáveis e os prejuízos na qualidade, grandes. O monitoramento das condições meteorológicas e da previsão do tempo deve ser constante; o sombreamento entre folhas vizinhas é controlado inicialmente evitando-se espaçamentos muito reduzidos nas primeiras épocas de semeadura (novembro/dezembro) e número muito alto de plantas por metro (acima de doze). É importante atentar-se para que não sejam adicionadas doses excessivas de adubo nitrogenado no solo, pois levam a um intenso crescimento vegetativo, aumentando o tamanho e o número de folhas, e causando sombreamento excessivo de folhas superiores sobre as inferiores do dossel. Deve-se também buscar o manejo correto de regulador de crescimento durante o ciclo; se as aplicações forem insuficientes, o desenvolvimento intenso das folhas causará autossombreamento. Índice de área foliar muito alto (acima de 4) pode indicar manejo insuficiente de regulador de crescimento; por outro lado, doses excessivas podem reduzir drástica e prolongadamente o crescimento das plantas. Se a retomada desse crescimento ocorrer em épocas nubladas, poderá haver um aumento na taxa de abscisão de frutos, assim como má-formação da fibra.

2.6 Nutrição mineral e qualidade da fibra

Há muito se sabe que a nutrição mineral afeta a qualidade do algodão produzido, com estudos realizados no Brasil desde a década de 1960 (Fuzato *et al.*, 1965), tendo sido demonstrado, já naquela época, que deficiências de fósforo e potássio prejudicam a qualidade da fibra (Sabino, 1975). De fato, qualquer deficiência nutricional, por diminuir a fotossíntese, a assimilação ou o transporte de carboidratos, pode afetar negativamente a qualidade da fibra se ocorrer após o florescimento. Entretanto, tem-se observado, para a maioria dos nutrientes, que a produtividade é mais prejudicada que a qualidade da fibra; por isso as deficiências nutricionais, em geral, não têm sido um grande problema na redução do comprimento e da maturidade das fibras. Além disso, o fato da deficiência poder causar problemas de qualidade não quer dizer que a aplicação de potássio ou nitrogênio vá, necessariamente, melhorar a qualidade da fibra (Constable e Bange, 2007); muito pelo contrário, como será discutido, o excesso de nitrogênio e de fósforo, ou até de potássio, pode resultar em fibras de baixa qualidade.

Nitrogênio

Embora haja resultados a indicar que a dose ótima de nitrogênio para a máxima produção seria menor que aquela ótima para melhores características de fibra, com decréscimo na produção, é mais comum o excesso de N resultar em menor qualidade, por afetar o índice de maturidade da planta (Madani e Oveysy, 2015), ou seja, a planta fica mais tardia e os frutos amadurecem em condições climáticas fora das ideais. A deficiência de N pode prejudicar o comprimento e a resistência da fibra, assim como o micronaire (Read *et al.*, 2006). Bauer e Roof (2004) observaram pior qualidade da fibra, incluindo comprimento, uniformidade e resistência em parcelas sem adubação nitrogenada.

Foi demonstrado que tanto o excesso de N aplicado na cultura como o atraso em sua aplicação resultam em frutos maiores na parte superior da planta, com uma diminuição correspondente do tamanho dos frutos da parte de baixo (Boquet *et al.*, 1994). Assim, o excesso de N modifica o perfil de produção da planta, alongando o ciclo e aumentando a proporção de maçãs que maturam em época com menos água e temperatura menor. O resultado é a obtenção, além de menor porcentagem de fibra, fibras de pior qualidade, com menores micronaire, comprimento, uniformidade, resistência, alongamento e fiabilidade (Ferreira *et al.*, 2004). Com excesso de nitrogênio, a planta prioriza o crescimento vegetativo, pois as folhas são o destino preferencial do nitrogênio absorvido no final do ciclo do algodoeiro (Rosolem e Mikkelsen, 1989). Dessa forma, a planta em final do ciclo fica mais verde, com alta retenção foliar, mas com menor rendimento de benefício e qualidade de fibra. O atraso no ciclo da planta, com maturação mais tardia, leva ainda ao acúmulo de sacarose nos frutos, uma vez que a sacarose sintase, necessária para o acúmulo de celulose nas fibras, tem sua atividade muito reduzida em temperaturas abaixo de 22°C. O acúmulo de sacarose leva ao aparecimento do defeito “algodão doce” (Girma *et al.*, 2007). Em experimentos conduzidos em Mato Grosso e Bahia, foi observado que a resistência da fibra foi menor com altas doses de N (Kappes *et al.*, 2016), em algodão de segunda safra, com espaçamento adensado. Nos Estados Unidos demonstrou-se que níveis moderados de deficiência de N não têm efeito sobre a qualidade da fibra de algodão (Tewolde e Fernandez, 2003).

Assim, para o nitrogênio, deve-se atentar, principalmente, para a dose que proporciona a maior produtividade; depois, executar a aplicação da forma recomendada, no máximo até a primeira semana de florescimento. Com a dose certa aplicada corretamente, atinge-se a maior produtividade e a melhor qualidade.

Fósforo

A literatura mais antiga mostra aumentos no comprimento da fibra causados por altas doses de fósforo (Hooten *et al.*, 1949), e ainda que a adubação fosfatada concorre para aumentar o comprimento das fibras, sem efeito sobre a uniformidade de comprimento, finura e resistência (Sabino, 1975). Esses resultados podem dar-se por conta de doses baixas de P que se utilizavam

antigamente, ou mesmo pelas diferenças entre cultivares antigas e modernas, embora nem sempre se obtivesse resposta do P em termos de qualidade da fibra (Silva *et al.*, 1970). O fato é que a literatura atual mostra que doses de P aplicadas ao algodoeiro não resultam em modificação na qualidade da fibra, exceto no rendimento de benefício (Tewolde e Fernandez, 2003; Saleem *et al.*, 2011).

Potássio

O potássio tem sido geralmente ligado à qualidade da fibra de algodão, entretanto, seu impacto nem sempre é visível e consistente na melhoria da qualidade da fibra (Bauer *et al.*, 1998). Tem sido demonstrado, entretanto, que a aplicação de K pode melhorar a alongação e a grossura da parede secundária da fibra, assim como a resistência (Cassman *et al.*, 1990; Temiz *et al.*, 2009; Waraich *et al.*, 2011). O elemento tem ainda grande efeito na maturidade da fibra e no micronaire, com menor efeito no comprimento e na resistência e quase não efeito na uniformidade (Pettigrew, 2003; Zhao *et al.*, 2013). No Brasil, tem sido observado que o potássio favorece a uniformidade de comprimento e a finura das fibras (Silva *et al.*, 1970), mas Francisco e Hoogerheide (2013), em local com resposta ao K em Mato Grosso, não observaram efeito do elemento no micronaire.

Como o K está associado ao transporte de açúcares, é possível que sua deficiência afete a deposição de microfibrilas de celulose na parede secundária das fibras, influenciando a resistência, a finura e o micronaire (Kappes *et al.*, 2016). Chen *et al.* (2016) reportaram que a absorção de K está diretamente relacionada ao alongamento e à melhor qualidade da fibra nas partes superior e distal da planta.

A maior parte dos carboidratos utilizados na síntese de celulose nas fibras vem das folhas do respectivo nó da haste principal. Diversos estudos confirmam que a deficiência de K afeta a capacidade fotossintética por inibir não só a síntese, como o transporte de carboidratos. Dessa forma, a deficiência de K afeta as propriedades da fibra por induzir dificuldades na aquisição de matéria-prima para sua formação (Yang *et al.*, 2016). A deficiência de K acelera significativamente a acumulação de celulose na fibra, bem como o processo de desidratação, o que sugere que a baixa aquisição de carboidratos induzida pela deficiência pode causar o desenvolvimento desordenado da fibra, por estimular a expressão de proteínas

funcionais como a CDKA. Como resultado, a resistência e o peso da fibra são reduzidos (Yang *et al.*, 2016).

As concentrações dos hormônios ácido indolacético, giberelina (GA_3) e zeatina correlacionam-se positivamente com comprimento, uniformidade, resistência e índice de maturidade da fibra, enquanto que a concentração de ácido abscísico correlaciona-se negativamente com os mesmos indicadores de qualidade (Chen *et al.*, 2017b). Assim, a aplicação de doses adequadas de K resulta em ótima regulação desses hormônios endógenos na fibra, melhorando a qualidade do algodão produzido.

Em algumas situações ocorre deficiência tardia de potássio, durante o período de maior enchimento das maçãs. Essa síndrome tem sido atribuída ao fato de as variedades modernas serem mais precoces, mais produtivas e terem florescimento mais concentrado, além de mostrarem menor capacidade de “estocar potássio” durante o crescimento vegetativo (Oosterhuis, 1997). Além do que há um declínio significativo na absorção de potássio pelo algodoeiro a partir de 100-120 dias após a emergência. Assim, a aplicação de potássio, principalmente na forma de nitrato de potássio, poderia aumentar o teor de K nas folhas, melhorando a translocação para os frutos e aumentando a produtividade e a qualidade da fibra. Entretanto, para as condições brasileiras não se observa resposta significativa à aplicação de KNO_3 via foliar ao algodoeiro (Rosolem e Wtacker, 2007); tampouco foi observado aumento do teor de K nos frutos com a aplicação de nitrato de potássio. A falta de resposta explica-se porque, embora o K seja móvel na planta, sendo translocado para os frutos, ele se acumula nas paredes das maçãs e não é translocado em grande quantidade para as sementes ou para as fibras, de modo que o algodoeiro, se bem nutrido em K durante o ciclo, pode suportar uma deficiência de K no final do ciclo, sem perda de produtividade ou qualidade (Rosolem e Mikkelsen, 1991).

Macronutrientes secundários

Existem poucas observações sobre o efeito de Ca e Mg na qualidade da fibra de algodão. Há tempos foi observado que a calagem, na ausência de adubação potássica, levou à produção de fibras de pior qualidade (Sabino, 1975). Entretanto, esse parece mais um efeito de deficiência de K do que propriamente um efeito de Ca ou Mg. Nos poucos trabalhos em que foi estudado o efeito do enxofre sobre a qualidade da fibra de algodão, foram encontrados resultados positivos no micronaire e na uniformidade de comprimento (Gormus, 2014), resultados negativos na uniformidade de comprimento (Gormus e El Sabagh, 2016) e ainda sem qualquer efeito nos indicadores de qualidade (Sardeiro *et al.*, 2015).

Micronutrientes

Dentre os micronutrientes, no Brasil tem sido comum a resposta a boro, de modo que sua aplicação tem sido generalizada. Com relação ao efeito de B na qualidade da fibra, embora se tenha observado efeito positivo no comprimento e na finura (Rashidi e Seilsepour, 2011), a maior parte dos trabalhos, mesmo quando há resposta significativa em termos de produtividade, não tem relatado efeitos na qualidade da fibra (Gormus, 2005; Rashid e Seilsepour, 2011). No Brasil foi observado que a adubação boratada, apesar de apresentar uma fraca relação positiva com a maturidade da fibra, aumentou o grau de amarelo e prejudicou o índice de fiabilidade (Albuquerque *et al.*, 2013).

Não foram encontradas referências quanto ao efeito dos outros micronutrientes na qualidade da fibra de algodão.

Silício

Há na literatura indicações de que o silício pode favorecer a penetração da luz no dossel da planta por manter as folhas mais eretas em cereais, promovendo assim a fotossíntese; pode ainda incrementar a atividade radicular, promovendo a absorção de água e

nutrientes, principalmente o nitrogênio, o fósforo e o potássio, neutraliza o alumínio tóxico do solo, bem como diminui a toxidez causada por manganês e outros metais pesados. Isso tudo pode ocorrer, mas certamente depende da espécie em questão. Normalmente, os maiores benefícios do silício têm sido observados em gramíneas; mesmo assim, tem-se aventado o uso de Si em lavouras algodoeiras.

Em algodoeiro, embora se tenha encontrado um efeito positivo do silício na fotossíntese (Ferreira, 2008), a aplicação do elemento alçando-o a níveis altos resultou em tendência de diminuição do número de maçãs (Nóbrega *et al.*, 2007). Em outro trabalho concluiu-se que, de uma forma geral, as doses de silício aplicadas no solo para a cultura do algodão não devem ser elevadas, pois podem trazer perdas de germinação e crescimento em altura de forma excessiva (Cunha *et al.*, 2005), o que pode prejudicar a qualidade da fibra pela diminuição da fotossíntese. Com relação à qualidade da fibra, não se observou efeito positivo quanto à resistência e ao alongamento à ruptura (Madeiros *et al.*, 2005).

Em princípio, qualquer fator que afete a fotossíntese do algodoeiro pode afetar a qualidade da fibra produzida; entretanto, a literatura toda indica que, em geral, antes de ser afetada a qualidade da fibra, há modificação na produtividade. Mesmo que alguns nutrientes estejam em deficiência leve, pode não haver problemas de qualidade do algodão produzido, com exceção do potássio, mais importante nessa situação. Por outro lado, têm sido relatados problemas de piora na qualidade da fibra, principalmente pelo excesso ou pela aplicação errônea do nitrogênio, do fósforo e, ainda, do boro.

Assim, a dose de nutriente necessária para uma boa produtividade proporcionará também boa qualidade de fibra.

3. Manejo da lavoura visando a melhoria da qualidade da fibra

3.1 Cultivares

As cultivares são um dos principais fatores que governam a qualidade de fibra, juntamente com o ambiente. Atualmente (safra 2017/2018), mais de trinta cultivares de algodão estão registradas no Serviço Nacional de Proteção de Cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Conforme apresentado anteriormente em relação aos fatores abióticos (água, luz, nutrientes e temperatura), há grande probabilidade de o ambiente exercer domínio sobre as características genéticas

de cada cultivar, o que pode representar mudança nos padrões definidos de cada material pelo obtentor, dentro de uma margem aceitável. Isso ocorre porque, para que determinada característica tecnológica da fibra seja expressa, o ambiente precisa ser adequado (bom status hídrico, boa luminosidade, nutrição e temperatura). Assim, é natural que uma mesma cultivar não apresente o mesmo comportamento em ambientes totalmente distintos (Rondonópolis vs. Sapezal, por exemplo). Uma discussão mais aprofundada sobre o tema pode ser acessada no link que se segue: [http://www.imamt.com.br/system/anexos/arquivos/358/original/circular_tecnica_edicao28_bx_\(1\).pdf?1490875492](http://www.imamt.com.br/system/anexos/arquivos/358/original/circular_tecnica_edicao28_bx_(1).pdf?1490875492).

3.2 População de plantas

Em relação à qualidade da fibra, Silva *et al.* (2011) não observaram mudança nos parâmetros qualitativos do algodão pela modificação do espaçamento de cultivo ou da densidade de plantas. Estudos conduzidos em outros países também reportaram ausência ou pouco efeito da densidade de plantas sobre a qualidade da fibra (Zhang *et al.*, 2016; Heitholt e Sassenrath-Cole, 2010).

Por outro lado, em regiões com janela de cultivo curta (140-150 dias), o adensamento promoveu um pequeno aumento no comprimento e na resistência, mas o maior ganho foi no micronaire e na finura (Bednarz *et al.*, 2005). Echer e Rosolem (2015) observaram pouco efeito da população de plantas (espaçamento de cultivo) sobre a qualidade de fibra, e dos três locais estudados (Primavera do Leste/MT, Chapadão do Céu/GO e Paranapanema/SP), apenas em Paranapanema (baixas temperaturas no outono/inverno - Cfa - Koppen) houve piora da qualidade intrínseca da fibra com o adensamento, resultando em redução do comprimento da fibra e aumento de fibras curtas.

3.3 Épocas de semeadura

As épocas de semeadura podem afetar significativamente as propriedades intrínsecas da fibra, uma vez que as condições ambientais são modificadas, conforme se observa na *Figura 17*. Com o avançar dos meses, há uma redução bastante significativa na disponibilidade hídrica, na radiação e na redução das temperaturas mínimas, sobretudo no mês de junho. Quase que a totalidade do algodão de Mato Grosso é semeado em segunda safra, após a colheita da soja; do ponto de vista econômico, esse sistema é o que mais se tem mostrado eficiente, mesmo sendo cultivado sob risco climático.

Figura 17. Variáveis climáticas (chuva, radiação e temperaturas máxima e mínima) em municípios de Mato Grosso (médias de dez anos)

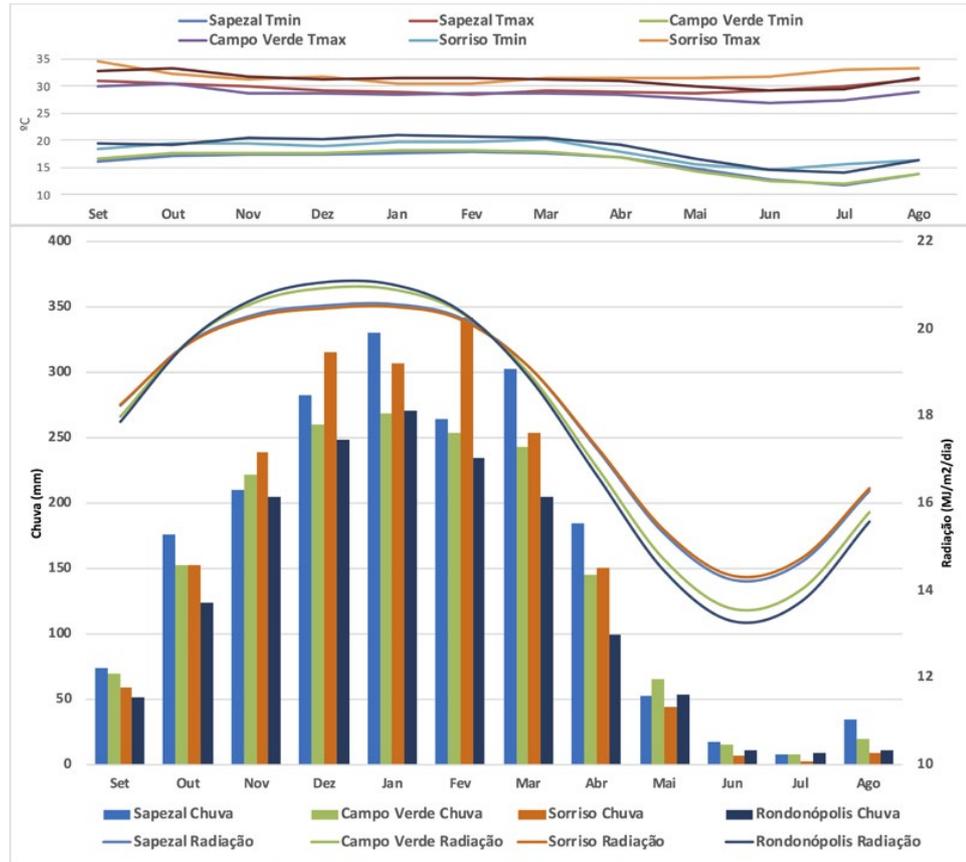
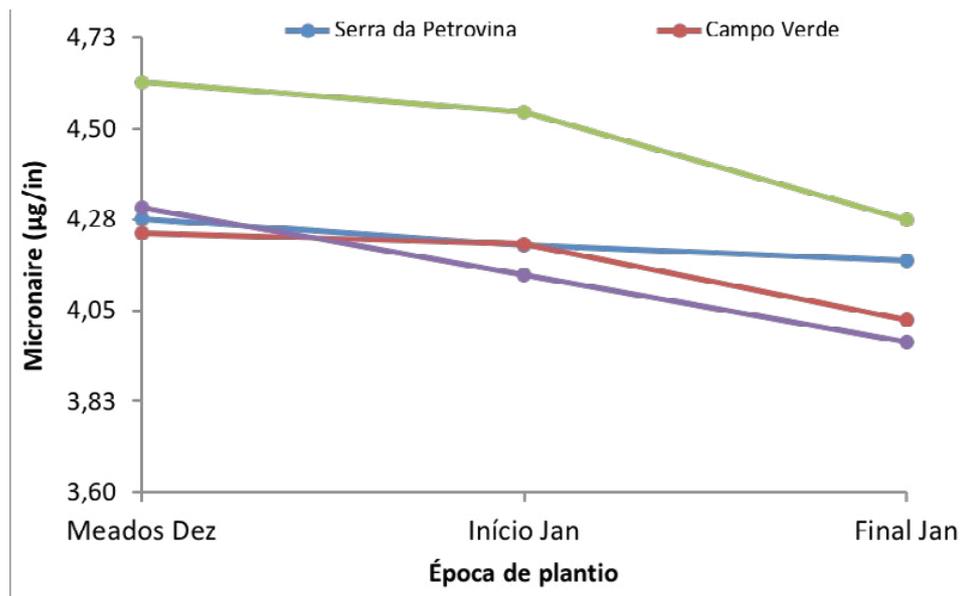


Figura 18. Influência da época de plantio sobre o índice micronaire do algodão em diferentes regiões de Mato Grosso na safra 2012/2013. Média de dezenove genótipos (Fonte: adaptado de Snider e Kawakami, 2014)



Conforme a semeadura é atrasada, há uma tendência de redução no índice micronaire, sobretudo na região de Sorriso; a mesma tendência, mas em menor magnitude, ocorre para Campo Verde e Campo Novo dos Parecis. Já o ambiente da Serra da Petrovina mostra-se como aquele com menor variação no micronaire em função das épocas de plantio (Figura 18).

3.4 Reguladores de crescimento

O algodoeiro é uma planta perene e, portanto, crescerá enquanto houver condições favoráveis para tal. Nas regiões algodoeiras do Brasil, isso quer dizer que, enquanto o solo tiver água e a temperatura não estiver muito baixa, o algodoeiro vai crescer e tentar produzir. Além disso, durante o verão chuvoso, com temperaturas adequadas e boa fertilidade do solo, o algodoeiro é muito vigoroso, normalmente apresentando crescimento excessivo. Assim, aparecem dois problemas que, potencialmente, podem prejudicar a qualidade da fibra: 1) crescimento excessivo, com sombreamento, diminuindo a fotossíntese e a deposição de celulose na fibra; e 2) alongamento do ciclo, principalmente em semeaduras tardias, de modo que muitos frutos formam-se em situação de baixa temperatura e baixa disponibilidade de água. Assim, o uso de reguladores de crescimento que limitem o desenvolvimento vegetativo — e, se possível, encurtem o ciclo produtivo — pode ser importante para a obtenção de algodão com fibra de boa qualidade.

Então, dentro dessas condições propícias para grande crescimento, o uso de limitadores de crescimento, como o cloreto de cloromequat e o cloreto de mepiquat, tem sido considerado importante no controle da altura e da estrutura produtiva da planta (Oosterhuis e Egilla, 1996). A

aplicação desses reguladores resulta em plantas mais baixas, mais compactas, com folhas melhores e mais precoces (Kerby, 1985). Assim, seria possível um efeito dos reguladores, embora indireto, proporcionando melhores condições ao desenvolvimento da fibra de qualidade.

Foi observado que reguladores como o cloreto de mepiquat aumentam a produtividade de algodão, sem efeito na qualidade da fibra (Gencsoylu, 2009). Tanto em situação em que a produtividade foi aumentada como quando não houve efeito na produtividade, o comprimento, a finura, a resistência e a uniformidade da fibra não foram afetados pelo regulador (Carvalho *et al.*, 1994; Çopur *et al.*, 2010). Em um dos trabalhos conduzidos no Brasil, a aplicação de cloreto de cloromequat resultou em melhor tenacidade e alongamento da fibra em lavoura adensada (Kondo *et al.*, 2015), entretanto, esse deve ter sido um efeito indireto.

3.5. Manejo de desfolhantes e maturadores

Processos fisiológicos envolvendo a senescência no algodoeiro, como a abscisão foliar e a abertura de frutos, ocorrem naturalmente, mas a possibilidade de controlá-los com produtos químicos é muito vantajosa, tendo-se em vista o planejamento da colheita para evitar perdas de produtividade e qualidade de fibra e aumento de custos (Cothren *et al.*, 2001). Os objetivos das aplicações desses produtos podem ser resumidos em três principais: (1) remover folhas maduras e jovens (2) promover a abertura de frutos; e (3) impedir o rebrotamento e a retomada de crescimento da planta.

Há no Brasil um número razoável de produtos comercializados visando-se à preparação da colheita (Tabela 3), categorizados basicamente em dois grupos, segundo seu modo de ação: de ação

Tabela 3 - Produtos registrados comercializados como desfolhantes e promotores de abertura de frutos para a cultura do algodão no Brasil (jan. 2018)

| Nome comercial | Ingrediente ativo | Classificação |
|------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Aurora</i> | <i>Carfentrazona-etílica</i> | <i>Desfolhante</i> |
| <i>QuickSilver 400</i> | <i>Carfentrazona-etílica</i> | <i>Desfolhante</i> |
| <i>Kabuki</i> | <i>Piraflufem-etílico</i> | <i>Desfolhante</i> |
| <i>AvGuron Extra</i> | <i>Tidiazurom + Diurom</i> | <i>Desfolhante</i> |
| <i>Dropp Ultra</i> | <i>Tidiazurom + Diurom</i> | <i>Desfolhante</i> |
| <i>CottonQuik</i> | <i>Etefom</i> | <i>Promotor de abertura de frutos</i> |
| <i>Prep</i> | <i>Etefom</i> | <i>Promotor de abertura de frutos</i> |
| <i>Finish</i> | <i>Etefom + Ciclanilida</i> | <i>Promotor de abertura de frutos</i> |

herbicida e de ação hormonal. Segundo a finalidade principal, eles podem ser divididos em dois grupos principais: desfolhantes (ação herbicida ou hormonal) e promotores de abertura de frutos (ação hormonal).

Desfolhantes de ação herbicida provocam injúrias nas folhas lentamente, desidratando-as, fazendo com que produzam etileno, levando à inibição de auxina, indução de abscisão e, então, queda foliar. Dentre os desfolhantes herbicidas atualmente registrados para comercialização no Brasil estão a carfentrazona-etílica e o piraflofem etílico. O movimento desses ingredientes ativos na folha é muito limitado; doses excessivas de desfolhantes de ação herbicida podem causar morte rápida da folha, antes que o etileno seja produzido para formação da camada de abscisão. Assim, em vez de uma desfolha, com queda das folhas, o resultado é uma dessecação (*Figura 19*), em que as folhas secam e continuam ligadas à planta.

Produtos hormonais utilizados para desfolha e abertura de maçãs aumentam a produção de etileno, levando ao aumento da atividade de enzimas de degradação da parede celular na zona de abscisão. Após a aplicação desses produtos, a zona de abscisão é formada mais rapidamente e promove a queda da folha e a abertura dos frutos. O tidiazurom (desfolhante) e o etefom (promotor de abertura de frutos) são exemplos de produtos hormonais; o primeiro é uma fenilureia pertencente ao grupo das citocininas. Uma vez que esse desfolhante é hormonal e não causa injúrias como os de ação herbicida, a possibilidade de gerar um efeito dessecante, embora ocorra, é mais limitada (*Figura 19*).

Os promotores de abertura de frutos (maturadores) afetam processos naturais da planta associados com a abertura de maçãs, mas não aumentam a taxa de maturação do fruto ou da fibra. O ingrediente ativo é o etefom, que, quando aplicado, é rapida-

mente convertido em etileno. Sobre os frutos, acelera a separação entre os lóculos, resultando em sua abertura mais rápida. Para que o efeito sobre a abertura ocorra, os frutos precisam ser atingidos pela aplicação.

Definindo o momento da desfolha visando a preservação da qualidade da fibra

O momento da desfolha ou aplicação dos promotores de abertura dos frutos é fundamental para não prejudicar a qualidade da fibra; nesse sentido, há diversos métodos para definição da época correta:

a) Porcentual de frutos abertos (capulhos) - Procede-se à contagem do número total de frutos (maçãs + capulhos) que contribuirão para a colheita e, em seguida, calcula-se o porcentual de frutos que já abriram (capulhos). Se houver uma "lacuna" na frutificação-padrão por conta de abortos, alguns frutos poderão não ter completado a maturação; as recomendações variam, mas para a época de desfolha, entre 60% e 70% dos frutos devem estar abertos. Essa técnica não deve ser utilizada isoladamente, mas em conjunto com as demais descritas a seguir.

b) Técnica do corte da maçã - Consiste em realizar um corte do fruto para diagnosticar sua maturidade. Frutos maduros são relativamente difíceis de serem cortados e, após abertos, suas sementes apresentarão tegumento de coloração escura e, internamente, cotilédones completamente desenvolvidos e sem consistência gelatinosa. Sementes ainda não maduras terão um tegumento de coloração clara e consistência gelatinosa (*Figura 20*). A desfolha pode ser então iniciada quando o último fruto que se deseja colher estiver maduro.

c) Nós acima da maçã em abertura - Segundo esse critério, deve-se identificar o ramo frutífero que contém em sua primeira posição uma maçã em

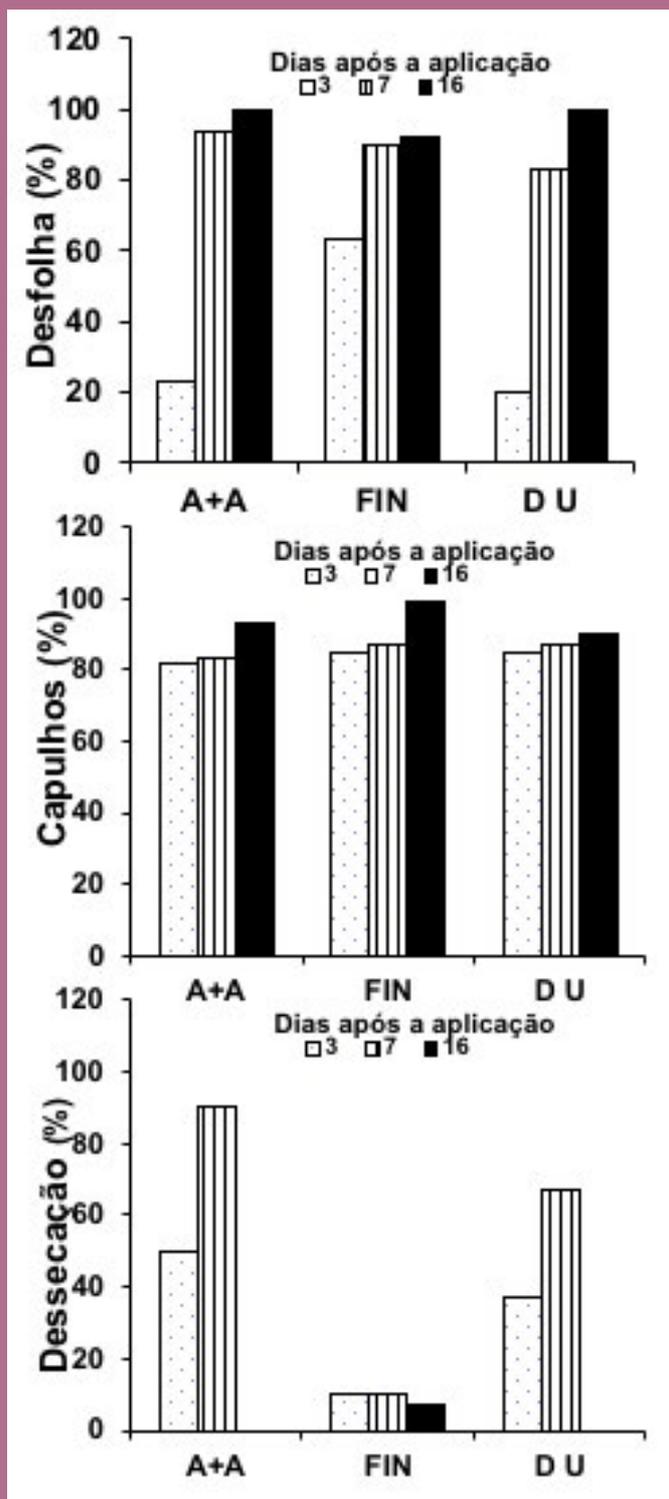
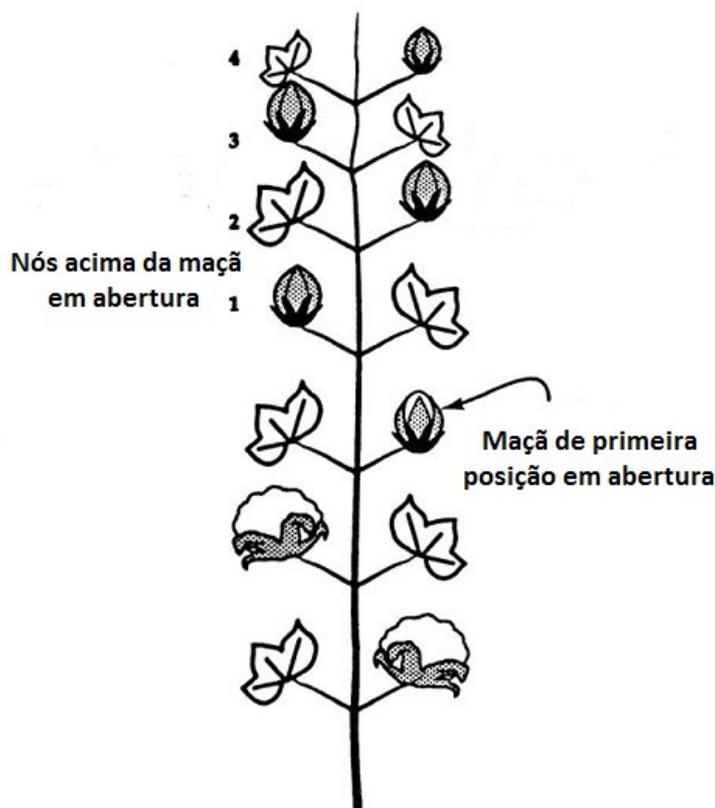


Figura 19. Porcentuais de desfolha, abertura de capulhos e dessecação de folhas não desfolhadas dos produtos Aurora (Carfentrazone etílica) + Assist (óleo mineral) (A+A; 0,1 +1,0 L/ha); Finish (FIN) (Etefom, 1,5 L/ha); e Dropp Ultra (DU) (Tidiazurom + Diurom, 0,6 L/ha). Rondonópolis/MT (Fonte: adaptado de Siqueri, 2001)



Figura 20. Desenvolvimento da maçã do algodoeiro. Conforme os cotilédones desenvolvem-se, tornam-se consistentes, e uma camada preta que se tornará o tegumento da semente começa formar-se ao redor da semente; conforme essa camada preta amadurece e a maçã seca, suturas são formadas entre os lóculos, resultando na sua abertura (fonte: Ritchie et al., 2004)

Figura 21.
 Determinação
 do número de
 nós acima da
 maçã em ab-
 ertura (Fonte:
 Guthrie et al.,
 1993)



abertura (com lóculos já visivelmente separados, mas não completamente), que será o ponto inicial, de valor igual a "0". Em seguida, contar os nós da haste principal acima desse ramo até que se chegue ao ramo onde esteja em sua respectiva primeira posição a última maçã que será realmente colhida. Se o número for igual ou menor que quatro, a desfolha pode ser feita (Figura 21). Estudos anteriores constataram que frequentemente há uma relação entre porcentual de frutos abertos e o número de nós acima da maçã em abertura, tendo-se que 60% de capulhos abertos equivaleriam a quatro nós acima da maçã em abertura (Bednarz *et al.*, 2002). O índice micronaire a passa a sofrer reduções mais acentuadas quando a desfolha é feita quando o número de nós acima da maçã em abertura é maior que quatro (Figura 22). Na Figura 23 é possível observar esta relação, não somente quanto à qualidade de fibra, mas também quanto à receita. Em áreas com porcentuais significativos de plantas em maturação tardia

ou com frutos tardios em segunda ou demais posições de ramo, ou em ramos vegetativos, pode-se tomar uma decisão mais conservadora e esperar até que a última maçã de primeira posição que se pretende colher esteja a três nós acima da maçã em abertura.

Efeitos prejudiciais da aplicação precoce sobre a fibra

Quando aplicações de desfolhantes e/ou promotores de abertura de maçãs são feitas prematuramente, as fibras das maçãs mais novas poderão não ter completado o processo de maturação; se essas maçãs forem abertas, suas fibras estarão imaturas, o que pode prejudicar a produtividade e a qualidade da fibra. O efeito principal na fibra será sobre a última fase de seu desenvolvimento, quantificada pela maturidade e pelo índice micronaire, que pode ser reduzido. O peso do capulho pode ser diminuído e a produtividade negativamente afetada (Figura 22), levando à perda de receita (Figura 23). Tendo-se em vista que a etapa de alongação ocorre antes da

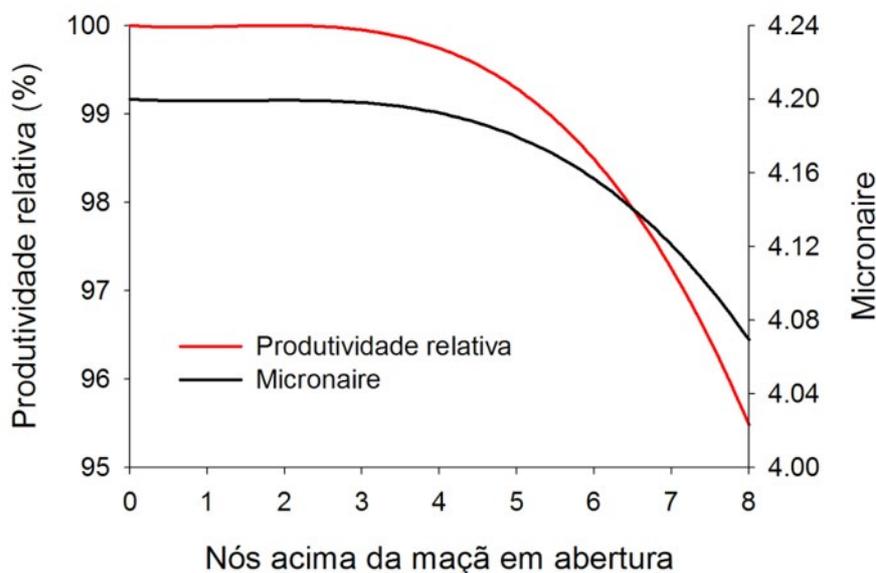


Figura 22. Influência da desfolha realizada em função do número de nós acima da maçã em abertura (NAMA) sobre a produtividade e o índice micronaire da fibra. A recomendação de que a desfolha seja feita quando NAMA for igual 4 se deve às perdas praticamente inexistentes em comparação ao momento de 100% de capulhos abertos (NAMA = 0) (Fonte: adaptado de Kerby e Hake, 1996)

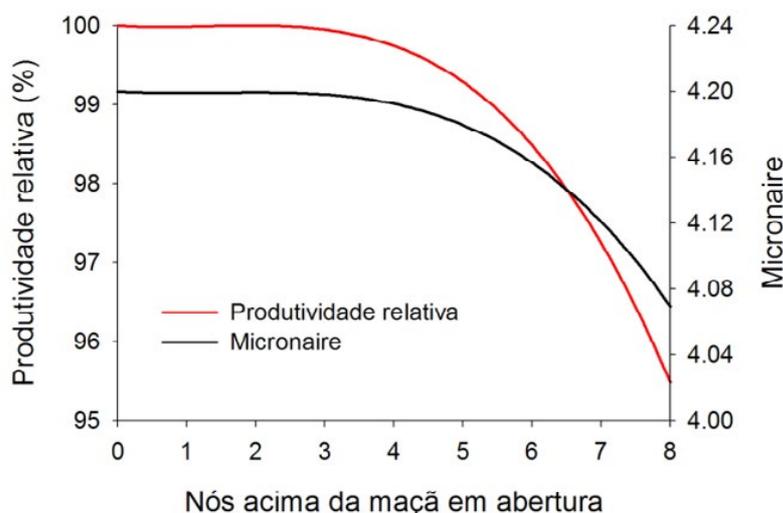


Figura 23. Receita bruta (US\$/ha) e índice micronaire em função da desfolha em épocas distintas, considerando critérios de nós da acima da maçã em abertura (NAMA) e porcentual de capulhos. Média de duas cultivares em dois anos (Fonte: adaptado de Siebert e Stewart, 2006)

fase de maturação, o comprimento de fibra é muito pouco afetado pela desfolha prematura (Hake *et al.*, 1989).

Mesmo após a aplicação de desfolhante, a fibra continuará seu crescimento por 5-7 dias; a semente, por sua vez, seguirá acumulando peso por alguns dias após a fibra atingir seu máximo desenvolvimento. Essa variação é a razão pela qual frutos imaturos usualmente podem apresentar um rendimento porcentual de fibra ligeiramente superior ao de frutos maduros (Hake *et al.*, 1989).

3.6 Problemas associados à demora da colheita sobre a qualidade da fibra

Quando os frutos maduros se abrem, a fibra branca é bem clara por conta da natureza altamente reflexiva da celulose e da ausência de degradação microbiana. Se a abertura ocorre em condições favoráveis para sua desidratação, os açúcares naturais sobre a fibra são eliminados, provavelmente sendo fixados na celulose ou degradados pela exposição à luz solar (Hake *et al.*, 1992). No entanto, a partir do dia da abertura, o peso do capulho pode reduzir-se, em média,

0,6% por dia (Chiavegato, 2006), ressecando a fibra gradativamente.

Adicionalmente, a exposição prolongada ao ambiente possibilita a reprodução microbiana sobre a fibra. Quando afetada por pouco tempo, fibra de algodão excessivamente úmida recupera a coloração branca natural e o brilho; no entanto, se a fibra é mantida úmida por um longo tempo, a fauna microbiana pode passar a alimentar-se sobre a superfície. O aspecto escuro dos esporos desses microrganismos produz na fibra uma coloração acinzentada, a qual se intensifica se há depósito adicional de açúcar por insetos sugadores. Se as condições permanecem chuvosas ou muito úmidas, a reprodução dos fungos sobre a fibra continua, e os capulhos ficam completamente escurecidos. A umidade elevada e as chuvas contínuas resultam em perda de reflectância (Hake *et al.*, 1992).

As perdas de qualidade da fibra exposta prolongadamente ao tempo no beneficiamento podem ser importantes. O algodão colhido muito tar-

diamente, por conta de chuvas, por exemplo, exige uma melhor limpeza de fibra para uma melhor avaliação de qualidade. Uma segunda limpeza, se necessária, pode remover uma quantidade importante do fardo e, além disto, promover rupturas nas fibras, aumentando a formação de *neps*.

O algodão mantido exposto prolongadamente também apresenta um aumento no índice de fibras curtas e de redução na uniformidade de comprimento no beneficiamento. Além disso, fungos e radiação solar ultravioleta podem reduzir a resistência da fibra; a absorção de radiação ultravioleta por alguns minerais presentes na fibra pode favorecer a quebra de moléculas de celulose, tornando-as mais fracas à rotura. A resistência é bastante dependente da uniformidade e do comprimento das moléculas de celulose.

Assim, o procedimento mais recomendado é preparar a colheita o mais rápido possível uma vez diagnosticada a maturidade das últimas maçãs, evitando-se que sejam desnecessariamente mantidas no campo. ●

LITERATURA CONSULTADA

- ABIDI, N.; HEQUET, E.; CABRALES, L. Changes in sugar composition and cellulose content during the secondary cell wall biogenesis in cotton fibers. **Cellulose**, v.17, p. 153-160, 2010.
- ALBUQUERQUE, J.H.; SILVA, S.S.; DANTAS NETO, J.; BELTRÃO, N.E.M. Avaliação de doses de zinco e boro na produção do algodoeiro herbáceo sob condições de sequeiro. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.28, p. 107-113, 2013.
- ALLEN, R.D.; ALEMAN, L. Abiotic stress and cotton fiber development. In: OOSTERHUIS, D.M. **Stress physiology in cotton**. Number Seven: The Cotton Foundation Reference Book Series. Cordova, Tennessee. p.149-160.
- 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, 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.
- BASRA, A.S.; MALIK, C.P. Development of cotton fiber. **International Review Of Cytology**, v.89, p. 65-113, 1984.
- BAUER, P.J.; ROOF, M.E. Nitrogen, aldicarb, and cover crop effects on cotton yield and fiber properties. **Agronomy Journal**, v.96, p. 369-376, 2004..
- BEDNARZ, C.W.; SHURLEY, W.D.; ANTHONY, W.S. Losses in yield, quality, and profitability of cotton from improper harvest timing. **Agronomy Journal**, v.94, p. 1004-1011, 2002.
- BEDNARZ, C.W.; SHURLEY, W.D.; ANTHONY, W.S.; NICHOLS, R.L. Yield, quality, and profitability of cotton produced at varying plant densities. **Agronomy Journal**, v.97, p. 235-240, 2005.
- BELTRÃO, N.E.M.; SOUZA, J.G.; SANTANA, J.C.F.; AZEVEDO, D.M.P.; LEÃO, A.B. Fisiologia da fibra do algodoeiro herbáceo. In: BELTRÃO, N.E.M.; AZEVEDO, D.M.P. **O agronegócio do algodão no brasil**. 2.Ed. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.2, p. 1121-1137.
- BOQUET, D.J.; MOSER, E.B.; BREITENBECK, G.A. Boll weight and within-plant yield distribution in field-grown cotton given different levels of nitrogen. **Agronomy Journal**, v.86, p. 20-26, 1994.
- BOYLSTON, E.K. Presence of silicon in developing cotton fibers. **Journal of Plant Nutrition**, v.11, p. 1739-1747, 1988.
- BRECKE, B.J.; BANKS, J.C.; COTHREN, J.T. Harvest-aid treatments: products and application timing. In: Supak, J.R.; Snipes, C.E. (Ed.). **Cotton harvest management: use and influence of harvest aids**. Memphis: The Cotton Foundation, 2001. p. 119-142.
- BRUSHWOOD, D.E.; PERKINS JR., H.H. Determining the metal content of cotton. **Textile Chemist And Colorist**, v.26, p. 32-35, 1994.
- CARVALHO, L.H.; CHIAVEGATO, E.J.; CIA, E.; KONDO, J.I.; SABINO, J.C.; PETTINELLI Jr, A.; BORTOLETTO, N.; GALLO, P.B. Fitorreguladores de crescimento e capação na cultura algodoeira. **Bragantia**, v.53, p. 247-254, 1994.
- CASSMAN, K.G.; KERBY, T.A.; ROBERTS, B.A.; BRYANT, D.C.; HIGASHI, S.L. Potassium effects on lint yield and fiber quality of acala Cotton. **Crop Science**, v.30, p. 672-677, 1990.
- CHEN, B.; CHAI, Z.; SHENG, J.; ZHANG, W.; JIANG, P. Effects of potassium fertilizer on the physiological mechanisms of cotton fiber quality. **Pakistan Journal of Botany**, v.49, p. 935-943, 2017b.

- CHEN, B.L.; YANG, H.K.; MA, Y.N.; LIU, J.R.; LV, F.J.; CHEN, J.; MENG, Y.L.; WANG, Y.H.; ZHOU, Z.G. Effect of shading on yield, fiber quality and physiological characteristics of cotton subtending leaves on different fruiting positions. **Photosynthetic**, v.55, p. 240-250, 2017a.
- CHEN, J.; LV, F.; LIU, J.; MA, Y.; WANG, Y.; CHEN, B.; MENG, Y.; ZHOU, Z. Effects of different planting dates and low light on cotton fibre length formation. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.36, p. 2581-2595, 2014.
- CHEN, Y.; LI, Y.; HU, D.; ZHANG, X.; WEN, Y.; CHEN, D. Spatial distribution of potassium uptake across the cotton plant affects fiber length. **Field Crops Research**, v.192, p. 126-133, 2016.
- CHIAVEGATO, E.J. Critérios seguros devem nortear a definição do fim de ciclo. In: Chiavegato, E.J.; Ferreira Filho, J.B.S. (Coord.). **Visão Agrícola: Algodão**. Piracicaba: Fealq, 2006. n.6, p.92-96.
- CONSTABLE, G.A.; BANGE, M.P. Producing and preserving fiber quality: from the seed to the bale. In: World Cotton Research Conference, 4, **Abstracts**. Lubbock, Texas, 2007.
- ÇOPUR, O.; DEMIREL, U.; KARAKUŞ, M. Effects of several plant growth regulators on the yield and fiber quality of cotton (*Gossypium Hirsutum* L.). **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v.38, n.3, p. 104-110, 2010.
- CORREA, F.A. A fibra e os subprodutos. In: Instituto Brasileiro De Potassa. **Cultura e adubação do algodoeiro**. São Paulo: 1965, p. 509-540.
- COTHREN, J.T.; GWATHMEY, C.O.; AMES, R.B. Physiology of cotton defoliation and desiccation. In: SUPAK, J.R.; SNIPE, C.E. (Ed.). **Cotton harvest management: use and influence of harvest aids**. Memphis: The Cotton Foundation, 2001. p. 21-50.
- CRANMER, L.M. **A Better understanding of the number of fibers per seed in cotton**. 61 p. Thesis (MSc. in Crop Science) – Texas Tech University, 2004.
- CUNHA, P.F.F.C.; MADEIROS, L.B.; ALVES, W.W.A., FERNANDES, P.D.; BELTRÃO, N.E.M.; LACERDA, M.D.; FEITOSA, J.V. Cultivo de algodão herbáceo com adubação de escória siderúrgica: avaliação de crescimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 5, **Resumos**, 2005.
- DAVIS, R. F.; EARL, H. J.; TIMPER, P. Effect of simultaneous water deficit stress and *Meloidogyne Incognita* infection on cotton yield and fiber quality. **Journal of Nematology**, v.46, p.108-118, 2014.
- ECHER, F.R. Yield and fiber quality of cotton cultivars in response to shading. **Colloquium Agrariae**, v.13, p. 87-96, 2017.
- ECHER, F.; OOSTERHUIS, D.; LOKA, D.; ROSOLEM, C. High night temperatures during the floral bud stage increase the abscission of reproductive structures in cotton. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.200, p. 191-198, 2014.
- ECHER, F.R.; ROSOLEM, C.A. Cotton yield and fiber quality affected by row spacing and shading at different growth stages. **European Journal Of Agronomy**, v.65, p.18-26, 2015.

- ECHER, F.R.; ROSOLEM, C.A. Efeitos do estresse luminoso na fisiologia do algodoeiro. In: ECHER, F.R. (Ed.). **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. Cuiabá: Imamt, 2014. p. 31-41. (Boletim De P & D, N.1).
- FERREIRA, G.B.; SEVERINO, L.S.; PEDROSA, M.B.; ALENCAR, A.R.; VASCONCELOS, O.L.; FERREIRA, A.F.; ABREU Jr., J. S. **Resultados de pesquisa com a cultura do algodão no oeste e sudoeste da Bahia, safra 2003/2004**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 112p. (Documentos, 133).
- FERREIRA, S.M. **O efeito do silício no algodoeiro: aspectos bioquímicos, qualidade de fibra e produtividade**. 68p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- FRANCISCO, E.; HOOGERHEIDE, H.C. Manejo de nutrientes para o algodoeiro de alta produtividade. **Informações Agronômicas**, 141, 14-18, 2013.
- FUZATO, M.G.; SILVA, N.M.; CORRÊA, F.A. O efeito das fertilizações nas características do produto do algodoeiro. In: Reunião Anual Da S.B.P.C., 7, Belo Horizonte, Minas Gerais, 1965. **Resumos**, p.198-199.
- GENCSOYLU, I. Effect of plant growth regulators on agronomic characteristics, lint quality, pests, and predators in cotton. **Journal of Plant Growth Regulator**, v.28, p. 147-153, 2009.
- GIRMA, K.; TEAL, R.K.; FREEMAN, K.W.; BOMAN, R.K.; RAUN, W.R. Cotton lint yield and quality as affected by applications of N, P and K fertilizers. **Journal of Cotton Science**, v.11, p.12-19, 2007.
- GORMUS, O. Cotton yield response to sulfur as influenced by source and rate in the çukurova region, Turkey. **Özgül Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, v.9, 68-76, 2014.
- GORMUS, O. Interactive effect of nitrogen and boron on cotton yield and fiber quality. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.29, p.51-59, 2005.
- GORMUS, O.; el SABAGH, A. Effect of nitrogen and sulfur on the quality of the cotton fiber under Mediterranean conditions. **Journal Of Experimental Biology And Agricultural Sciences**, v.4, n.6, 662-669, 2016. DOI: 10.18006/2016.4(Issue6).662.669.
- GRAVES, D.A.; STEWART, J.M. Chronology of the differentiation of cotton (*Gossypium Hirsutum* L.) fiber cells. **Planta**, v.175, p. 254-258, 1988.
- GUTHRIE, D.; COTHREN, T.; SNIPES, C. The art and science of defoliation. **Cotton Physiology Today**, v.4, n.7, p.1-4, 1993.
- GWATHMEY, C.O.; HAYES, R.M. Harvest-aid interactions under different temperature regimes in field-grown cotton. **Journal Of Cotton Science**, v.1, p.1-9, 1997.
- HAIGLER, C.H.; RAO, N.R.; ROBERTS, E.M.; HUANG, L.Y.; UPCHURCH, D.; TROLINDER, N.L. Cultured ovules as models for cotton fiber development under low temperatures. **Plant Physiology**, v.95, p.88-96, 1991.
- HAKE, K.; BANKS, J.C.; BOURLAND, F.; SASSER, P.; TUGWELL, F.; WILLIFORD, R. Boll weathering. **Cotton Physiology Today**, v.3, n.10, p.1-4, 1992.
- HAKE, K.; BRAGG, K.; MAUNEY, J.; METZER, B. Causes of high and low micronaire. **Cotton Physiology Today**, v.1, n.12, p. 1-4, 1990.
- HAKE, K.; CATHEY, G.; SUTTLE, J.; BONNER, C.; BURCH, T.; CRAWFORD, J. Cotton defoliation. **Cotton Physiology Today**, v.1, n.11, p. 1-4, 1990.

HAKE, K.; KERBY, T.; MCCARTHY, W. Effect of cold weather on yield and quality. In: HAKE, K. (Ed.). **Cotton Physiology Today**. Memphis: National Cotton Council, 1989. 4p.

HEITHOLT, J.J.; SASSENATH-COLE, G.F. Inter-plant competition: growth responses to plant density and row spacing. **Physiology of Cotton**. 1. Ed. New York: Springer, 2010. p. 179-186.

HOOTEN, D.R., JORDON, H.V., PORTER, D., JENKINS, P.M., ADAMS, J.F. 1949. **Influence of fertilizers on growth rates, fruiting habits, and fiber characters of cotton**. Washington: Dept. Agriculture, 1949. 31p. (Technical. Bulletin, 979).

HSIEH, Y.L. Chemical structure and properties of cotton. In: GORDON, S.; HSIEH, Y.L. (Ed.). **Cotton: science and technology**. 1. Ed. Boca Raton: Crc Press, 2007. p. 3-34.

KAPPES, C.; ZANCANARO L.; FRANCISCO E.A.B. Nitrogen and potassium in narrow-row cotton. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, 2016. DOI: 40:E0150103.

KERBY, T.A. Cotton response to mepiquat chloride. **Agronomy Journal**, v.77, p.515-518, 1985.

KERBY, T.A.; HAKE, K. Monitoring cotton's growth. In: KERBY, T.A.; HAKE, K.; HAKE, S. (Ed.). **Cotton production manual**. Oakland: Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, 1996. p. 353. (Publication 3352).

KLOTH, R.H.; TURLEY, R.B. Physiology of seed and fiber development. In: STEWART, J. Mcd.; OOSTERHUIS, D.M.; HEITHOLT, J.J.; MAUNEY, J.R. **Physiology Of Cotton**. 1. Ed. New York: Springer, 2010. p. 111-122.

KONDO, J.I.; CARVALHO, L.H.; SILVA, N.M.; CHIAVEGATO, E.J.; CARVALHO, H. DA ROS. Qualidade da fibra em estudo de doses de cloreto de mepiquat aplicados em cultivares transgênicos de algodoeiro em semeadura adensada. Congresso Brasileiro De Algodão, 10, Foz Do Iguaçu, **Resumos**, 2015. CD-ROM.

KONDO, J.I.; SABINO, N.P. **Classificação Tecnológica do Algodão**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1989. v.2. 42p.

LOKA D.A.; OOSTERHUIS, D.M. Effect of high night temperatures on cotton respiration, ATP levels and carbohydrate content. **Environmental and Experimental Botany**, v.68, p. 258-263, 2010.

LOKA, D., OOSTERHUIS, D.M. Increased night temperatures during cotton's early reproductive stage affect leaf physiology and flower bud carbohydrate content decreasing flower bud retention. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 202, p. 518-529, 2016.

LOKHANDE S., REDDY K.R. Quantifying temperature effects on cotton reproductive efficiency and fiber quality. **Agronomy Journal**, v. 106, p. 1275-1282, 2014.

LIU, J.; MENG, Y.; CHEN, J.; LV, F.; MA, Y.; CHEN, B.; WANG, Y.; ZHOU, Z.; OOSTERHUIS, D.M. Effect of late planting and shading on cotton yield and fiber quality formation. **Field Crops Research**, v. 183, p. 1-13, 2015.

LV, F.; LIU, J.; MA, Y.; CHEN, J.; ABUDUREZIKEY, A.K.; WANG, Y.; CHEN, B.; MENG,

Y.; ZHOU, Z. Effect of shading on cotton yield and quality on different fruiting branches. **Crop Science**, v.53, p.2670-2678, 2013.

MADANI, A.; OVEYSI, M. **Fiber quality and yield response of cotton to nitrogen supply**. International Conference on Chemical, Food and Environment Engineering (Iccfee'15), Dubai (Uae), 2015.

MADEIROS, L.B.; ALVES, W.W.A.; FONSECA, R.G.; FEITOSA, J.V. Algodão branco e colorido submetido à adubação silicatada: qualidade da fibra. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 5, 2005. Salvador, **Resumos**, CD-ROM.

NAITHANI, S.C.; RAO, N.R.; SINGH, Y.D. Physiological and biochemical changes associated with cotton fibre development. I. Growth kinetics and auxin content. **Physiologia Plantarum**, v.54, p.225-229, 1982.

NÓBREGA, J.A.; MADEIROS, L.B.; GOUVEIA NETO, G.C.; NOBRE, R.G.; DANTAS NETO, J.; OLIVEIRA, J.D.C. Produção do algodoeiro adubado com escória siderúrgica. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.22, p. 51-53, 2007.

OOSTERHUIS, D.M. Potassium nutrition of cotton in the u.s.a. with particular reference to foliar fertilization. In: El-Fouly, M.M.; Oosterhuis, D.M.; Kosmidou-Dimitropoulou, K. **Nutrition and growth regulators in cotton**. Cairo: FAO, 1997. p. 101-124.

OOSTERHUIS, D.M., EGILLA, J.N. Photosynthesis and translocation of sugars in cotton plants subject to drought stress after mepiquat chloride application. In: DUGGER, P., RICHTER, D.A. (Eds.), Proc. Beltwide Cotton Conf. Nashville, TN, 1996. National Cotton Council Of America: Memphis, TN, **Abstracts**, p. 1234.

PETTIGREW, W.T. Relationships between insufficient potassium and crop maturity in cotton. **Agronomy Journal**, v.95, p. 1323-1329, 2003.

PETTIGREW, W.T.; HEITHOLT, J.J.; MEREDITH Jr., J.R. Early season floral bud removal and cotton growth, yield, and fiber quality. **Agronomy Journal**, v.84, p. 209-214, 1992.

RASHIDI, M.; SEILSEPOUR, M. Effect of different application rates of boron on yield and quality of cotton (*Gossypium hirsutum*). **Middle-East Journal of Scientific Research**, v.7, p. 758-762, 2011.

READ, J.J.; REDDYB, K.R.; JENKINS, J.N. Yield and fiber quality of upland cotton as influenced by nitrogen and potassium nutrition. **European Journal of Agronomy**, v.24, p. 282-290, 2006.

RITCHIE, G.L.; BEDNARZ, C.W.; JOST, P.H.; BROWN, S.M. **Cotton Growth and Development**. University Of Georgia Cooperative Extension, 2004. 16p. (Bulletin 1252).

ROSOLEM, C.A.; MIKKELSEN, D.S. Potassium absorption and partitioning in cotton as affected by periods of potassium deficiency. **Journal Of Plant Nutrition**, v.14, p. 1001-1016, 1991.

ROSOLEM, C.A.; WITACKER, J.P.T. Adubação foliar com nitrato de potássio em algodoeiro. **Bragantia**, v.66, p. 147-155, 2007.

SABINO, N.P. Efeitos da aplicação de calcário, fósforo e potássio, na qualidade da fibra do algodoeiro cultivado em Latossolo Roxo. **Bragantia**, v.34, p. 153-161, 1975.

SABINO, N.P.; GROSSI, J.M.M.; LAZZARINI, J.F.; GRIDI-PAPP. Desenvolvimento da fibra do algodoeiro. **Bragantia**, v.35, p. 55-60, 1976.

SALEEM, M.F., CHEEMA, M.A., BILAL, M. F.; ANJUM, S.A.; SHAHID, M.Q.; KHURSHID, I. 2011. Fiber quality of cotton cultivars under different phosphorus levels. **The Journal Of Animal & Plant Sciences**, v.21, p. 26-30, 2011.

SARDEIRO, L.S.; REIS, E.A.; REIS, T.C.; SILVA, A.N.; SANTANA, C.C.; AMARAL, T.C. 2015. Características físicas

da fibra de algodão submetida a diferentes doses e forma de aplicação de enxofre elementar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35, 2015, Natal-RN. **Anais eletrônicos...** Natal-RN: SBCS. Disponível em: < <http://eventosolos.org.br/bcbs2015/arearestrita/arquivos/1815.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

SCHUBERT, A.M.; BENEDICT, C.R.; BERLIN, J.D.; KOHEL, R.J. Cotton fiber development–kinetics of cell elongation and secondary wall thickening. **Crop Science**, v.13, p. 704–709, 1973.

SIEBERT, J.D.; STEWART, A.M. Correlation of defoliation timing methods to optimize cotton yield, quality and revenue. **Journal of Cotton Science**, v.10, p. 146-154, 2006.

SILVA, A.V.; CHIAVEGATO, E.J.; CARVALHO, L.H.; FURLANI JUNIOR, E.; KONDO, J.I.; SALVATIERRA, D.K.; TISSELLI, A.C.P.C. Configurações de semeadura sobre a produção e a qualidade da fibra do algodoeiro. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.4, p. 1709-1716, 2011.

SILVA, N.M.; FUZATO, M.G.; FERRAZ, C.A.M. Comportamento de variedades paulistas de algodoeiro em diferentes níveis de adubação N, P e K, em Latossolo Roxo. **Bragantia**, v.29, p. 221-235, 1970.

SIQUERI, F. V. **Desfolhantes no algodoeiro**. Disponível Em: <<Http://Antigo.Facual.Org.Br/Pesquisa/Arquivos/Desfolhantes.Prn.Pdf>>. Acesso Em 9 fev. 2018.

SNIDER, J., KAWAKAMI, E. Efeito da temperature no desenvolvimento do algodoeiro. In: ECHER, F.R (ed). **O algodoeiro e os estresse abióticos**. Cuiabá: IMAmt. 2014.

SNIPES, C.E.; BASKIN, C.B. Influence of early defoliation on cotton yield, seed quality, and fiber properties. **Field Crops Research**, v.37, p. 137-143, 1994.

STIFF, M.R.; HAIGLER, C.H. Recent advances in cotton fiber development. In: OOSTERHUIS, D.M.; COTHREN, J.T. (Ed.). **Flowering And Fruiting In Cotton**. 1. Ed. Cordova: The Cotton Foundation, 2012, p. 163-192. (Reference Book Series, n. 8).

STEWART, A.M.; EDMISTEN, K.L.; WELLS, R. Boll openers in cotton: effectiveness and environmental influences. **Field Crops Research**, v.67, p. 83-90, 2000.

TAN, J.; WANG, M.; TU, L.; NIE, Y.; LIN, Y.; ZHANG, X. The flavonoid pathway regulates the petal colors of cotton flower. **Plos One**, v.8, n.8, p. 1–9, 2013. DOI: 10.1371/Journal.Pone.0072364

TEMIZ, M.; KOCA, Y.K.; AYDIN, F.; KARAHAN, E. Effect of foliar potassium and micronutrient additions on yield and fiber quality of cotton (*Gossypium Hirsutum* L.). **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v.7, p. 118-122, 2009.

TEWOLDE, H.; FERNANDEZ, C. J. Fiber quality response of Pima cotton to nitrogen and phosphorus deficiency. **Journal Of Plant Nutrition**, v.26, p. 223-235, 2003.

WAKELYN, P.J.; BERTONIERE, N.R.; FRENCH, A.D.; THIBODEAUX, D.P.; TRIPPLET, B.A.; ROUSSELLE, M.A.; GOYNES JR, W.R.; EDWARDS, J.V.; HUNTER, L.; MCALISTER, D.D.; GAMBLE, G.R. **Cotton fiber chemistry and technology**. 1. Ed. Boca Raton: Crc Press, 2006. 176p.

WANG, X., DENG, Z., ZHANG, W., MENG, Z., CHANG, X., LV, M. Effect of Waterlogging Duration at Different Growth Stages on the Growth, Yield and Quality of Cotton. **PLoS One**. 12(1). 2017.

WARAICH, E.A.; AHMAD, R.; HUR, R.G.M.; EHSANULLAH; AHMAD, A.; MAHMOOD, N. 2011. Response of foliar application of KNO_3 on yield, yield components and lint quality of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v.6, p. 5457-5463, 2011.

WRONA, A.F.; BANKS, J.C.; HAKE, K.; LEGE, K.; PATTERSON, M.; ROBERTS, B.; SNIPES, C. E.; SUPAK, J. Achieving a clean finish. **Cotton Physiology Today**, v.7, n.6, p.25-32, 1996.

YANG, J., HU, W., ZHAO, W., MENG, Y., CHEN, B., WANG, Y., ZHOU, Z. Soil potassium deficiency reduces cotton fiber strength by accelerating and shortening fiber development. **Scientific Reports**, v.6, 28856, 2016. DOI: 10.1038/Srep28856.