

JUAN PIERO ANTONIO RAPHAEL

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DO ALGODÃO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA SOB RESTRIÇÃO LUMINOSA**

Botucatu

2019

JUAN PIERO ANTONIO RAPHAEL

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DO ALGODÃO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA SOB RESTRIÇÃO LUMINOSA**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Botucatu

2019

R217p Raphael, Juan Piero Antonio
Produtividade e qualidade do algodão em função da
adubação nitrogenada sob restrição luminosa / Juan Piero
Antonio Raphael. -- Botucatu, 2019
197 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Ciro Antonio Rosolem

1. Ecofisiologia vegetal. 2. Algodoeiro. 3. Plantas Efeito do
nitrogênio. 4. Plantas Efeito da sombra. 5. Cultivos agrícolas
Rendimento. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

**“PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DO ALGODÃO EM FUNÇÃO DA
ADUBAÇÃO NITROGENADA SOB RESTRIÇÃO LUMINOSA”**

AUTOR: JUAN PIERO ANTONIO RAPHAEL

ORIENTADOR: CIRO ANTONIO ROSOLEM

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA
(AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. CIRO ANTONIO ROSOLEM

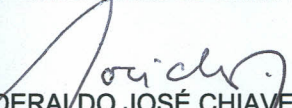
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

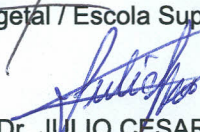
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. FÁBIO RAFAEL ECHER

Agronomia / Universidade do Oeste Paulista


Prof. Dr. EDERALDO JOSÉ CHIAVEGATO

Produção Vegetal / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)


Pesquisador Dr. JULIO CESAR BOGIANI

Grupo de Monitoramento Territorial Estratégico / Embrapa Territorial

Botucatu, 31 de maio de 2019.

*Aos meus amados pais, Marisa e Waldomiro, à
minha irmã Vivian e às minhas queridas avós Maria e
Hilária e avôs Pedro (in memoriam) e Waldomiro (in
memoriam), pelo amor e incentivo, agora e sempre,*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

Aos meus pais, Waldomiro e Marisa, pela inspiração e apoio incondicional, sem quem jamais chegaria até aqui.

À minha irmã Vivian, por todo apoio.

Aos meus tios e padrinhos, Ivani e Natal, pelo incentivo e apoio, desde o início, aos meus estudos na agronomia.

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, pela orientação, confiança, ensinamentos, paciência e amizade ao longo de todos esses anos de FCA.

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), pela oportunidade e suporte na realização do doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida (Código de financiamento 001).

Aos amigos de graduação e pós-graduação da FCA/UNESP que deram suporte à realização das atividades de campo ou laboratoriais: André Laguna Defente, Bruno Rosolen Gilli, Camila da Silva Grassmann, Fábio Henrique de Barros, Gustavo Henrique de Menezes Bacco, Gustavo Prestes Gomes, Jéssica Pigatto de Queiroz Barcelos, Júlio Nielsen Braga, Lucas Benes Delai, Lucas Brunini, Pablo Lucas de Almeida, Rodrigo Martins Soares, assim como a todos que de algum modo contribuíram ou se propuseram a contribuir nessas e ou em outras fases do trabalho.

Ao Ciro Venâncio de Oliveira e ao Marcelo Munhoz Venâncio de Oliveira, pelo auxílio nas atividades de campo.

Aos amigos Bruno Gazola, Danilo Silva Almeida, Jesion Geibel da Silva Nunes, João Paulo Gonsiorkiewicz Rigon, Kassiano Felipe Rocha, Leonardo Cirilo da Silva Soares, Leontino de Oliveira Neto e Murilo de Souza, pela amizade e pela contribuição neste e em outros trabalhos ao longo da minha formação acadêmica.

Aos técnicos responsáveis pelo Laboratório de Relações Solo-Planta Dorival Pires de Arruda e Lara Aparecida de Oliveira Brito e aos técnicos Júlia Briquezi, Vinícius de Oliveira Rosa e demais integrantes da equipe, pelo auxílio nas análises laboratoriais.

A todos os professores e funcionários da FCA que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração e execução do trabalho.

Aos funcionários da biblioteca, do departamento de Produção e Melhoramento Vegetal e da Seção de Pós-graduação, pela atenção e auxílios prestados durante o doutorado.

Ao professor Dr. Fábio Rafael Echer, pela amizade, sugestões e suporte à realização dos experimentos.

À professora Dra. Adriana Lima Moro e demais integrantes do CEVOP, da Unoeste, pelo apoio e sugestões feitas ao trabalho.

Aos discentes de graduação e pós-graduação da Unoeste Bruna Luana dos Santos, Bruno Henrique Navarro Sponton, Bruno Lopes, Carlos Felipe dos Santos Cordeiro, Layane Oliveira Carvalho e Vinícius José Souza Peres, pela amizade e suporte nas atividades do trabalho.

Ao José Eduardo Krabbemborg, pelo fornecimento de área e suporte à condução dos experimentos em Itapeva – SP, e aos demais colaboradores e funcionários das fazendas que auxiliaram nas operações de campo.

À Associação Paulista dos Produtores de Algodão (APPA), pelo apoio à realização dos experimentos em Itapeva – SP.

À Astecplan Consultoria, Assessoria e Planejamento nas pessoas do Eng. Agr. Rubem Cesar Staudt e do Eng. Agr. Jefferson Machado, pela viabilização do experimento em Chapadão do Sul – MS e contribuições com informações, sugestões, avaliações e suporte nas atividades de campo.

À Bayer Crop Science, em especial aos Eng. Agr. José Ari Castilho Detoni Filho e Eng. Agr. Rogério Ferreira, pelo apoio à realização do experimento em Chapadão do Sul, assim como aos demais colaboradores da empresa que contribuíram para o trabalho.

Ao Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt), na pessoa do Dr. Jean Louis Belot, pela viabilização e suporte ao experimento conduzido em Primavera do Leste – MT, e aos colaboradores do instituto que contribuíram para a realização do trabalho.

À Tropical Melhoramento e Genética (TMG), nas pessoas do Eng. Agr. Paulo Hugo Aguiar e do Dr. Eduardo Massakazu Kawakami, pelo apoio nas análises de qualidade de fibra dos experimentos, e aos demais colaboradores que também contribuíram para a realização das análises.

A todos os professores com quem, desde os primeiros anos de estudo, tive oportunidade de aprender e adquirir a base necessária para chegar até aqui, em especial aos meus orientadores durante minha formação acadêmica: Ciro Antonio Rosolem, Juliano Carlos Calonego e Ederaldo José Chiavegato.

Aos amigos da pós-graduação da FCA/UNESP Amanda Prado Gilabel, Antonio Carlos de Almeida Carmeis Filho, Breno Kennedy Bezerra, Caio Vilela Cruz, Claudio Hideo Martins da Costa, Cleiton José Alves, Danielle Scudeletti, Fernando Guidorizzi, Gabriela Ferraz de Siqueira, Igor Vilela Cruz, Jayme Ferrari Neto, Jason Geter da Silva Nunes, Hugo Mota Ferreira Leite, Katiúça Sueko Tanaka, Letusa Momesso Marques, Marcelo Rafael Volf, Mauricio Antonio Cuzatto Mancuso, Renan José Parecido, Sebastião Soares de Oliveira Neto e Sergio Esteves de Freitas, pela boa convivência, respeito e amizade ao longo da minha formação acadêmica.

Aos membros da comissão examinadora, prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, prof. Dr. Ederaldo José Chiavegato, prof. Dr. Fábio Rafael Echer, Dr. Júlio César Bogiani e prof.

Dr. Marcelo de Almeida Silva, pelas sugestões e contribuições propostas para o trabalho final.

A todos que, de algum modo, contribuíram e têm contribuído para a minha formação.

“A educação tem raízes amargas, mas os frutos são doces.”

“Τῆς παιδείας οἱ ρίζες εἶναι πικρές, μα οἱ καρποὶ γλυκοί.”

Aristóteles (384 – 322 a.C.)

RESUMO

A limitação de luz reduz a produtividade do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). Não há, porém, indicações do efeito de doses de N sobre plantas nessa condição. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo da cultura do algodoeiro em função da adubação nitrogenada sob restrição luminosa. Quatro experimentos de campo foram conduzidos para avaliar a produtividade, os componentes de produção, a distribuição de capulhos e a qualidade da fibra durante os anos de 2016 e 2017 no Brasil: Primavera do Leste/MT (I); Itapeva/SP, em áreas não irrigada (II) e irrigada (III); e Chapadão do Sul/MS (IV). Nos experimentos III e IV, estudou-se também a precocidade das plantas a partir da distribuição da produção de capulhos segundo a escala fenológica. Em todos os experimentos, sombreamento foi imposto no início do florescimento, mantendo-se uma tela de cor preta (42% de redução de radiação global) sobre as plantas por um período entre 16 e 25 dias dependendo do experimento; e foram realizadas duas adubações de N em cobertura, uma durante a fase dos primeiros botões florais e outra no início do florescimento. Nos experimentos I, II e III, testaram-se as doses de N em cobertura de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ em combinação com presença ou ausência de sombreamento, em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 4. No experimento IV, os cultivares FM 983 GLT (de ciclo tardio) e EB 1405 GLT (de ciclo precoce) foram testados nas doses de N em cobertura de 0, 80 e 160 kg ha⁻¹, na presença ou ausência de sombreamento, com delineamento de blocos ao acaso e esquema fatorial 2 x 3 x 2. O sombreamento diminuiu a produtividade de fibra em 10,1 e 11,6% nos experimentos I e IV, como resultado da redução do número de capulhos no terço inferior de 24,0 e 31,8%, respectivamente. No experimento II, não houve efeito do sombreamento sobre a produtividade final de fibra nem sobre a distribuição de capulhos nas plantas. No experimento III, as plantas foram muito responsivas ao N, e o sombreamento reduziu a produtividade de fibra apenas na ausência de adubação, em 10,0%, observando-se uma diminuição de 18,6% no número de capulhos no terço inferior. O sombreamento afetou a massa média de capulho apenas em Primavera do Leste, onde resultou em aumento de 5% e, em geral, não afetou de modo consistente a qualidade de fibra. A produtividade de fibra e o número de capulhos foram aumentados até as doses de N de 60 kg ha⁻¹ (II), 80 kg ha⁻¹ (IV) e 120 kg ha⁻¹ (I e III). O aumento das doses de N reduziu o índice micronaire em todos os experimentos. No entanto, não foram observados resultados consistentes para comprimento, resistência, uniformidade de comprimento e índice de fibras curtas. No experimento IV, os cultivares precoce e tardio não diferiram entre si quanto à produtividade de fibra. No entanto, EB 1405 GLT apresentou, em média, 59,3% mais capulhos no terço inferior; e FM 983 GLT, 80,7 e 63,0% mais capulhos no terço superior nas doses de N de 80 e 160 kg ha⁻¹, respectivamente. O genótipo tardio também apresentou fibras com maior comprimento e resistência. O estudo da precocidade revelou que o sombreamento aumentou os valores de posições fenológicas até a produção em caroço cumulativa de 10 e 30% nos

experimentos III e IV, respectivamente, devido à forte redução do número de frutos nos primeiros sítios de frutificação, mas não influenciou a precocidade final. A precocidade, porém, foi reduzida pelo aumento da dose de N, devido à maior produção cumulativa em sítios de frutificação tardios. De modo geral, os efeitos negativos da restrição luminosa sobre a produtividade final foram maiores na ausência de N, indicando que a adubação nitrogenada possibilita compensações parciais ou totais das perdas iniciais. Esse padrão de resposta indica que a adubação insuficiente de N leva à capacidade mais restrita da planta de recuperar-se de perdas provocadas pelo sombreamento. Por outro lado, a adubação de N em doses suficientes para altas produtividades minimiza os riscos de perdas após período de limitação de luz durante o florescimento.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L. Nitrogênio. Estresse luminoso. Fisiologia das plantas cultivadas.

ABSTRACT

Light limitation decreases cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield. However, there are no reports of N fertilization effects on cotton plants under these conditions. The objective of this work was to evaluate the agronomic performance of the cotton crop as a function of N rates under light restriction. Four experiments were conducted in Brazil in 2016 and 2017 seasons: Primavera do Leste/MT (I); Itapeva/SP, in non-irrigated (II) and irrigated (III) areas; and Chapadão do Sul/MS (IV). In experiments III and IV, crop earliness was also studied from boll distribution data according to the phenological scale. In all experiments, shading was imposed at the early flowering phase by placing a black shade fabric (42% reduction in global radiation) on plant's canopy for a period ranging from 16 to 25 days, depending on the experiment; and two topdressing N applications were made, the first at early squaring and the second at early flowering. In experiments I, II and III, N rates of 0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ in combination with or without shading were tested in complete randomized blocks arranged in a 2 x 4 factorial scheme. In experiment IV, the cultivars FM 983 GLT (late-cycle) and EB 1405 GLT (early-cycle) were subjected to N topdressing rates of 0, 80 and 160 kg N ha⁻¹, with or without shading, in complete randomized blocks arranged in a 2 x 3 x 2 factorial scheme. Shading decreased lint yield by 10.1 and 11.6% in experiments I and IV, as a result of the reduction in boll number at the lower third of the plant by 24.0 and 31.8%, respectively. In experiment II, shading had no effects on lint yield and boll distribution. In experiment III, the plants were highly responsive to N, and the shade treatment reduced the number of bolls at the lower fruiting branches by 18.6%, but the respective effect in reducing lint yield was only verified at 0 kg N ha⁻¹, by 10.0%. Shading affected the average boll weight only in Primavera do Leste, resulting in a 5% increase and, in general, did not have consistent effects on fiber quality. Lint yield and number of bolls were increased as a function of nitrogen rates up to 60 (II), 80 (IV) and 120 (I and III) kg ha⁻¹. Increasing N rates reduced micronaire values in all experiments. However, results were inconsistent for length, strength, length uniformity and short fiber content. In experiment IV the early- and late-cycle cultivars did not differ from each other for lint yield. However, EB 1405 GLT showed an average increase in boll number at lower fruiting branches of 59.3%; and FM 983 GLT showed increases of 80.7% and 63.0% in boll number at the upper branches at 80 and 160 kg N ha⁻¹, respectively. The late-cycle cultivar FM 983 GLT genotype also showed higher fiber length and strength values. The earliness study revealed that shading increased phenological position values up to 10 and 30% of accumulated seed cotton yield in experiments III and IV, respectively, due to the marked decline in the number of bolls at early fruiting sites, but did not affect the final crop earliness. However, earliness was decreased by high N rates due to higher cumulative yield at later fruiting sites. Overall, negative effects of light limitation on cotton yield seemed to be higher in the absence of N, indicating that nitrogen fertilization enables partial or total compensation of early-boll losses. Such response pattern indicates that insufficient N supply leads to a more restricted

ability of the plant to recover from damages caused by shading. Conversely, N rates recommended for high yields minimize the risk of loss after a period of light limitation during the flowering phase.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L. Nitrogen. Light Stress. Crop physiology.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Temperaturas máximas, médias e mínimas, graus-dia (temperatura base = 15,56 °C) e precipitações diárias em Primavera do Leste (ano de 2016), Itapeva (anos de 2016 e 2017) e Chapadão do Sul (anos de 2016 e 2017) 45
- Figura 2** – Produtividade de algodão em caroço (A) e em fibra (B), número de capulhos m^{-2} (C) e massa média de capulho (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento I, Primavera do Leste, MT (2016), cultivar TMG 45 B2RF 59
- Figura 3** – Produtividade de algodão em caroço (A) e em fibra (B), número de capulhos m^{-2} (C) e massa média de capulho (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento II, Itapeva (sequeiro), SP (2017), cultivar FM 954 GLT 60
- Figura 4** – Produtividade de algodão em caroço (A) e em fibra (B), número de capulhos m^{-2} (C) e massa média de capulho (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento III, Itapeva (irrigado), SP (2017), cultivar FM 940 GLT 61
- Figura 5** – Produtividade de algodão em caroço ($P_{CAROÇO}$, A) e em fibra (P_{FIBRA} , B), número de capulhos m^{-2} (C) e massa média de capulho (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento IV, Chapadão do Sul, MS (2017). Cultivares EB 1405 GLT (ciclo precoce) e FM 983 GLT (ciclo tardio).....62
- Figura 6** – Rendimento de fibra (A), altura de plantas (B), número total de nós (C) e último nó com ramo produtivo (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento I, Primavera do Leste, MT (2016), cultivar TMG 45 B2RF 67
- Figura 7** – Rendimento de fibra (A), altura de plantas (B), número total de nós (C) e último nó com ramo produtivo (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento II, Itapeva (sequeiro), SP (2017), cultivar FM 954 GLT 68
- Figura 8** – Rendimento de fibra (A), altura de plantas (B), número total de nós (C) e último nó com ramo produtivo (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento III, Itapeva (irrigado), SP (2017), cultivar FM 940 GLT 69

- Figura 9** – Rendimento de fibra (RF, A), altura de plantas (AP, B), número total de nós (NT, C) e último nó com ramo produtivo (UNP, D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Cultivares EB 1405 GLT (ciclo precoce) e FM 983 GLT (ciclo tardio). Experimento IV, Chapadão do Sul, MS (2017) 70
- Figura 10** – Número de capulhos de algodão por m² por terço do dossel e posição de frutificação em ramos simpodiais na presença (CS) e ausência (SS) de sombreamento artificial em doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Até 9º nó, 10º a 12º nó e acima do 12º nó da haste principal. Primeira posição (P1), segunda posição (P2) e terceira e demais posições (P3+). Experimento I. Primavera do Leste, MT (2016), cultivar TMG 45 B2RF 77
- Figura 11** – Número de capulhos de algodão por m² por terço do dossel e posição de frutificação em ramos simpodiais na presença (CS) e ausência (SS) de sombreamento artificial em doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Até 11º nó, 12º a 16º nó e acima do 16º nó da haste principal. Primeira posição (P1), segunda posição (P2) e terceira e demais posições (P3+). Experimento II. Itapeva, SP (sequeiro), 2017, cultivar FM 954 GLT 78
- Figura 12** – Número de capulhos de algodão por m² por terço do dossel e posição de frutificação em ramos simpodiais na presença (CS) e ausência (SS) de sombreamento artificial em doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Até 11º nó, 12º a 16º nó e acima do 16º nó da haste principal. Primeira posição (P1), segunda posição (P2) e terceira e demais posições (P3+). Experimento III, Itapeva, SP (irrigado), 2017, cultivar FM 940 GLT 79
- Figura 13** – Número de capulhos de algodão por m² por terço do dossel e posição de frutificação em ramos simpodiais na presença (CS) e ausência (SS) de sombreamento artificial, em doses de 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N em cobertura, dos cultivares EB 1405 GLT e FM 983 GLT. Até 10º nó, 11º a 13º nó e acima do 13º nó da haste principal. Primeira posição (P1), segunda posição (P2) e terceira e demais posições (P3+). Experimento IV. Chapadão do Sul, MS (2017) 80
- Figura 14** – Número de capulhos por m² em ramos frutíferos originários de ramos vegetativos ou monopodiais, acumulados na presença e na ausência de sombreamento em diferentes doses de N em cobertura, nos experimentos de campo em Itapeva em áreas em sequeiro (II, A) com cultivar FM 954 GLT e irrigada (III, B) com cultivar FM 940 GLT, e dos cultivares EB 1405 GLT (C) e FM 983 GLT (D) em Chapadão do Sul (IV) 81

- Figura 15** – Teores de N foliar em algodão e regressões para plantas com e sem sombreamento no florescimento em função das doses de N em cobertura. Experimentos em Primavera do Leste (I, A) na safra 2015/2016 e em Itapeva em áreas em sequeiro (II, B) e irrigada (III, C), e Chapadão do Sul (IV) na safra 2016/2017. Nos experimentos I, II e III foram utilizados, respectivamente, os cultivares TMG 45 B2RF, FM 954 GLT e FM 940 GLT. No experimento IV, as análises de regressão foram realizadas para os cultivares EB 1405 GLT (D) e FM 983 GLT (E) 83
- Figura 16** – Características de fibra de algodão em amostras de produção geral. Comprimento (A), uniformidade de comprimento (B), resistência (C), índice micronaire (D) e índice de fibras curtas (E) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento I, Primavera do Leste, MT (2016), cultivar TMG 45 B2RF 110
- Figura 17** – Características de fibra de algodão em amostras de produção geral. Comprimento (A), uniformidade de comprimento (B), resistência (C), índice micronaire (D) e índice de fibras curtas (E) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento II, Itapeva (sequeiro), SP (2017), cultivar FM 954 GLT 111
- Figura 18** – Características de fibra de algodão em amostras de produção geral. Comprimento (A), uniformidade de comprimento (B), resistência (C), índice micronaire (D) e índice de fibras curtas (E) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento III, Itapeva (irrigado), SP (2017), cultivar FM 940 GLT 112
- Figura 19** – Características de fibra de algodão em amostras de produção geral. Comprimento (A), uniformidade de comprimento (UC, B), resistência (C), índice micronaire (D) e índice de fibras curtas (IFC, E) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Cultivares EB 1405 GLT e FM 983 GLT. Experimento IV, Chapadão do Sul, MS (2017).....113
- Figura 20** – Ordem fenológica de frutificação em ramos simpodiais do algodoeiro (A); esquema de posições fenológicas utilizado neste trabalho, incluindo a contagem de ramos vegetativos abaixo do primeiro ramo simpodial (B). NC, nó cotiledonar; NM, nó monopodial (vegetativo); NS, nó simpodial (frutífero); RM, ramo monopodial (vegetativo); RFP, ramo frutífero (simpodial) primário; RFS, ramo frutífero secundário; F, fruto (capulho); GA, gema apical 145

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Características geográficas e fitotécnicas dos experimentos envolvendo a cultura do algodoeiro 43
- Tabela 2** – Teores de areia, silte e argila dos solos das áreas experimentais na profundidade de 0-0,2 m 44
- Tabela 3** – Caracterização química dos solos antes da implantação dos experimentos em Primavera do Leste (I), no ano de 2015, Itapeva nas áreas conduzidas em manejo de sequeiro (II) e irrigado (III), e Chapadão do Sul (IV) em 2016, na profundidade de 0,0–0,2 m 44
- Tabela 4** – Dados mensais de radiação global média diária (Q_g), radiação total incidente no topo da atmosfera média diária (Q_o) e relação entre radiação global e incidente no topo da atmosfera (Q_g/Q_o) nos locais de experimentos de algodão 46
- Tabela 5** – Dados ambientais de radiação global acumulada (Q_g), radiação incidente no topo da atmosfera (Q_o) acumulada e relação entre radiação global e incidente no topo da atmosfera (Q_g/Q_o) durante o período de sombreamento artificial nos experimentos. 47
- Tabela 6** – Probabilidades de significância dos valores de F (p) da análise de variância da produtividade de algodão em caroço ($P_{\text{CAROÇO}}$), número de capulhos por m^2 ($\text{Cap } m^{-2}$), massa média de capulho (MC), rendimento de fibra (RF), produtividade de algodão em fibra (P_{FIBRA}) altura de plantas (AP), número de nós totais (NT) e último nó com ramo produtivo na haste principal (UNP) nos experimentos de campo.....55
- Tabela 7** – Probabilidades de significância dos valores de F (p) provenientes do desdobramento da análise de variância por dose de N em cobertura da produtividade de algodão em caroço ($P_{\text{CAROÇO}}$) e em fibra (P_{FIBRA}), número de capulhos por m^2 ($\text{Cap } m^{-2}$) e massa média de capulho (MC). Experimento III. Itapeva (irrigado), SP (2017) 56
- Tabela 8** – Probabilidades de significância dos valores de F (p), determinadas na análise de variância, de número de capulhos por metro quadrado distribuídos ao longo da haste principal. Totais acumulados em intervalos específicos de ramos frutíferos primários ao longo da haste principal e em ramos frutíferos originários de ramos vegetativos ou monopodiais em experimentos de campo.....72
- Tabela 9** – Probabilidades de significância dos valores de F (p), determinadas na análise de variância, do teor de nitrogênio foliar em experimentos de campo conduzidos nas safras 2015/2016 e 2016/2017 82

Tabela 10 – Probabilidades de significância dos valores de F (<i>p</i>) da análise de variância de comprimento de fibra (Comp), uniformidade de comprimento (UC), índice micronaire (Mic), resistência de fibra (Res) e índice de fibras curtas (IFC) nas amostras de produção geral dos experimentos de campo	108
Tabela 11 – Probabilidades de significância dos valores de F (<i>p</i>) da análise de variância de rendimento de fibra (RF), comprimento de fibra (Comp), uniformidade de comprimento (UC), índice micronaire (Mic), resistência de fibra (Res) e índice de fibras curtas (IFC) nas amostras fracionadas por terço da haste principal dos experimentos de campo.....	116
Tabela 12 – Rendimento de fibra (RF), comprimento de fibra (Comp), uniformidade de comprimento (UC), índice micronaire (Mic), resistência de fibra (Res) e índice de fibras curtas (IFC) nas amostras fracionadas por terço da haste principal de algodoeiro com e sem sombreamento no florescimento	118
Tabela 13 – Rendimento de fibra (RF), comprimento de fibra (Comp), uniformidade de comprimento (UC), índice micronaire (Mic), resistência de fibra (Res) e índice de fibras curtas (IFC) nas amostras fracionadas por terço da haste principal de algodoeiro por dose de N em cobertura	119
Tabela 14 – Rendimento de fibra (RF), comprimento de fibra (Comp), uniformidade de comprimento (UC), índice micronaire (Mic), resistência de fibra (Res) e índice de fibras curtas (IFC) nas amostras fracionadas por terço da haste principal nos cultivares de algodoeiro EB 1405 GLT e FM 983 GLT. Experimento IV, Chapadão do Sul, MS (2017)	120
Tabela 15 – Características de fibra por fração da planta. Médias desdobradas de interações duplas significativas entre os fatores sombreamento (com e sem sombra), dose de N (0, 80 e 160 kg ha ⁻¹) e cultivar (EB 1405 GLT e FM 983 GLT). Experimento IV, Chapadão do Sul, MS (2017)	122
Tabela 16 – Características geográficas, edáficas e fitotécnicas dos experimentos de algodão durante a safra 2016/2017	142
Tabela 17 – Precipitações, temperaturas médias mensais e radiação solar durante a safra 2016/2017	143
Tabela 18 – Análise de variância de fatores principais e respectivas interações para posições fenológicas (PF) e massa de capulho (MC) a cada incremento de 10% na produção acumulada, posição fenológica ponderada (PF _μ), primeira posição fenológica produtiva (1 ^a PF), e número de capulhos em posições fenológicas iniciais (PFI) e tardias (PFT)	149

- Tabela 19** – Posições fenológicas determinadas para cada 10% de incremento na produção cumulativa de algodão em caroço ($PF_{y\%}$) e as respectivas médias ponderadas (PF_{μ}) em função do sombreamento durante o início do florescimento, de doses de N em cobertura e de cultivares. Itapeva e Chapadão do Sul, Brasil (2017) 150
- Tabela 20** – Massa de capulho determinada para cada 10% de incremento na produção cumulativa de algodão em caroço ($MC_{y\%}$) e primeira posição fenológica produtiva (1ª PF) de plantas de algodoeiro em função do sombreamento durante o início do florescimento, de doses de N em cobertura e de cultivares. Itapeva e Chapadão do Sul, Brasil (2017).151
- Tabela 21** – Número total de capulhos por planta em posições fenológicas (PF) iniciais e tardias de plantas de algodoeiro em resposta ao sombreamento, a doses de N em cobertura e a cultivares em Itapeva e Chapadão do Sul (2017) 152
- Tabela 22** – Raiz do quadrado médio do resíduo (RQMR), coeficiente de determinação (R^2) e estimativas dos parâmetros do modelo logístico $\{y = 100/[e^{(x_0-x)/b} + 1]\}$ ajustado aos percentuais cumulativos de produção em caroço em função de posições fenológicas em resposta a condições de sombreamento, doses de N em cobertura e cultivares. Experimentos em Itapeva e Chapadão do Sul (2017).....154

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A_c	produção acumulada da planta
AFIS	<i>Advanced Fiber Information System</i>
AP	altura de planta
Aw	clima tropical, com estação seca de inverno
B2RF	<i>Bollgard II[®] Roundup Ready Flex[®]</i>
Cap m ⁻²	capulhos por metro quadrado
Comp	comprimento de fibra
CS	com sombra
CTC	capacidade de troca catiônica
d	dia
DAE	dias após a emergência
dez.	dezembro
DMS	diferença mínima significativa
eq.	equação
F	fruto
fev.	fevereiro
GA	gema apical
GLT	<i>Glyto[®] Liberty Link[®] Twinlink[®]</i>
HVI	<i>High Volume Instrument</i>
IFC	índice de fibras curtas
jan.	janeiro
jul.	julho
jun.	junho
MAP	fosfato monoamônico
mar.	março
MC	massa média de capulho
MC _y	massa média de capulho para “y” de produção acumulada
MC _{y%}	massa média de capulho para “y%” de produção acumulada
Mic	índice micronaire
MO	matéria orgânica
MON	ramos frutíferos originários de ramos monopodiais
MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso
n.a.	não analisado
NC	nó cotiledonar
n.d.	não disponível
NM	nó monopodial
nov.	novembro
NS	nó simpodial
n.s.	não significativo
NT	número total de nós da planta
O	latitude Oeste
out.	outubro
P	precipitação
P1	primeira posição de frutificação do ramo

P2	segunda posição de frutificação do ramo
P3+	terceira e demais posições posteriores de frutificação do ramo
P _{CAROÇO}	produtividade de algodão em caroço
P _{FIBRA}	produtividade de algodão em fibra
PF	posição fenológica
PF _μ	posição fenológica ponderada para 100% da produção acumulada da planta
PF _y	posição fenológica para “y” da produção acumulada na planta
PF _{y%}	posição fenológica para “y%” da produção acumulada na planta
PFI	posições fenológicas iniciais
PFT	posições fenológicas tardias
Res	resistência da fibra
RF	rendimento de fibra
RFP	ramo frutífero primário
RFS	ramo frutífero secundário
RM	ramo monopodial
RQMR	raiz do quadrado médio do resíduo
S	latitude Sul
SB	soma de bases
set.	setembro
SP	São Paulo
SS	sem sombra
T	temperatura
UC	uniformidade de comprimento
UNP	último nó da haste principal, no sentido ascendente, com ramo produtivo

LISTA DE SÍMBOLOS

%	por cento
N	nitrogênio
kg	quilograma
ha	hectare
CO ₂	dióxido de carbono, gás carbônico
Q _g	radiação solar global
Q _o	radiação solar incidente no topo da atmosfera
m	metro
Aw	clima tropical, com estação seca de inverno
mm	milímetro
B	boro
K	potássio
K ₂ O	óxido de potássio (unidade de equivalência para fertilizantes potássicos)
Cl	cloro
KCl	cloreto de potássio
°	grau
'	minuto
“	segundo
Cwa	clima temperado úmido, com inverno seco e verão quente
g	grama
pH	potencial hidrogeniônico
C	carbono
C/N	relação carbono nitrogênio
P _{resina}	fósforo do solo extraído com resina
S-SO ₄ ²⁻	enxofre na forma de íon sulfato
H + Al	acidez potencial do solo
K	potássio
Ca	cálcio
Mg	magnésio
V	saturação por bases
Fe	ferro
Cu	cobre
Mn	manganês
Zn	zinco
dm ³	decímetro cúbico
mg	miligrama
mmol _c	milimol carga
°C	grau Celsius
MJ	megajoule
P ₂ O ₅	pentóxido de difósforo (unidade de equivalência para fertilizantes fosfatados)
m ²	metro quadrado
≤	menor ou igual a
≥	maior ou igual a
<	menor que
>	maior que

p	probabilidade de significância estatística
R^2	coeficiente de determinação
*	significativo ao nível de 5%
@	arroba
μmol	micromol
cm	centímetro
Σ	somatório
**	significativo ao nível de 1%
***	significativo ao nível de 0,1%
L	litro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	33
CAPÍTULO 1 – CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE CAPULHOS DO ALGODOEIRO SOMBREADO EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO NITROGENADA	37
Resumo	37
Abstract	38
1.1 Introdução	39
1.2 Material e métodos	41
1.2.1 Caracterização, localização e delineamento dos experimentos	41
1.2.2 Experimento I (Primavera do Leste/MT, safra 2015/2016)	42
1.2.3 Experimento II (Itapeva/SP, sequeiro, safra 2016/2017)	47
1.2.4 Experimento III (Itapeva/SP, irrigado, safra 2016/2017)	48
1.2.5 Experimento IV (Chapadão do Sul/MS, safra 2016/2017)	49
1.2.6 Avaliação do teor de N foliar.....	50
1.2.7 Produtividade, componentes de produção e rendimento de fibra.....	51
1.2.8 Distribuição de capulhos nos sítios de frutificação e avaliações de crescimento final das plantas	51
1.2.9 Análise dos dados	53
1.3 Resultados	54
1.3.1 Resultados gerais das análises de variância e interações: crescimento e componentes de produção	54
1.3.2 Produtividade, número e massa média de capulhos	56
1.3.3 Rendimento de fibra	64
1.3.4 Altura de plantas, número de nós e último nó da haste	65
1.3.5 Mapeamento de capulhos nas plantas	71
1.3.6 Teor de nitrogênio foliar	81
1.4 Discussão.....	84
1.5 Conclusões	94
Referências	95

CAPÍTULO 2 – INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO E DA ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE A QUALIDADE DE FIBRA DO ALGODOEIRO

.....	101
Resumo	101
Abstract	102
2.1 Introdução	103
2.2 Material e métodos	105
2.2.1 Caracterização, localização e delineamento das áreas experimentais	105
2.2.2 Qualidade de fibra em amostras de produção geral das plantas	106
2.2.3 Rendimento e qualidade de fibra em amostras por grupos de nós da haste principal (experimentos III e IV)	106
2.2.4 Análise dos dados.....	106
2.3 Resultados	107
2.3.1 Qualidade de fibra na produção colhida (amostras de produção geral)	107
2.3.2 Qualidade de fibra por terço da planta	115
2.4 Discussão	123
2.4.1 Efeitos do sombreamento	123
2.4.2 Efeitos da adubação nitrogenada.....	126
2.4.3 Efeitos de cultivares	128
2.4.4 Fatores e observações adicionais.....	130
2.5 Conclusões	131
Referências	133
CAPÍTULO 3 – EFEITOS DO SOMBREAMENTO E DO NITROGÊNIO SOBRE A PRECOCIDADE DO ALGODOEIRO AVALIADA PELA DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO DE CAPULHOS	137
Resumo	137
Abstract	138
3.1 Introdução	139
3.2 Material e métodos	141
3.2.1 Itapeva (sombreamento x doses de nitrogênio)	143
3.2.2 Chapadão do Sul (cultivares x sombreamento x doses de nitrogênio)	144
3.2.3 Análise fenológica no mapeamento de plantas.....	145
3.2.4 Análise dos dados.....	147
3.3 Resultados	148

3.4	Discussão.....	155
3.5	Conclusões	160
	Referências	161
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	165
	REFERÊNCIAS	167
	APÊNDICE A – Relação entre a radiação global (Qg) sob a tela de sombreamento dos experimentos e a radiação global na condição sem sombreamento artificial, determinada com pirômetros de alta precisão. Avaliações em condições de campo. Botucatu – SP (22 a 29 de junho de 2017)	171
	APÊNDICE B – Fotos da área experimental de Primavera do Leste	173
	APÊNDICE C – Fotos da área experimental de Itapeva (sequeiro).....	175
	APÊNDICE D – Fotos da área experimental de Itapeva (irrigada)	177
	APÊNDICE E – Fotos da área experimental de Chapadão do Sul	179
	APÊNDICE F – Concentrações de nutrientes em folhas de algodoeiro – área experimental de Primavera do Leste (MT) – médias de seis repetições.....	181
	APÊNDICE G – Concentrações de nutrientes em folhas de algodoeiro – área experimental de Itapeva (SP) em sequeiro – médias de quatro repetições.....	183
	APÊNDICE H – Concentrações de nutrientes em folhas de algodoeiro – área experimental de Itapeva (SP) irrigada – médias de quatro repetições	185
	APÊNDICE I – Concentrações de nutrientes em folhas de algodoeiro – área experimental de Chapadão do sul (MS) – médias de três repetições	187
	APÊNDICE J – Representação gráfica do modelo logístico de dois parâmetros aplicado na avaliação de precocidade do algodoeiro por meio da distribuição da produção de capulhos pela escala de posições fenológicas.....	189
	ANEXO A – Manejo de reguladores de crescimento e de produtos para desfolha e abertura de frutos na área experimental de Primavera do Leste	191

ANEXO B – Manejo de reguladores de crescimento e de produtos para desfolha e abertura de frutos na área experimental de Itapeva – área em sequeiro	193
ANEXO C – Manejo de reguladores de crescimento e de produtos para desfolha e abertura de frutos na área experimental de Itapeva – área irrigada.....	195
ANEXO D – Manejo de reguladores de crescimento e de produtos para desfolha e abertura de frutos na área experimental de Chapadão do Sul	197

INTRODUÇÃO GERAL

A maior parte das espécies conhecidas de algodoeiro é originária de uma faixa geográfica que compreende regiões tropicais e subtropicais de baixa latitude (Austrália, península da Somália – África, Península Arábica – Ásia, Centro-Sul do México), principalmente de ambientes áridos (WENDEL et al., 2009). Nessas regiões, ocorre alta incidência luminosa uma vez que a precipitação acumulada é reduzida. Atualmente, a espécie *Gossypium hirsutum* L. representa cerca de 90% do algodão cultivado mundialmente. Essa espécie, pertencente ao genoma AD (STEWART, 1994), tem origem no “Novo Mundo”, especificamente nas regiões áridas da América Central e da América do Sul.

Na safra 2017/2018, o Brasil produziu aproximadamente 3 milhões de toneladas de algodão em caroço (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2019), sendo atualmente o quarto maior produtor e o segundo maior exportador de algodão de mundo (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2019). No Brasil, a produção está concentrada no Centro-Oeste, com o Estado de Mato Grosso responsável por 64% da produção; e no Nordeste, com a Bahia produzindo 25% da safra brasileira (CONAB, 2019), e é majoritariamente cultivado sem irrigação, ficando, portanto, dependente da ocorrência das chuvas, que ocorrem de maneira bastante irregular. Essa irregularidade ocorre devido à existência de duas estações bem definidas, uma com inverno seco e outra com verão chuvoso, e à grande concentração das chuvas entre janeiro e março, período em que o algodoeiro é semeado e inicia o desenvolvimento de flores e enchimento de maçãs. Durante a época chuvosa, é comum a ocorrência de períodos nublados prolongados, fator que diminui a atividade da enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (rubisco) e a fotossíntese líquida das plantas (PERCHOROWICZ et al., 1981; WELLS, 2011).

O algodoeiro é uma planta complexa do ponto de vista anatômico e fisiológico, apresentando ramos monopodiais ou vegetativos e ramos simpodiais ou frutíferos (BELTRÃO; AZEVEDO, 1993), com estruturas planofilares, ou seja, ramos e folhas horizontalizados, o que dificulta o manejo de densidades populacionais muito elevadas com relação ao aproveitamento de luz (BELTRÃO et al., 2008a; CHIAVEGATO et al., 2014). Plantas do tipo C3, como o algodoeiro, possuem menor eficiência fotossintética quando comparadas às do tipo C4 (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Particularmente, o algodoeiro apresenta fotorrespiração elevada, que pode atingir 50% em condições de temperaturas elevadas (PERRY et al., 1983). Além disso, apresenta alto ponto de compensação de CO₂ e o desempenho fotossintético é bastante sensível à falta de luminosidade (KRIZEK, 1986). Assim, a presença de sombra sobre as folhas pode levar à redução de síntese de açúcares e, conseqüentemente, diminuir o rendimento da cultura e prejudicar o processo de formação da fibra (BELTRÃO; AZEVEDO, 1993; ROSOLEM, 2007).

A produtividade do algodoeiro é dependente da quantidade e da massa de capulhos retidos no dossel vegetal. No entanto, a planta retém apenas parte das estruturas reprodutivas formadas, em função de respostas às variáveis ambientais, ataques de pragas e doenças e do aborto realizado naturalmente pela própria planta para balancear a distribuição de fotoassimilados (MARTÍN, 2006). De acordo com Oosterhuis (1999), quedas de até 60% de estruturas reprodutivas do algodoeiro são consideradas normais. A frequência do aborto de frutos é alterada em função das condições climáticas e do grau de sombreamento incidente. Quanto menor a incidência de luz e, conseqüentemente, maior o sombreamento, maior é a taxa de aborto, devido ao fato de a redução da fotossíntese aumentar a taxa de abscisão (KITTOCK et al., 1986), visto que a queda de maçãs é governada pelo balanço entre os teores de açúcares e de etileno produzidos em tecidos foliares (ROSOLEM, 2006).

A qualidade de fibra, por sua vez, depende da partição fonte-dreno na planta e de condições ambientais que maximizem o crescimento em comprimento e, principalmente, não comprometam o acúmulo de camadas de celulose durante a fase de espessamento da parede secundária (BELTRÃO et al., 2008b). Assim, ao alterar o metabolismo de açúcares na planta, a restrição de luz pode levar, adicionalmente à redução de produtividade, à perda de qualidade de características intrínsecas da fibra, principalmente as mais dependentes do ambiente. No entanto, embora apresente os seus efeitos específicos, as condições de disponibilidade de luz ocorrem e atuam em combinação com outros fatores ambientais ou de manejo.

O nitrogênio (N) é o nutriente inorgânico absorvido e exportado em maior quantidade pelo algodoeiro, sendo um dos que mais interferem no custo de produção da lavoura. Além disso, é o que mais pode limitar a produtividade em áreas onde a fertilidade foi corrigida. Estima-se que para produtividades da ordem de 1200, 1800 e 2400 kg ha⁻¹ de fibra, a absorção e a exportação são

aproximadamente de 61, 175 e 290 kg ha⁻¹; e 45, 93 e 140 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (ROCHESTER, 2007).

Entre as funções do N na planta inclui-se a composição da molécula de clorofila (TAIZ; ZEIGER, 2009), o principal pigmento fotossintético da planta, estando, portanto, diretamente ligado à eficiência fotossintética. A deficiência de N pode reduzir a atividade da enzima rubisco e a fotossíntese líquida (REDDY et al., 1996). Adicionalmente, o N é responsável pela expansão foliar, interferindo no índice de área foliar e na quantidade de energia capturada pelas folhas. Por outro lado, o excesso de N no solo estimula o crescimento vegetativo, dificultando a penetração da luz no dossel vegetal, levando ao autossombreamento e ao apodrecimento de frutos localizados nas partes inferiores das plantas (ROSOLEM; BOGIANI, 2014; ZANCANARO; TESSARO, 2006). Consequentemente, frutos mais tardios serão mais determinantes na produção final, a qual por sua vez dependerá do regime hídrico. A diminuição na taxa de retenção de frutos também pode ser resultante da associação com outros fatores, como alta densidade de plantas, manejo inadequado de reguladores de crescimento e condições de baixa luminosidade.

Adicionalmente, em decorrência do hábito de crescimento indeterminado do algodão, a adubação de N pode induzir à redução de precocidade das plantas em atingir os pontos de corte fisiológico e maturidade cultural, em virtude do abortamento de botões florais e frutos jovens e do estímulo à continuidade do crescimento vegetativo (HEARN, 1975; McCONNELL et al., 1993). O crescimento vegetativo excessivo e prolongado pode também dificultar o manejo de pragas e doenças e o controle da altura das plantas via reguladores de crescimento, sem resultar em maior produtividade.

Diferentes cenários, antagônicos entre si, podem ser prognosticados em função da aplicação de altas doses de N na presença de outros fatores limitantes. No primeiro caso, a adubação nitrogenada em condições restritivas à produção e à qualidade de fibra, como o sombreamento temporário, não será compensatória, visto que a produtividade poderá ser definitivamente limitada pela restrição de luz. Nesse sentido, a aplicação de doses muito elevadas de nitrogênio em ambientes de baixa luminosidade pode não ser revertida em produtividade, mas sim, contrariamente, em aumento da frequência de abortos de estruturas frutíferas devido ao autossombreamento causado pelo enfolhamento excessivo, deixando a lavoura mais tardia, o que aumenta os custos de produção. Em um segundo caso, o maior

crescimento vegetativo pode contribuir para mitigar quebras de produtividade causadas pela limitação de luz através da maior capacidade de retenção de frutos tardios. Assim, respostas agronômicas das plantas relativas ao seu crescimento, componentes de produção, produtividade, qualidade de fibra e precocidade podem ser determinantes na definição de estratégias de manejo da adubação nitrogenada em áreas de produção de algodão.

Neste trabalho, foram conduzidos estudos envolvendo diferentes experimentos para compreensão dessas respostas agronômicas, em três capítulos. No primeiro capítulo, as avaliações concentraram-se no crescimento das plantas, nos componentes de produção, na distribuição de capulhos e na análise foliar. No segundo capítulo, foram avaliadas características de qualidade de fibra em resposta ao sombreamento em diferentes doses de N em cobertura em amostras de colheita geral de produção e fracionadas por terço da haste principal da planta. Finalmente, no último capítulo, estudou-se a precocidade das plantas, baseando-se na distribuição da produção de capulhos segundo critérios fenológicos de avaliação, envolvendo proposição de novos índices de avaliação e métodos de análise. O grande número de avaliações necessário resultou em uma longa extensão do trabalho final. Embora o algodoeiro venha tendo relevante importância no Brasil, estudos sobre o seu manejo e suas respostas a fatores ambientais são relativamente escassos. Espera-se que os resultados apresentados sirvam para ampliar a base de conhecimentos sobre a adubação nitrogenada na cultura, assim como para nortear futuros estudos aplicados à sua ecofisiologia em novos cenários.

CAPÍTULO 1 – CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE CAPULHOS DO ALGODOEIRO SOMBREADO EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO NITROGENADA

Resumo

A limitação de luz reduz a produtividade do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), mas não há indicações do efeito da adubação nitrogenada sobre plantas nessa condição. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, os componentes de produção e a distribuição de capulhos no algodoeiro em função de doses de N em cobertura, sob restrição luminosa. Quatro experimentos de campo foram conduzidos no Brasil nos anos de 2016 e 2017: Primavera do Leste/MT (I); Itapeva/SP, em áreas não irrigada (II) e irrigada (III); e Chapadão do Sul/MS (IV). As plantas foram sombreadas no início do florescimento, reduzindo-se em 42% a radiação global por um período entre 16 e 25 dias; e realizaram-se duas adubações nitrogenadas em cobertura durante a fase reprodutiva, nas doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ (I, II e III); e 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ (IV), testando-se também neste último experimento os cultivares EB 1405 GLT (ciclo precoce) e FM 983 GLT (ciclo tardio). O sombreamento diminuiu a produtividade de fibra em 10,1% em Primavera do Leste e em 11,6% em Chapadão do Sul, resultante da redução do número de capulhos no terço inferior da planta em 24,0 e 31,8%, respectivamente. No experimento II, não houve efeito do sombreamento sobre produção e distribuição de capulhos. No experimento III, o sombreamento reduziu em 18,6% o número de capulhos nos ramos frutíferos inferiores, mas o respectivo efeito de redução da produtividade em fibra verificou-se somente a 0 kg ha⁻¹ de N, em 10,0%. Como efeito geral, a produtividade em fibra e o número de capulhos aumentaram até as doses de 60 (II), 80 (IV) e 120 (I e III) kg ha⁻¹ de N. Porém, plantas sombreadas geralmente foram mais responsivas às doses máximas de N testadas, de modo que suas produtividades foram similares às de plantas não sombreadas. Maiores doses de N também aumentaram a altura de plantas, o número de nós e o número do nó do último ramo produtivo. Os cultivares testados não diferiram entre si quanto à produtividade de fibra, mas EB 1405 GLT apresentou, em média, 59,3% mais capulhos no terço inferior; e FM 983 GLT, 80,7 e 63,0% mais capulhos no terço superior nas doses de N de 80 e 160 kg ha⁻¹, respectivamente. Os resultados sugerem que solos deficientes em N restringem a capacidade das plantas de recuperarem-se de perdas por sombreamento, enquanto a alta disponibilidade de N minimiza danos após período de limitação de luz durante o florescimento.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L. Componentes de produção. Nitrogênio. Estresse luminoso.

GROWTH, YIELD AND BOLL DISTRIBUTION RESPONSES OF SHADED COTTON TO NITROGEN FERTILIZATION

Abstract

Light limitation reduces cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield, but there are no reports on N fertilization effects on cotton plants under this condition. The objective of this work was to evaluate growth, yield components, and boll distribution in cotton as a function of N rates under light restriction. Four experiments were conducted in Brazil in 2016 and 2017 seasons: Primavera do Leste/MT (I); Itapeva/SP, in non-irrigated (II) and irrigated areas (III); and Chapadão do Sul/MS (IV). Cotton plants were shaded at early flowering to a 42% reduction in global radiation for a period of time ranging from 16 to 25 days; and two topdressing N applications were made during the reproductive phase, at rates of 0, 60, 120 and 180 kg N ha⁻¹ (I, II and III); and 0, 80 and 160 kg N ha⁻¹ in the later experiment (IV), where the cultivars EB 1405 GLT (early-cycle) and FM 983 GLT (late-cycle) were also tested. Shading decreased lint yield by 10.1% in Primavera do Leste and by 11.6% in Chapadão do Sul as a result of the reduction in boll number at the lower third of the plant by 24.0 and 31.8%, respectively. In experiment II, shading had no effects on yield and boll distribution. In experiment III, shade treatment reduced the number of bolls at the lower fruiting branches by 18.6%, but the respective effect in reducing lint yield was only verified at 0 kg N ha⁻¹, by 10.0%. As main effects, lint yield and number of bolls increased up to N rates of 60 (II), 80 (IV) and 120 (I and III) kg ha⁻¹. However, shaded plants seemed to be more responsive to the maximum N rates tested, so that yields were similar to those from non-shaded ones. Higher N rates also increased the plant height, the number of bolls and the main stem node number of the last fruiting branch. The tested cultivars did not differ from each other for lint yield, but EB 1405 GLT showed an average increase in boll number at lower fruiting branches of 59.3%; and FM 983 GLT showed increases of 80.7% and 63.0% in boll number at the upper branches at 80 and 160 kg N ha⁻¹, respectively. The results suggest that N-deficient soils restrict the ability of cotton plants to recover from losses caused by shading, whereas a high-N availability minimizes damages after a low-light stress period during blooming.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L. Yield components. Nitrogen. Light stress.

1.1 Introdução

A luz é um componente fundamental para assegurar a produção de energia e o acúmulo de fitomassa nas espécies vegetais. Na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), uma planta C3 heliófila, ambientes de alta luminosidade são requeridos para assegurar bom desempenho produtivo. A restrição de luz reduz a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa e, conseqüentemente, a atividade fotossintética das folhas, promovendo alterações fisiológicas que podem afetar a produção e sua respectiva distribuição dentro das plantas (LV et al., 2013; PETTIGREW, 1994). Embora a restrição de luz afete a fotossíntese durante as diferentes fases do ciclo, as implicações sobre a produtividade e os componentes de produção são efetivamente determinantes a partir do início da fase reprodutiva (ECHER; ROSOLEM, 2015; ZHAO; OOSTERHUIS, 2000). Durante o desenvolvimento reprodutivo, a redução da produção de açúcares nas folhas por meio da fotossíntese devido à restrição de luz ou ao sombreamento limita o fluxo de sacarose para frutos jovens (CHEN et al., 2017; ZHAO; OOSTERHUIS, 1998a). A baixa disponibilidade de fotoassimilados promove o aumento de concentração de etileno nos frutos (GUINN, 1982), ativando mecanismos de abscisão que resultam na redução do número de capulhos (CHEN et al. 2017; ECHER; ROSOLEM, 2015). Concomitantemente, o sombreamento prolongado nas fases críticas de florescimento e frutificação pode reduzir a massa dos capulhos (CHEN et al., 2017; ZHAO; OOSTERHUIS, 2000). Esse fenômeno poderia ser causado diretamente pela má formação de frutos afetados pela falta de luz ou pelo aumento da proporção de frutos formados em épocas mais tardias e menos favoráveis ao seu crescimento.

Um fator essencial para a obtenção de altas produtividades de algodão é a disponibilidade de nitrogênio no solo às plantas. Efeitos do N e recomendações de adubação para diferentes regiões e expectativas de produtividade já foram documentados em vários trabalhos (BOQUET et al., 1994; GERIK, 1998; SILVA, 1997; SOUSA; LOBATO, 2004). Resultados anteriores apontam dose de N em cobertura de 120 kg ha⁻¹ como suficiente para produtividade em caroço de 4800 kg ha⁻¹ em Mato Grosso (FUNDAÇÃO MT, 2001). Em áreas de Cerrado com fertilidade corrigida e elevado potencial produtivo, doses entre 120 e 160 kg ha⁻¹ de N são recomendadas para produtividades em caroço entre 5000 e 6000 kg ha⁻¹ (CARVALHO et al., 2011; ZANCANARO; TESSARO, 2006).

Plantas deficientes em N apresentam redução da atividade de fotossíntese e crescimento limitado (CHEN et al., 2018; JACKSON; GERIK, 1990; REDDY et al., 1996), ao passo que o aumento da disponibilidade de N intensifica o crescimento vegetativo, resultando em plantas de maior tamanho e com maior número de frutos (BOQUET et al., 1994; HEARN, 1975; JOHAM, 1986). Um fenômeno relativamente comum em áreas de produção de algodão brasileiras nos últimos anos tem sido aplicações de doses excessivas de N, cuja consequência é o estímulo ao crescimento vegetativo. A alteração do equilíbrio entre fontes e drenos causada pelo crescimento vegetativo excessivo resulta em um acentuado aumento de altura e área foliar e favorece o autossombreamento e a abscisão de frutos jovens (CHAVEGATO et al., 2014; ROSOLEM; BOGIANI, 2014). Esses eventos tornam a produção mais dependente de frutos formados em épocas mais tardias, o que poderá resultar em perdas de produtividade e em aumento de custos devido ao prolongamento do ciclo associado à alteração da distribuição dos capulhos (MULLINS; BURMESTER, 2010).

Nas principais regiões cotonicultoras do Centro-Sul e do Cerrado do Brasil, a semeadura do algodoeiro abrange os meses entre outubro e janeiro, com colheita entre os meses de abril e julho, dependendo da região e do sistema de produção. Assim, o período chuvoso, que se estende de outubro a março, coincide com o início da fase reprodutiva, tornando comum a ocorrência de dias com períodos nublados prolongados. Com o aumento da produção de algodão de segunda safra, principalmente em Mato Grosso, onde ocupou o equivalente a 86% da área na safra 2016/2017 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2017), grande parte da semeadura se concentra no mês de janeiro, o que tem tornado capulhos produzidos a partir dos meses de março e abril ainda mais determinantes na produção final de algodão.

O aumento das doses de N é um manejo utilizado para retomada do desenvolvimento e retenção de novas estruturas reprodutivas em condições de estresses que limitam o crescimento e a produção, como, por exemplo, solos com limitações físicas e ataque de nematoides (FUNDAÇÃO MT, 2001; SILVA et al., 1997). Assim, na presença de sombreamento, a adição de N pode contribuir para a emissão de novas estruturas na planta visando-se a reduzir perdas de produtividade. Essa estratégia poderia ser adotada com outros recursos complementares, como o emprego de cultivares de ciclo mais longo. Por outro lado, a incidência limitada de

luz tem sido associada à diminuição da absorção de N na forma de nitrato (NO_3^-) pelas raízes, embora maior acúmulo nos tecidos tenha sido relatado, resposta atribuída a uma possível queda da velocidade de redução para a forma amoniacal (NH_4^+), devido à diminuição da atividade das enzimas redutoras (BLOM-ZANDSTRA et al., 1988; SINGH; SAWHNEY, 1989). Resultados anteriores sugerem que a absorção de N pelas raízes é dependente do fluxo contínuo de carboidratos solúveis da parte aérea (RAPER Jr. et al., 1978). Nesse sentido, a aplicação de doses excessivas de nitrogênio em ambientes submetidos a períodos de baixa luminosidade pode não ser compensatória quanto à produtividade, mas sim agravar os prejuízos decorrentes do crescimento vegetativo excessivo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, os componentes de produção e sua distribuição em plantas de algodoeiro sombreadas em função da adubação nitrogenada.

1.2 Material e métodos

1.2.1 Caracterização, localização e delineamento dos experimentos

Quatro experimentos de campo foram realizados durante as safras agrícolas 2015/2016 e 2016/2017, para estudar respostas agrônômicas do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) à restrição luminosa temporária no início do florescimento em combinação com doses de nitrogênio em adubações de cobertura. A restrição luminosa foi imposta mediante sombreamento artificial, que consistiu em manter uma tela de cor preta de redução nominal de 35% sobre as plantas a 1,20 m de altura e fixada a estacas de madeira situadas nas extremidades das parcelas sombreadas por meio de abraçadeiras de polietileno, no início do florescimento. Após o período de sombreamento, as estruturas foram retiradas e as plantas restabelecidas às condições naturais. Para uma quantificação mais precisa, a incidência de radiação através da tela de sombreamento foi avaliada em condições de campo em Botucatu/SP, entre 22 e 29 de junho de 2017 com piranômetros de alta precisão. A tela de sombreamento reduziu em 42% a incidência de radiação global sobre os piranômetros. Os resultados dessa avaliação estão apresentados no APÊNDICE A. As adubações de N em cobertura foram parceladas em duas aplicações, sendo a primeira em período próximo à fase de aparecimento dos primeiros botões florais e a segunda no início da fase de abertura das primeiras flores.

Os ensaios foram conduzidos em diferentes locais e épocas de semeadura, desde meados de outubro até final de janeiro, cada qual com características específicas de manejo. Na safra 2015/2016, foi conduzido um experimento em Primavera do Leste/MT (experimento I), em época de semeadura tardia (final de janeiro). Na safra 2016/2017, foram conduzidos dois experimentos em Itapeva/SP, distantes 13 km entre si, e um em Chapadão do Sul/MS. O primeiro experimento de Itapeva (experimento II) foi semeado em meados de outubro (época inicial) e conduzido sem irrigação (sequeiro), ao passo que o segundo experimento (experimento III) foi semeado no início do mês de novembro, manejado com presença de irrigação. O experimento em Chapadão do Sul (experimento IV) foi semeado no fim do mês de dezembro (época intermediária no Cerrado) e envolveu, além de restrição luminosa e doses de N, avaliação de cultivares. Informações gerais sobre localização, clima e condução experimental são fornecidas na Tabela 1.

Propriedades granulométricas (EMBRAPA, 1997) e químicas (RAIJ et al., 2001) dos solos de cada experimento na profundidade de 0–0,2 m estão, respectivamente nas Tabelas 2 e 3. Os valores diários de temperatura e precipitação, obtidos de estações meteorológicas locais, as datas de aplicações de N em cobertura e o período de sombreamento artificial em cada local estão representados na Figura 1. Dados de radiação solar global (Q_g) acumulada mensalmente (Tabela 4) e durante o período de sombreamento artificial (Tabela 5) em cada localidade foram coletados das mesmas estações meteorológicas locais. A radiação incidente no topo da atmosfera (Q_o) foi calculada a partir da latitude e do dia ano (DUFFIE; BECKMAN, 2013) e utilizada para o cálculo dos índices de claridade (relação Q_g/Q_o) mensais (Tabela 4) e durante o sombreamento (Tabela 5) visando-se à caracterização experimental. Os experimentos conduzidos são descritos a seguir.

1.2.2 Experimento I (Primavera do Leste/MT, safra 2015/2016)

O experimento foi conduzido em área experimental de campo da sede do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), localizada no município de Primavera do Leste/MT. A área é utilizada no programa de melhoramento genético da instituição em sistema de semadura convencional e foi mantida em pousio antes da semeadura do algodoeiro do experimento. O clima local segundo classificação de Köppen é Aw, com precipitação anual média de 1780 mm. A semeadura foi realizada por meio de semeadora-adubadora mecânica em 29 de janeiro de 2016,

em espaçamento de 0,90 m entre fileiras de plantas e 0,125 m entre as plantas da fileira, utilizando-se o cultivar TMG 45 B2RF. A emergência de plântulas foi observada em 04 de fevereiro de 2016. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com seis repetições, em esquema fatorial 2 x 4. As parcelas consistiram em quatro fileiras de plantas, cada uma com comprimento de 5,0 m. Os tratamentos constaram de doses de N em cobertura, aplicadas como ureia (46% de N), de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, em combinação com presença ou ausência de sombreamento artificial durante o florescimento. O sombreamento foi imposto aos 57 dias após a emergência (DAE) e mantido por 24 dias, entre os dias 01 e 25 de abril de 2016. As doses de cobertura de N foram aplicadas manualmente sobre a superfície do solo na linha de semeadura e parceladas em duas aplicações, sendo metade aplicada aos 20 DAE e metade aos 57 DAE. Em pré-semeadura, foi realizada adubação de 250 kg ha⁻¹ do formulado 09-43-00 e 30 kg ha⁻¹ de Bórax (11,5 % de B) e, em cobertura, de 90 kg ha⁻¹ de K₂O via KCl.

Tabela 1 – Características geográficas e fitotécnicas dos experimentos envolvendo a cultura do algodoeiro

Parâmetro	Experimento			
	Primavera do Leste (I)	Itapeva (II)	Itapeva (III)	Chapadão do Sul (IV)
Ano agrícola	2015/2016	2016/2017	2016/2017	2016/2017
Latitude	15°31'23"S	23°40'36"S	23°40'19"S	18°40'06"S
Longitude	54°12'39"O	48°51'19"O	48°59'01"O	52°53'47"O
Altitude (m)	608 m	775 m	670 m	854 m
Clima (Köppen)	Aw	Cwa	Cwa	Aw
Cultura antecessora	Pousio	Trigo	Trigo	Pousio
Cultivar	TMG 45 B2RF	FM 954 GLT	FM 940 GLT	FM 983 GLT e EB 1405 GLT
Ciclo dos cultivares	Médio	Médio	Médio	Tardio e Precoce
Espaçamento entre fileiras (m)	0,9	0,9	0,9	0,9
Espaçamento entre plantas (m)	0,125	0,14	0,145	0,14
Data da semeadura	29/01/2016	19/10/2016	01/11/2016	29/12/2016
Data de emergência	04/02/2016	26/10/2016	08/11/2016	03/01/2017
Adubações de cobertura de N (DAE)	20 e 57	40 e 57	33 e 62	29 e 69
Doses de N testadas (kg ha ⁻¹)	0, 60, 120 e 180	0, 60, 120 e 180	0, 60, 120 e 180	0, 80 e 160
Adubo nitrogenado	Ureia	Ureia	Ureia	Ureia
Período de sombreamento (DAE)	57 a 82	57 a 75	62 a 78	69 a 86
Data da colheita	15/07/2016 (162 DAE)	19/04/2017 (175 DAE)	03/05/2017 (176 DAE)	26/07/2017 (204 DAE)

Tabela 2 – Teores de areia, silte e argila dos solos das áreas experimentais na profundidade de 0-0,2 m

Área experimental	Areia ⁽¹⁾	Argila ⁽¹⁾	Silte ⁽¹⁾	Textura
	(g kg ⁻¹)			
Primavera do Leste/MT	590	303	107	Média
Itapeva/SP (sequeiro)	604	268	128	Média
Itapeva/SP (irrigado)	628	269	103	Média
Chapadão do Sul/MS	58	568	374	Argilosa

⁽¹⁾ Frações determinadas segundo Embrapa (1997).

Tabela 3 – Caracterização química dos solos antes da implantação dos experimentos em Primavera do Leste (I), no ano de 2015, Itapeva nas áreas conduzidas em manejo de sequeiro (II) e irrigado (III), e Chapadão do Sul (IV) em 2016, na profundidade de 0,0–0,2 m

Experimento ⁽⁶⁾	pH	MO ⁽¹⁾	C/N	P _{resina}	S-SO ₄ ²⁻	H+Al	K	Ca	Mg
	(CaCl ₂)	(g dm ⁻³)		(mg dm ⁻³)			(mmol _c dm ⁻³)		
Primavera do Leste (I)	5,2	28	n.d. ⁽⁵⁾	49	9	34	1,3	23,0	9,0
Itapeva (II)	5,6	32	21,6	34	5	13	3,5	61,1	21,7
Itapeva (III)	5,4	26	22,0	84	3	21	3,4	53,5	15,1
Chapadão do Sul (IV)	4,6	34	13,6	33	12	60	1,3	24,0	5,0
	SB ⁽²⁾	CTC ⁽³⁾	N	V ⁽⁴⁾	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	(mmol _c dm ⁻³)		(g kg ⁻¹)	(%)	(mg dm ⁻³)				
Primavera do Leste (I)	33,3	67,3	n.d.	49	73,0	1,60	19,2	8,80	0,50
Itapeva (II)	86,3	99,3	0,86	87	12,3	0,30	2,07	4,25	0,91
Itapeva (III)	72,0	93,0	0,68	77	20,7	0,37	1,78	2,97	1,37
Chapadão do Sul (IV)	30,3	90,3	1,45	34	33,2	0,85	1,57	2,32	1,07

⁽¹⁾ Matéria orgânica do solo.

⁽²⁾ Soma de bases.

⁽³⁾ Capacidade de troca catiônica.

⁽⁴⁾ Saturação por bases.

⁽⁵⁾ n.d. = não disponível.

⁽⁶⁾ Análises químicas realizadas seguindo-se os procedimentos descritos em Raij et al. (2001).

Figura 1 – Temperaturas máximas, médias e mínimas, graus-dia (temperatura base = 15,56 °C) e precipitações diárias em Primavera do Leste (ano de 2016), Itapeva (anos de 2016 e 2017) e Chapadão do Sul (anos de 2016 e 2017)

N_1 e N_2 indicam a 1ª e a 2ª adubação de N em cobertura, respectivamente

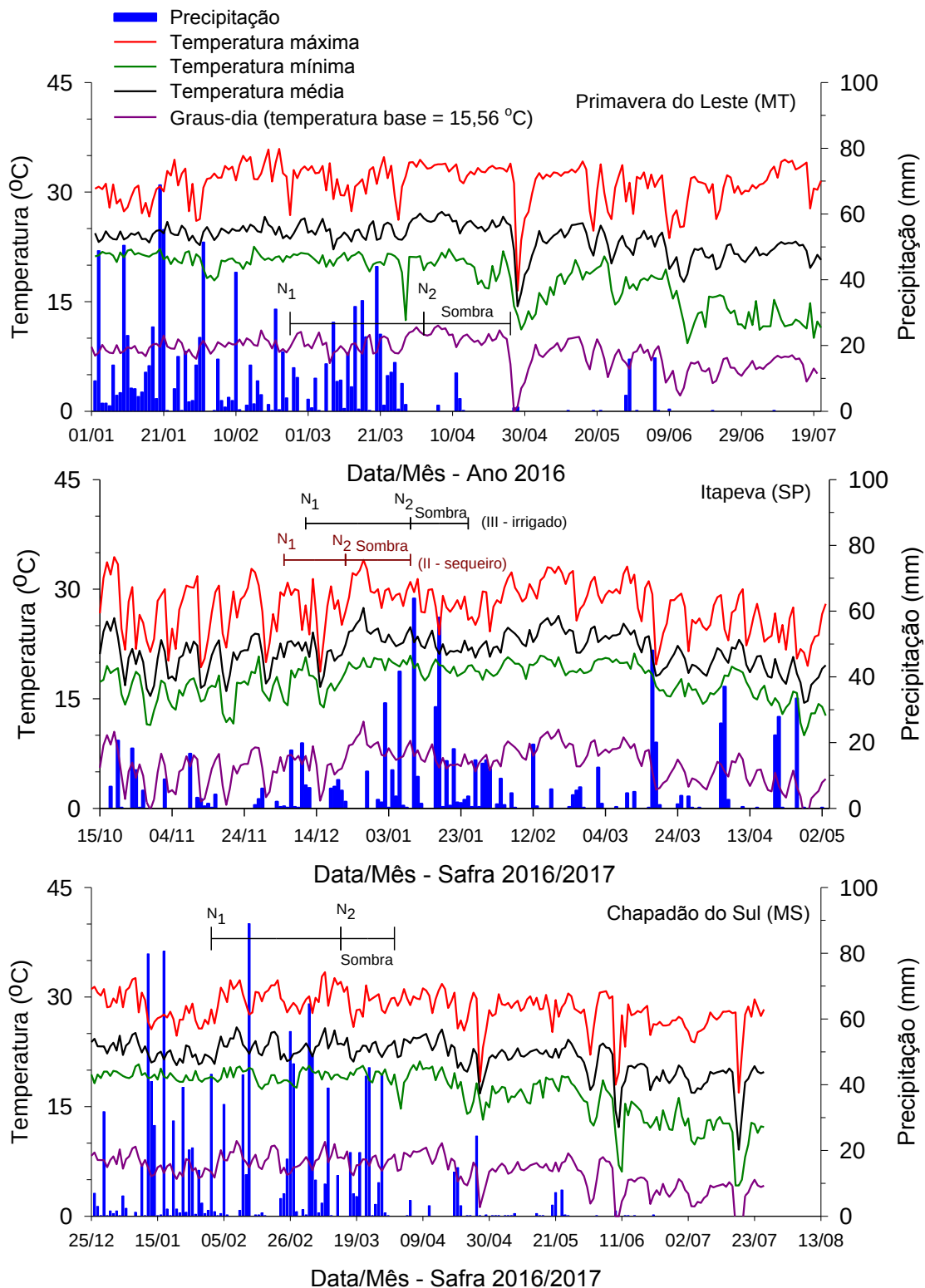


Tabela 4 – Dados mensais de radiação global média diária (Qg), radiação total incidente no topo da atmosfera média diária (Qo) e relação entre radiação global e incidente no topo da atmosfera (Qg/Qo) nos locais de experimentos de algodão

Mês	Qg (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Qo (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Qg/Qo (%)
Primavera do Leste/MT (ano de 2016) ⁽⁶⁾			
jan.	14,5	40,9	35,5
fev.	17,2	39,8	43,3
mar.	17,0	37,0	46,0
abr.	19,8	32,7	60,7
maio	15,7	28,6	54,9
jun.	15,3	26,5	57,7
jul. ⁽¹⁾	17,5	27,5	63,7
Itapeva/SP (safra 2016/2017) ⁽⁷⁾			
out. ⁽²⁾	20,3	39,4	51,5
nov.	20,9	41,7	50,1
dez.	20,3	42,9	47,3
jan.	17,3	42,3	40,9
fev.	21,5	39,9	53,9
mar.	17,0	35,4	48,1
abr.	14,6	27,6	52,9
maio ⁽³⁾	15,9	26,5	60,0
Chapadão do Sul/MS (safra 2016/2017) ⁽⁷⁾			
dez. ⁽⁴⁾	25,5	41,9	60,9
jan.	17,7	41,5	42,6
fev.	22,0	39,9	55,1
mar.	19,4	36,5	53,1
abr.	18,9	31,6	59,8
maio	17,1	27,1	63,1
jun.	15,9	24,9	63,9
jul. ⁽⁵⁾	16,6	25,7	64,6

⁽¹⁾ Até 20 de julho de 2016.

⁽²⁾ A partir de 15 de outubro de 2016.

⁽³⁾ Até 3 de maio de 2017.

⁽⁴⁾ A partir de 25 de dezembro de 2016.

⁽⁵⁾ Até 26 de julho de 2017.

⁽⁶⁾ Dados de estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Mato-grossense do Algodão e Basf no local do experimento.

⁽⁷⁾ Dados de estações automáticas do INMET situadas na região em que se conduziu o experimento.

Tabela 5 – Dados ambientais de radiação global acumulada (Qg), radiação incidente no topo da atmosfera (Qo) acumulada e relação entre radiação global e incidente no topo da atmosfera (Qg/Qo) durante o período de sombreamento artificial nos experimentos.

Experimento	Período de sombreamento	Qg (MJ m ⁻²) ⁽¹⁾	Qo (MJ m ⁻²)	Qg/Qo (%)
Primavera do Leste (I)	01/04/2016 a 25/04/2016 (24 dias)	503,1	796,3	63,2
Itapeva (II)	22/12/2016 a 09/01/2017 (18 dias)	375,9	772,6	48,7
Itapeva (III)	09/01/2017 a 25/01/2017 (16 dias)	299,1	678,1	44,1
Chapadão do Sul (IV)	13/03/2017 a 30/03/2017 (17 dias)	301,3	609,1	49,5

⁽¹⁾ Dados estimados sem sombreamento artificial.

O manejo da lavoura com inseticidas, herbicidas, fungicidas e reguladores de crescimento foi realizado de acordo com o padrão utilizado em lavouras da região, seguindo-se recomendações gerais descritas em Freire (2015). O regulador de crescimento cloreto de mepiquat foi aplicado aos 34 e 55 DAE, conforme recomendações de Echer et al. (2014). Para a desfolha foram aplicados diuron + tidiazuron e para a abertura de frutos foi aplicado o produto hormonal Etephon aos 134 DAE. Os produtos utilizados podem ser consultados no ANEXO A. A colheita foi realizada manualmente aos 162 DAE. Fotos da área experimental nas épocas de sombreamento e de colheita podem ser consultadas no APÊNDICE B.

1.2.3 Experimento II (Itapeva/SP, sequeiro, safra 2016/2017)

O experimento foi realizado em Itapeva/SP, em área de produção comercial pertencente à Fazenda Conquista, sem a utilização de irrigação (sequeiro). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (subtropical, mesotérmico, com verão quente e úmido, e inverno frio e seco), apresentando precipitação anual média de 1300 mm. A estação seca é bem definida e ocorre entre os meses de maio e setembro. A área foi mantida em sistema de manejo de cultivo mínimo, utilizando-se trigo (*Triticum aestivum* L.) como cultura antecessora ao algodoeiro. A semeadura do algodoeiro foi realizada em 19/10/2016, por meio de semeadora-adubadora mecânica, em espaçamento de 0,90 m entre fileiras e 0,14 m entre as plantas da fileira. Foi utilizado o cultivar FM 954 GLT em toda área experimental. Na semeadura, foi realizada adubação com 212 kg ha⁻¹ de MAP (10% de N e 48% de P₂O₅).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de doses de N (0, 60, 120 e 180

kg ha⁻¹) em cobertura na forma de ureia (46% de N) na presença ou ausência de sombra, totalizando 8 tratamentos. As parcelas foram compostas por 4 fileiras de plantas, cada uma com comprimento de 5,0 m. As adubações de cobertura foram parceladas em duas aplicações realizadas manualmente, sendo o fertilizante aplicado sobre a superfície do solo nas linhas das plantas, metade da dose aos 40 (estádios B2-B3) e metade aos 57 DAE, no estágio F1 (MARUR; RUANO, 2001). Na data da primeira adubação de cobertura de N, também foram adicionados manualmente 40 kg K₂O ha⁻¹ via cloreto de potássio. A imposição de sombreamento artificial foi iniciada aos 57 DAE, no mesmo dia da segunda adubação de cobertura. O sombreamento foi mantido por 18 dias.

O manejo da lavoura com inseticidas, herbicidas, fungicidas e reguladores de crescimento foi realizado de acordo com o padrão utilizado em lavouras comerciais da região e seguiu recomendações gerais descritas em Freire (2015). Reguladores de crescimento e produtos para desfolha e abertura de frutos no fim do ciclo utilizados podem ser consultados no ANEXO B. A colheita foi realizada aos 175 DAE. Fotos da área experimental nas épocas de sombreamento e de colheita podem ser consultadas no APÊNDICE C.

1.2.4 Experimento III (Itapeva/SP, irrigado, safra 2016/2017)

O experimento foi conduzido em área comercial localizada na Fazenda Santa Tereza em Itapeva/SP, em área irrigada por sistema de aspersão em esquema de pivô central. Nesta área, também foi cultivado trigo como cultura antecessora ao algodoeiro em sistema de cultivo mínimo. A semeadura do algodoeiro foi em 01/11/2016, por meio de semeadora-adubadora mecânica, em espaçamento entre fileiras de plantas de 0,90 m e espaçamento de 0,145 m entre as plantas da fileira. Foi utilizado o cultivar FM 940 GLT em toda área experimental. Na semeadura, foi realizada adubação com 217 kg ha⁻¹ de MAP (10% de N e 48% de P₂O₅).

As plantas foram mantidas sem deficiência hídrica mediante reposição de água pelo sistema de irrigação por pivô central. Irrigações correspondentes a 8,0; 8,0; 13,6; 13,6; 4,0; 12,0 e 12,0 mm foram aplicadas aos 0, 28, 100, 103, 112, 121 e 136 DAE, respectivamente. No decorrer do ciclo foram aplicados de modo parcelado através de fertirrigação pelo sistema de pivô central ureia, MAP purificado, nitrato de potássio, ácido bórico e sulfato de zinco que, ao final, resultaram nas doses acumuladas de 20, 16, 16, 3 e 2 kg ha⁻¹, respectivamente.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) em cobertura na forma de ureia (46% de N) na presença ou ausência de sombra, totalizando 8 tratamentos. As parcelas foram compostas por 4 fileiras de plantas, cada uma com comprimento de 5,0 m. As adubações nitrogenadas de cobertura foram realizadas manualmente e parceladas em duas aplicações, sendo os fertilizantes aplicados sobre a superfície do solo nas linhas das plantas, metade da dose total testada aos 33 (estádio B1) e metade aos 62 DAE (estádio F1), conforme escala de Marur e Ruano (2001). Na data da primeira adubação de cobertura de N também foram adicionados manualmente 40 kg ha⁻¹ de K₂O via cloreto de potássio em todas as unidades experimentais. O sombreamento artificial foi iniciado aos 62 DAE, no mesmo dia da segunda adubação de cobertura, e mantido por 16 dias. Dados gerais de radiação durante a imposição de sombreamento artificial estão apresentados na Tabela 5.

O manejo da lavoura com inseticidas, herbicidas, fungicidas e reguladores de crescimento foi realizado de acordo com o padrão utilizado em lavouras comerciais da região conforme recomendações gerais descritas em Freire (2015). Reguladores de crescimento e produtos para desfolha e abertura de frutos no fim do ciclo utilizados podem ser consultados no ANEXO C. A colheita foi realizada aos 176 DAE. Fotos da área experimental nas épocas de sombreamento e de colheita podem ser consultadas no APÊNDICE D.

1.2.5 Experimento IV (Chapadão do Sul/MS, safra 2016/2017)

O experimento foi realizado em Chapadão do Sul/MS, em área experimental localizada na fazenda Indaiá I. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com precipitação média anual de 1600 mm. A semeadura do algodoeiro foi realizada após período de pousio durante a primavera, por meio de semeadora-adubadora mecânica, em 29/12/2016, com espaçamento entre fileiras de plantas de 0,9 m e de 0,14 m entre as plantas da fileira. Na semeadura foram adicionados 230 kg ha⁻¹ de MAP (11% de N e 52% de P₂O₅) e, em cobertura, 90 kg ha⁻¹ de K₂O via KCl.

As parcelas consistiram em 5 fileiras de plantas de 5,0 m de comprimento. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 3 x 2, com três repetições. Foram testados doze tratamentos, que constaram da

combinação entre os fatores: presença ou ausência de sombreamento artificial; doses de 0, 80, and 160 kg ha⁻¹ de N em cobertura na forma de ureia (46% de N); e cultivares de ciclo precoce (EB 1405 GLT) ou tardio (FM 983 GLT). O cultivar EB 1405 GLT foi recentemente renomeado como “FM 906 GLT” para fins comerciais. Decidiu-se, no entanto, manter o nome “EB 1405 GLT” vigente no início do trabalho. As doses de N foram parceladas em duas aplicações: metade aos 29 DAE e o restante na abertura das primeiras flores (69 DAE), no mesmo dia do início da imposição de sombreamento. O sombreamento artificial foi mantido por 17 dias. Dados gerais de radiação durante a imposição de sombreamento artificial estão apresentados na Tabela 5.

O manejo da lavoura com inseticidas, herbicidas, fungicidas e reguladores de crescimento foi realizado de acordo com o padrão utilizado em lavouras comerciais da região utilizando-se recomendações gerais descritas em Freire (2015). Reguladores de crescimento e produtos para desfolha e abertura de frutos no fim do ciclo utilizados podem ser consultados no ANEXO D. A colheita foi realizada em 26 de julho de 2017 (204 DAE). Fotos da área experimental nas épocas de sombreamento e de colheita podem ser consultadas no APÊNDICE E.

1.2.6 Avaliação do teor de N foliar

Foram realizadas análises de teor de N foliar. As folhas foram coletadas após a retirada das telas de sombreamento, durante o florescimento, aos 82 (experimento I), 75 (experimento II), 78 (experimento III) e 88 (experimento IV) DAE, selecionando-se 10 (experimentos I, II e III) ou 20 (experimento IV) folhas por parcela. Como folha diagnóstica, coletou-se a quinta folha ligada diretamente à haste principal contada a partir da gema apical. As plantas amostradas para coleta de folhas não compunham a área destinada à colheita de avaliação da produtividade de algodão. As folhas foram lavadas e secas a 60 °C. Os limbos foliares foram isolados do restante da folha, moídos em moinho tipo “Willey” e submetidos à análise de N foliar pelo método de Kjeldahl. Outros nutrientes também foram analisados e as médias de cada tratamento individual estão apresentadas nos APÊNDICES F, G, H e I. Todas as análises foram realizadas seguindo-se procedimentos descritos em Malavolta et al. (1997).

1.2.7 Produtividade, componentes de produção e rendimento de fibra

A produtividade foi determinada colhendo-se 2,0 m (experimento I, Primavera do Leste) ou 3,0 m (experimentos II e III, Itapeva) contínuos de cada uma das duas fileiras centrais em cada parcela. Em Chapadão do Sul (experimento IV), foram escolhidas aleatoriamente em cada parcela duas fileiras centrais, colhendo-se então os capulhos em cada uma delas em 3,0 m contínuos, os quais foram pesados para determinação da produtividade em caroço ($P_{\text{CAROÇO}}$). Durante a colheita, o número de capulhos colhidos foi contado para determinação da massa média de capulho (MC) e do número de capulhos por metro quadrado (Cap m^{-2}). Após a colheita, amostras homogêneas de 150 g algodão em caroço provenientes da produção de cada parcela (amostras de produção geral) foram coletadas, encaminhadas para o descaroçamento por meio de máquina de rolo e tiveram seu rendimento de fibra (RF) determinado. A produtividade de algodão em fibra (P_{FIBRA}) foi calculada a partir da produtividade em caroço e do rendimento de fibra:

$$P_{\text{FIBRA}} = P_{\text{CAROÇO}} \times \text{RF} \quad (1)$$

onde P_{FIBRA} é a produtividade de algodão em fibra ou pluma, após o descaroçamento; $P_{\text{CAROÇO}}$ é a produtividade de algodão em caroço, antes do descaroçamento; e RF é o rendimento de fibra, definido como a proporção de fibra da produção colhida, determinado após o descaroçamento.

1.2.8 Distribuição de capulhos nos sítios de frutificação e avaliações de crescimento final das plantas

No fim do ciclo, foi realizada a avaliação de distribuição de capulhos nas plantas (mapeamento de capulhos). Para a avaliação, foram selecionadas 4 (experimento I), 5 (experimento II) ou 7 (experimentos III e IV) plantas consecutivas em cada parcela, cujos capulhos situados em ramos frutíferos primários (ligados diretamente à haste principal) foram contabilizados e individualizados, por nó da haste principal e posição do ramo. Em seguida, a partir dos dados de capulhos m^{-2} determinados na colheita

de avaliação de produtividade, estimou-se o número de capulhos m^{-2} a cada terço vertical (agrupamentos) da planta, segundo a relação:

$$\text{cap}_{\text{agrupamento}} = \text{cap}_{\text{colheita}} \frac{\text{ncm}_{\text{agrupamento}}}{\text{ncm}_{\text{total}}} \quad (2)$$

onde $\text{cap}_{\text{agrupamento}}$ é o número de capulhos m^{-2} do agrupamento considerado (terço da haste principal) corrigido para proporção do total determinado na colheita de avaliação de produtividade; $\text{cap}_{\text{colheita}}$ é o número de capulhos m^{-2} estimado a partir da colheita em toda área útil na avaliação de produtividade; $\text{ncm}_{\text{agrupamento}}$ é o número de capulhos contados do agrupamento específico analisado (terço inferior, por exemplo) no mapeamento de capulhos; e $\text{ncm}_{\text{total}}$ é o número total de capulhos, contado durante o mapeamento, da amostra destinada à avaliação dos agrupamentos.

Nas mesmas plantas amostradas para o mapeamento de capulhos, também foram realizadas medições de crescimento final. Foi determinada a altura final de plantas (AP) e foram contados o número total de nós (NT) e o último nó da haste principal (mais próximo da gema apical) contendo ramo com produção de capulho colhida, ao qual foi atribuída neste trabalho a denominação de “último nó produtivo” (UNP).

Em virtude das variações encontradas nas distribuições de capulhos, optou-se por atribuir para cada experimento um particular conjunto de agrupamentos de nós da haste principal representativos das frações inferior, média e superior da planta, ao invés de se empregarem os mesmos agrupamentos para todos os experimentos. Para determinar os agrupamentos dos nós indicativos de cada terço nos experimentos, foram considerados o crescimento, a capacidade produtiva das plantas, assim como a própria distribuição de capulhos dos ramos frutíferos primários ao longo da haste principal, para que não houvesse repetições de qualquer um dos tratamentos sem contagem de capulhos em qualquer um dos terços da planta. No experimento I (Primavera do Leste), os terços inferior, médio e superior foram, respectivamente, representados pelos ramos situados abaixo do 10º nó da haste principal (nós ≤ 9); ramos entre o 10º e o 12º nó (nós 10 a 12); e ramos acima do 12º nó (nós ≥ 13). Para os experimentos II e III (Itapeva), adotou-se um

segundo critério para ambos os experimentos para os terços inferior (nós ≤ 11), médio (nós 12 a 16) e superior (nós ≥ 17). No experimento IV (Chapadão do Sul), os agrupamentos também foram modificados para os terços inferior (nós ≤ 10), médio (nós 11 a 13) e superior (nós ≥ 14). Também foram contabilizados, como uma única categoria à parte, os capulhos provenientes de ramos simpodiais desenvolvidos em ramos vegetativos ou monopodiais (MON). Para uma compreensão mais detalhada dos resultados de cada fração, em todos os experimentos a distribuição em cada terço também foi subdividida em grupos de primeira (P1), segunda (P2) e terceira ou demais posições (P3+) dos ramos simpodiais diretamente ligados à haste principal.

1.2.9 Análise dos dados

Os testes de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e Levene ($p < 0,05$) foram previamente realizados para avaliações de normalidade e homocedasticidade dos dados, respectivamente, os quais foram transformados quando necessário para atender às pressuposições da análise de variância (McDONALD, 2014). Os resultados foram então submetidos à análise de variância fatorial para avaliação dos efeitos dos tratamentos em cada experimento pelo teste F ao nível de significância de 5% (F, $p < 0,05$). Condições de sombreamento, doses de N em cobertura e cultivares foram considerados efeitos fixos. As médias dos fatores e interações que resultaram em F significativo foram comparadas pelo teste t (DMS, $p < 0,05$). Para avaliar a influência da adubação nitrogenada sobre a produtividade em caroço e em fibra sobre o número de capulhos m^{-2} das plantas com e sem sombreamento artificial, os resultados de cada tratamento individual foram submetidos à análise de regressão não linear, adotando-se o modelo exponencial de Mitscherlich proposto por Pimentel-Gomes (2009), adaptado para a base logarítmica natural:

$$y = A\{1 - \exp[-c(x + b)]\}$$

onde “y” é a produtividade estimada, “A” é produtividade máxima teórica possível, “b” é o indicador da disponibilidade do nutriente no solo, “c” é o coeficiente de eficácia e “x” é a dose de N. Resultados de massa média de capulho de planta, rendimento de

fibra, altura de plantas, número total de nós da haste principal, último nó produtivo e nitrogênio foliar foram submetidos às análises de regressão quadrática e linear em função das doses de N. As análises estatísticas foram realizadas sobre dados coletados dentro de um mesmo experimento. Foram utilizados os procedimentos Proc GLM, Proc MODEL e Proc NLIN do sistema estatístico SAS, versão 9.2 (SAS Institute, Carolina do Norte, E.U.A.).

1.3 Resultados

1.3.1 Resultados gerais das análises de variância e interações: crescimento e componentes de produção

Não houve interação significativa nas avaliações de produtividade, componentes de produção, rendimento de fibra, contagem de nós totais e último nó produtivo em qualquer um dos experimentos, ao passo que foi encontrada interação para altura de plantas somente no experimento II (Tabela 6) em Itapeva (sequeiro).

No experimento de Chapadão do Sul, o sombreamento resultou em efeitos significativos ($p < 0,05$) no número de capulhos m^{-2} e na produtividade em caroço e em fibra. Em Primavera do Leste (experimento I), além dessas três avaliações citadas, foram também constatados efeitos sobre a massa média de capulho e o rendimento de fibra (Tabela 6). No experimento II (Itapeva, sequeiro), o sombreamento não afetou a produtividade em qualquer um dos componentes de produção, mas foram encontrados efeitos sobre o número de nós totais e a altura de plantas (Tabela 6).

Não houve efeito geral do sombreamento sobre a produtividade em caroço e em fibra, o número de capulhos por área, a massa média do capulho, a altura de plantas, o número de nós totais e o último nó com ramo produtivo na área de Itapeva conduzida com irrigação (experimento III). Porém, observou-se nesse experimento que, mesmo sem interação significativa ($p = 0,138$), o teste F realizado a partir do desdobramento da análise de variância dos componentes de produção resultou em probabilidade de significância (p) de 0,055 na condição sem adubação nitrogenada de cobertura para produtividade em caroço e de 0,056 para produtividade em fibra (Tabela 7). Devido à importância da avaliação da produtividade final de algodão e à grande proximidade do nível de significância de 5%, essas diferenças encontradas na análise desdobrada (Tabela 7) foram consideradas para fins de apresentação e

discussão. Uma situação similar foi observada na dose de 60 kg ha⁻¹, embora neste caso a diferença tenha sido menos significativa de acordo com o desdobramento.

Tabela 6 – Probabilidades de significância dos valores de F (p) da análise de variância da produtividade de algodão em caroço (P_{CAROÇO}), número de capulhos por m² (Cap m⁻²), massa média de capulho (MC), rendimento de fibra (RF), produtividade de algodão em fibra (P_{FIBRA}) altura de plantas (AP), número de nós totais (NT) e último nó com ramo produtivo na haste principal (UNP) nos experimentos de campo

Efeito	P _{CAROÇO}	Cap m ⁻²	MC	RF	P _{FIBRA}	AP	NT	UNP
Experimento I (Primavera do Leste)								
Sombra (A)	0,023	0,001	<0,001	0,001	0,044	0,509	0,459	0,521
Dose de N (B)	<0,001	<0,001	0,110	0,044	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A x B	0,651	0,700	0,926	0,232	0,738	0,695	0,887	0,972
Experimento II (Itapeva – sequeiro)								
Sombra (A)	0,674	0,453	0,498	0,210	0,609	<0,001	0,023	0,282
Dose de N (B)	<0,001	0,011	0,198	0,465	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
A x B	0,414	0,692	0,193	0,560	0,885	0,049	0,937	0,308
Experimento III (Itapeva – irrigado)								
Sombra (A)	0,259	0,172	0,607	0,125	0,115	0,491	0,664	0,954
Dose de N (B)	<0,001	<0,001	0,759	0,023	<0,001	<0,001	0,001	<0,001
A x B	0,138	0,506	0,400	0,703	0,264	0,602	0,993	0,803
Experimento IV (Chapadão do Sul)								
Sombra (A)	0,020	0,013	0,998	0,319	0,017	0,200	0,684	0,892
Dose de N (B)	0,033	0,002	0,049	0,462	0,040	0,003	0,821	0,002
Cultivar (C)	0,167	0,292	<0,001	0,181	0,137	<0,001	<0,001	0,038
A x B	0,644	0,781	0,101	0,573	0,614	0,869	0,068	0,995
A x C	0,382	0,244	0,337	0,631	0,352	0,753	0,178	0,550
B x C	0,934	0,441	0,249	0,241	0,906	0,220	0,060	0,664
A x B x C	0,754	0,679	0,810	0,581	0,734	0,373	0,277	0,257

As análises desdobradas de produtividade e componentes de produção dos demais experimentos não foram incluídas neste trabalho visto que efeitos significativos do sombreamento foram detectados na análise não desdobrada (experimentos I e IV) apresentada na Tabela 6 ou, quando não detectados (experimento II), não resultaram em efeito significativo próximo a 5% em qualquer uma das doses de N ou cultivares testados. Em todos os experimentos, houve efeito significativo de doses de N em cobertura sobre a produtividade de algodão (em caroço e em fibra), número de capulhos por unidade de área, altura de plantas e último nó com ramo produtivo. A adubação nitrogenada não resultou em efeitos

significativos sobre o número total de nós apenas no experimento IV (Chapadão do Sul), ao passo que a presença de efeitos significativos sobre o rendimento de fibra e a massa média de capulho variou entre experimentos (Tabela 6).

Tabela 7 – Probabilidades de significância dos valores de F (p) provenientes do desdobramento da análise de variância por dose de N em cobertura da produtividade de algodão em caroço ($P_{\text{CAROÇO}}$) e em fibra (P_{FIBRA}), número de capulhos por m^2 (Cap m^{-2}) e massa média de capulho (MC). Experimento III. Itapeva (irrigado), SP (2017)

Dose de N (kg ha^{-1})	$P_{\text{CAROÇO}}$	Cap m^{-2}	MC	P_{FIBRA}
0	0,055	0,350	0,391	0,056
60	0,135	0,100	0,636	0,137
120	0,700	0,668	0,926	0,746
180	0,388	0,571	0,140	0,549

1.3.2 Produtividade, número e massa média de capulhos

Em Primavera do Leste (experimento I), as produtividades de algodão foram inferiores às dos demais experimentos. Considerando-se todas as doses de N, estimou-se uma média de 2165 kg ha^{-1} de algodão em caroço na condição não restritiva de luz (sem sombreamento artificial) no ano de 2016, um valor baixo que pode ter decorrido da falta de chuvas, principalmente a partir do mês de abril (Figura 1), período de enchimento de frutos (Figura 2A). Como efeito geral, o sombreamento reduziu em 11,7% a produtividade em caroço, em 10,1% a produtividade em fibra e em 15,9% o número de capulhos por área. Esses efeitos podem ter favorecido o aumento da massa de capulhos em 5%, o qual, no entanto, foi pequeno, de apenas 0,17 gramas (Figura 2D). As produtividades médias neste experimento foram incrementadas, mas em taxas gradativamente decrescentes conforme se aumentou a dose de N (Figuras 2A e 2B). Nas parcelas mais produtivas, o número de capulhos por metro quadrado esteve aproximadamente entre 60 e 70, ao passo que na ausência de N, entre 40 e 50 (Figura 2C). As doses de N não interferiram na massa média de capulho (Figura 2D).

No experimento II (Itapeva, sequeiro), as produtividades em caroço e em fibra aumentaram entre a testemunha e a dose de 60 kg ha^{-1} N, a partir da qual foram mantidas praticamente constantes (Figuras 3A e 3B). O número de capulhos m^{-2} foi inferior na ausência de adubação nitrogenada e atingiu valores máximos em torno

de 120 kg ha⁻¹ de N (Figura 3C), embora no teste de comparação de médias não tenha sido encontrada diferença significativa em comparação às demais doses de N acima de 0 kg ha⁻¹. Em geral, as produtividades foram altas, inclusive sem adubação nitrogenada, quando as médias estiveram em aproximadamente 4900 kg ha⁻¹ em caroço e 2270 kg ha⁻¹ em fibra. Nas demais doses, os resultados foram semelhantes, com média geral de 5672 kg ha⁻¹ em caroço e 2671 kg ha⁻¹ em fibra (Figuras 3A e 3B). O aumento de produtividade nas parcelas adubadas com N em cobertura em comparação às não adubadas decorreu principalmente do número de capulhos por área, que variou entre 105 e 125 m⁻² (Figura 3C). Quando não foi realizada adubação de N em cobertura, houve uma diminuição média de aproximadamente 15 capulhos m⁻², equivalente a uma redução de 13,6%. Os capulhos apresentaram massa média geral de 4,55 gramas, não sendo afetada nem pelo sombreamento nem pela adubação nitrogenada (Figura 3D).

No experimento III (Itapeva, irrigado), a adubação nitrogenada resultou em efeitos significativos na produtividade (em caroço e em fibra) e no número de capulhos (Tabela 6), que foram, desconsiderando-se as condições de sombreamento, aumentados significativamente até a dose de 120 kg ha⁻¹ (Figuras 4A, 4B e 4C). A massa média de capulho não foi afetada, porém, pela adubação nitrogenada (Tabela 6, Figura 4D). Nas Figuras 4A e 4B podem ser observados os valores obtidos a partir da análise de variância desdobrada da produtividade dos componentes de produção (Tabela 7). O sombreamento resultou em diminuição de aproximadamente 388 kg ha⁻¹ (9,5%) na produtividade de algodão em caroço e de 198 kg ha⁻¹ (10%) em fibra na ausência de adubação nitrogenada. Este efeito foi parcialmente causado tanto por variações no número de capulhos por área quanto na massa média de capulho, visto que nenhuma das duas propriedades foi afetada diretamente de modo significativo (Tabela 7), embora a produtividade tenha sido mais influenciada pelo número de capulhos. A massa média de capulho não foi afetada pelo sombreamento em quaisquer doses de N testadas (Tabela 7, Figura 4D).

Na condição sem adubação nitrogenada em cobertura, o número de capulhos por área foi reduzido em 13 e 28% em comparação às doses de 60 e ao valor médio obtido com as doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 4C), no experimento III. Pode-se considerar que o algodoeiro foi altamente responsivo ao N, resultando em altas produtividades em condições não limitantes do nutriente. As

médias de número de capulhos m^{-2} variaram entre 95 e 133, considerando-se a condição sem N e as doses de maiores produtividades (120 e 180 kg ha^{-1}), respectivamente (Figura 4C). Os capulhos apresentaram massa média geral de 4,16 gramas, um valor relativamente baixo, uma característica do cultivar utilizado (FM 940 GLT), que produz capulhos com sementes relativamente pequenas.

No experimento IV, a produtividade final em caroço e o número de capulhos por área não foram afetados pelo cultivar, ao passo que houve efeito devido à dose de N (Tabela 6). A massa de capulho, por outro lado, foi afetada pelo cultivar e pela dose de N, mas não pelo sombreamento (Tabela 6). Considerando-se as médias gerais estimadas de produtividade em caroço de 4101,92 kg ha^{-1} , produtividade em fibra de 1590,37 kg ha^{-1} e do número de 84,08 capulhos m^{-2} a partir dos resultados de cada tratamento (Figuras 5A, 5B e 5C) na ausência de restrição luminosa, o sombreamento resultou em, respectivamente, reduções de 11,1, 11,6 e 11,3%.

As produtividades em caroço e em fibra no experimento IV foram, em média, reduzidas quando não houve adubação nitrogenada em, respectivamente, 11,7 e 12,2% comparadas ao valor obtido na dose de 80 kg ha^{-1} , e em 14,4 e 14,0% em comparação à obtida com 160 kg ha^{-1} de N (Figuras 5A e 5B). Observou-se também, em geral, um aumento da quantidade de capulhos até a dose 80 kg ha^{-1} de N (Figura 5C). As médias gerais de massa média de capulho nas condições de ausência e presença de sombreamento artificial foram praticamente iguais, em torno de 4,90 g, ao passo que houve redução da massa média de capulho conforme a dose de N foi aumentada, constatada pela diferença significativa ao nível de significância de 5% entre a dose de 160 kg ha^{-1} e a testemunha sem N em cobertura (Tabela 6, Figura 5D).

Comparando-se os genótipos testados no experimento IV, não foram encontradas diferenças significativas para produtividade (em caroço e em fibra) e número de capulhos, ao passo que a massa média de capulho do cultivar EB 1405 GLT (5,18 g) foi 10% superior à constatada para FM 983 GLT (Tabela 6, Figura 5).

Figura 2 – Produtividade de algodão em caroço (A) e em fibra (B), número de capulhos m⁻² (C) e massa média de capulho (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento I, Primavera do Leste, MT (2016), cultivar TMG 45 B2RF

*** Significativo ao nível de 5% de probabilidade**
Barras de erro indicam o erro padrão da média

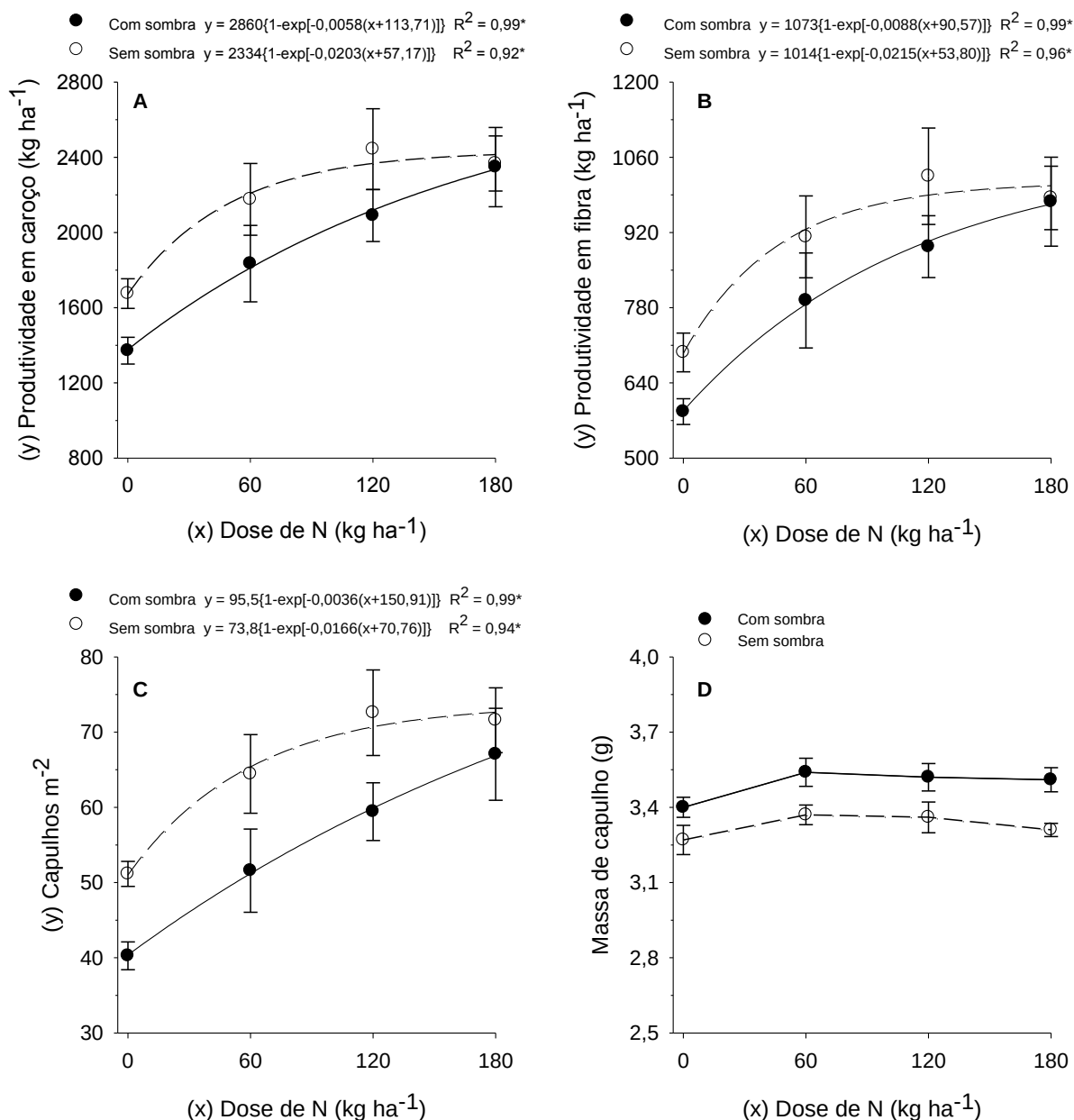


Figura 3 – Produtividade de algodão em caroço (A) e em fibra (B), número de capulhos m⁻² (C) e massa média de capulho (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento II, Itapeva (sequeiro), SP (2017), cultivar FM 954 GLT

n.s.: Regressão não significativa

*** Significativo ao nível de 5% de probabilidade**

Barras de erro indicam o erro padrão da média

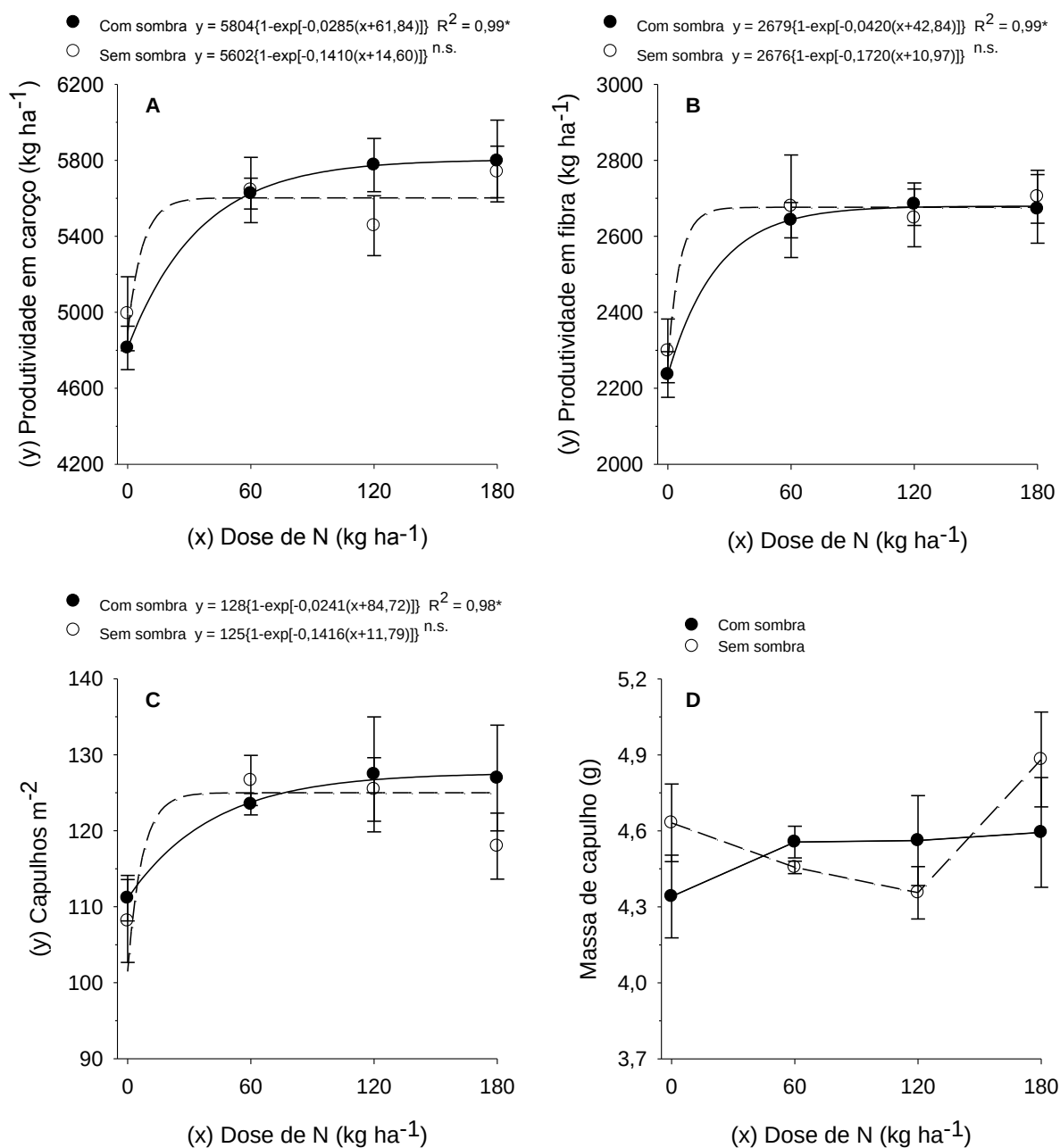


Figura 4 – Produtividade de algodão em caroço (A) e em fibra (B), número de capulhos m⁻² (C) e massa média de capulho (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento III, Itapeva (irrigado), SP (2017), cultivar FM 940 GLT

*** Significativo ao nível de 5% de probabilidade**
Barras de erro indicam o erro padrão da média

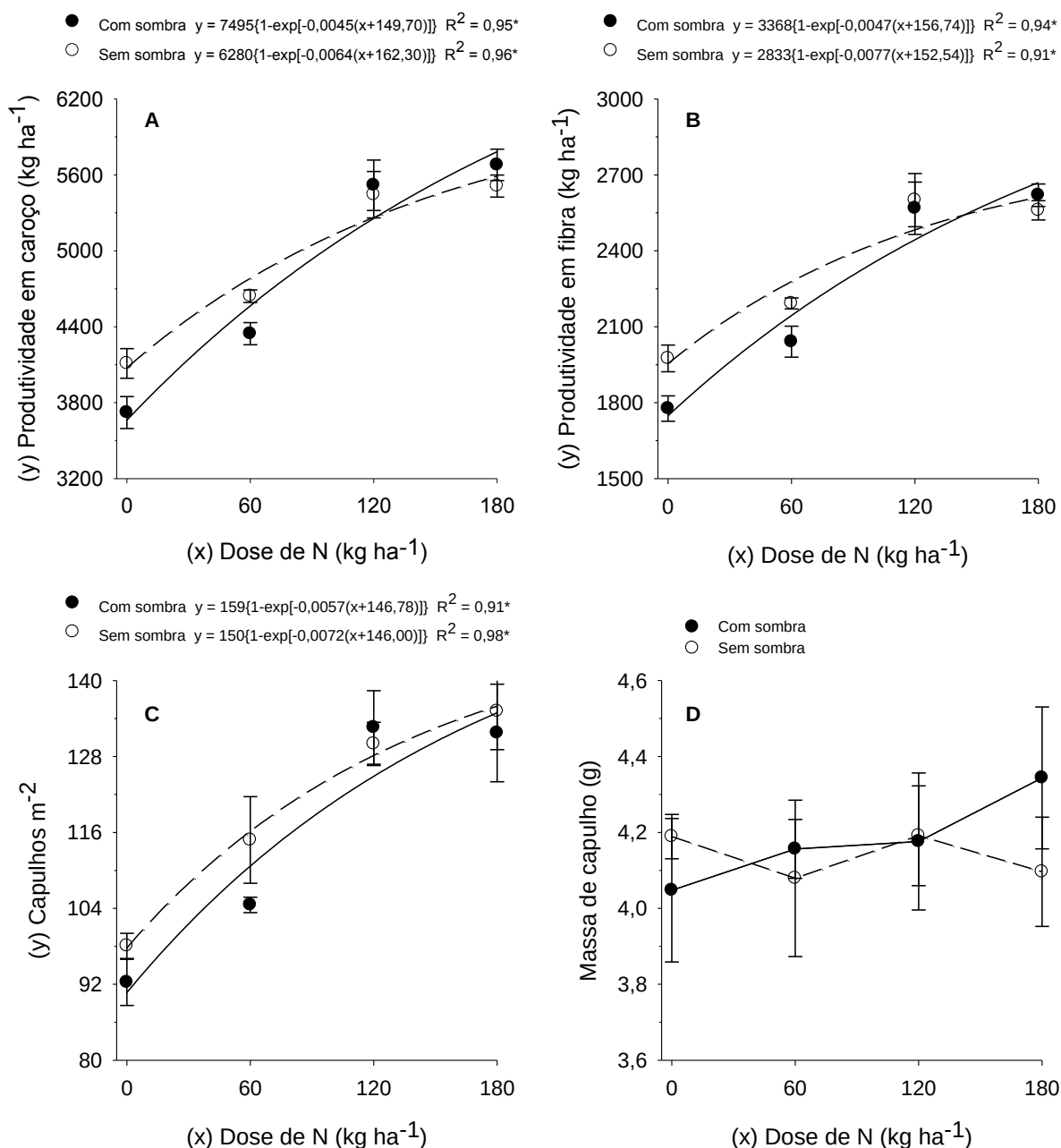
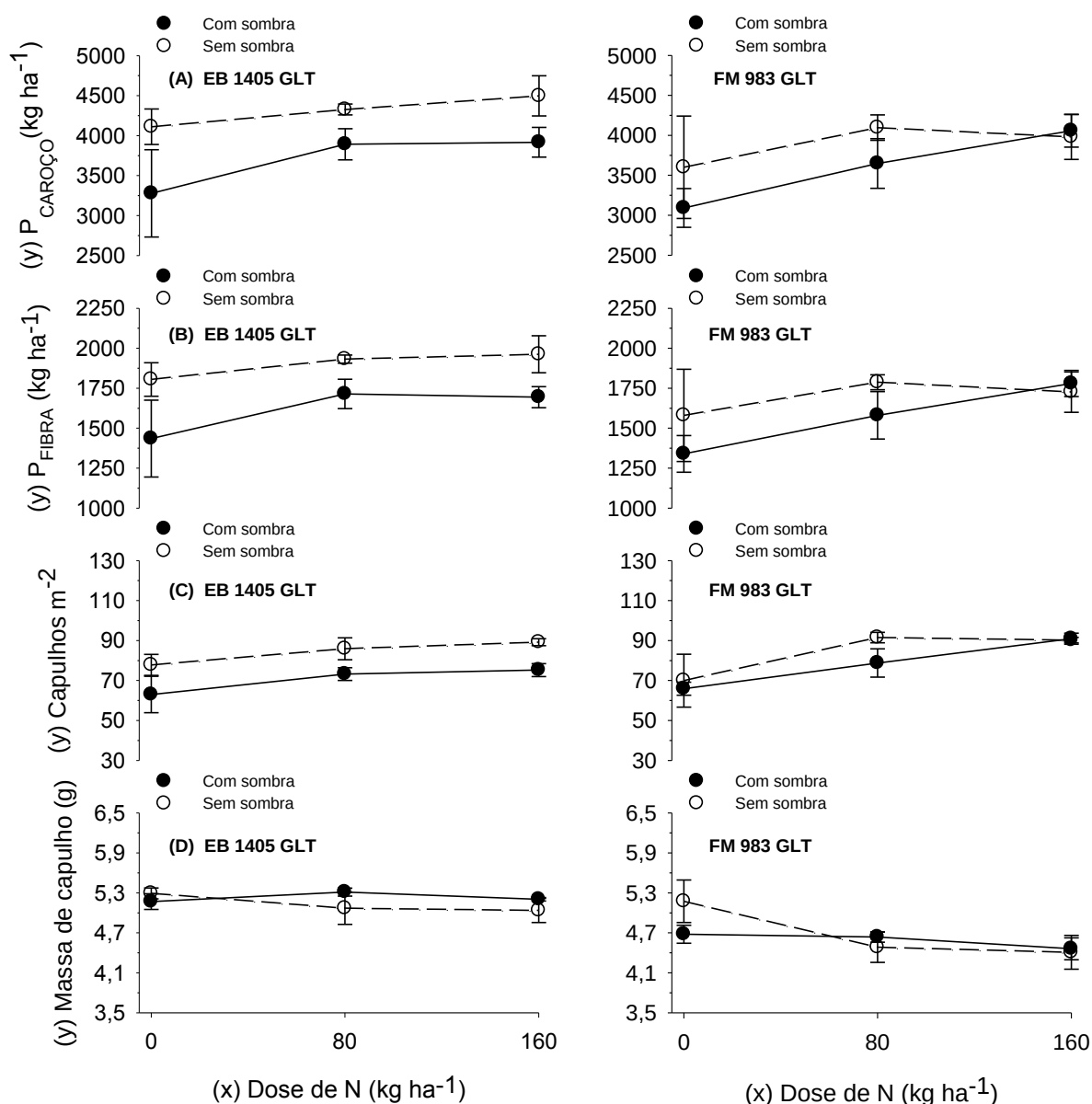


Figura 5 – Produtividade de algodão em caroço ($P_{\text{CAROÇO}}$, A) e em fibra (P_{FIBRA} , B), número de capulhos m^{-2} (C) e massa média de capulho (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento IV, Chapadão do Sul, MS (2017). Cultivares EB 1405 GLT (ciclo precoce) e FM 983 GLT (ciclo tardio)

Barras de erro indicam o erro padrão da média



As regressões exponenciais para os resultados de produtividade de algodão em caroço e em fibra e para número de capulhos m^{-2} em função das doses de N pela equação de Mitscherlich foram significativas ao nível de probabilidade de 5% na presença e na ausência de sombreamento nos experimentos I (Primavera do Leste) e III (Itapeva, irrigado). No experimento II (Itapeva, sequeiro), o ajuste foi significativo apenas na condição sombreada. No experimento IV (Chapadão do Sul), diferentemente dos demais experimentos, as regressões exponenciais não se ajustaram aos dados de produtividade em caroço e em fibra e de número de capulhos m^{-2} em cada cultivar. Os resultados de massa média de capulho não se ajustaram às análises de regressão linear ou quadrática em nenhum dos experimentos e, por isso, foram apresentados graficamente em seus valores originais, sem as respectivas equações.

A partir dos valores de produtividade e demais componentes de produção de cada unidade experimental do experimento I (Primavera do Leste) apresentados nas Figura 2, nota-se que as médias de produtividade de algodão em caroço e em fibra e de número de capulhos m^{-2} de plantas sombreadas e não sombreadas resultaram em diferenças mais perceptíveis até a dose de N de 120 kg ha^{-1} e foram muito próximas entre si na dose de 180 kg ha^{-1} . Nas plantas não sombreadas, os incrementos de produtividade e de número de capulhos foram bem visíveis até a dose de 120 kg ha^{-1} , ao passo que nas sombreadas os incrementos foram aproximadamente constantes até 180 kg ha^{-1} de N, similarmente a um ajuste linear. A partir das equações ajustadas estimou-se que para atingir 95% do máximo teórico de plantas não sombreadas seriam necessários, respectivamente em plantas não sombreadas e sombreadas, quantidades aproximadas de N de 60 e 144 kg ha^{-1} para algodão em caroço; e 85 e 168 kg ha^{-1} para produtividade em fibra. Os valores máximos teóricos máximos são representados pelo coeficiente “A” das equações exponenciais ajustadas, que foram, em plantas não sombreadas, 2334 e 1014 kg ha^{-1} para produtividade em caroço e em fibra, respectivamente (Figuras 2A e 2B).

No experimento II (Itapeva, sequeiro), observou-se na ausência de sombreamento um pequeno decréscimo dos valores médios na dose de 120 kg ha^{-1} de N, verificando-se ausência de estimativas significativas para as respectivas equações determinadas por regressão não linear (Figuras 3A, 3B e 3C). Adicionalmente, independentemente das condições de sombreamento, as médias de

cada unidade experimental estiveram muito próximas entre si dentro de cada dose testada.

No experimento III (Itapeva, irrigado), as regressões exponenciais evidenciaram uma alta capacidade de resposta das plantas sombreadas à adubação nitrogenada nas doses mais altas (Figuras 4A e 4B). Essa capacidade é constatada pelas doses de N próximas para atingir altas produtividades nas condições com e sem sombra determinadas pelas equações. As doses aproximadas de 118 kg ha^{-1} e 120 kg ha^{-1} de N foram estimadas para a obtenção de produtividade em caroço de 5248 kg ha^{-1} na presença e ausência de sombra, respectivamente. Para produtividade de 2500 kg ha^{-1} de algodão em fibra, estimaram-se doses de N de 135 e 128 kg ha^{-1} nas condições com e sem sombra, respectivamente.

Para o experimento IV (Chapadão do Sul), devido à ausência de ajuste significativo, optou-se por representar graficamente os resultados de cada unidade experimental discriminados por cultivar com seus valores originais sem as equações de regressão. Verificaram-se na Figura 5 valores muito mais próximos entre plantas sombreadas e não sombreadas quanto a resultados de produtividade e número de capulhos m^{-2} no cultivar FM 983 GLT na dose máxima de N testada (160 kg ha^{-1}), quando comparado a EB 1405 GLT, fenômeno provavelmente relacionado às características de ciclo e distribuição de capulhos nos sítios de frutificação.

1.3.3 Rendimento de fibra

Os resultados de rendimento não seguiram o mesmo padrão de variação nos diferentes experimentos (Tabela 6). Os valores não se ajustaram às regressões linear e quadrática em nenhum dos experimentos realizados, optando-se por apresentar graficamente somente os valores originais de cada tratamento (Figuras 6A, 7A, 8A e 9A).

Em Primavera do Leste, as plantas sombreadas produziram capulhos com maior rendimento de fibra segundo o teste de comparação, mas a variação foi, em média, pequena (Tabela 6, Figura 6A). Nota-se, porém uma diferença de aproximadamente 1,5% nas duas doses mais baixas entre plantas sombreadas e não sombreadas. Na dose máxima de N de 180 kg ha^{-1} , houve queda do rendimento de fibra independentemente das condições de sombreamento para aproximadamente 41,5% (Figura 6A). No experimento II (Itapeva, sequeiro), os capulhos apresentaram rendimento de fibra acima de 45%, mas não houve influência do sombreamento nem

da adubação nitrogenada (Tabela 6, Figura 7A). No experimento III (Itapeva, irrigado), os percentuais de rendimento de fibra também foram altos (acima de 46%), notando-se redução na dose máxima de N. Na presença e na ausência de sombreamento artificial, os rendimentos de fibra superaram 47,5% na condição sem adubação de cobertura, decrescendo para menos de 46,5% na dose de N de 180 kg ha⁻¹ (Figura 8A).

As médias relativamente altas de rendimento de fibra nos experimentos devem-se, em parte, ao método de beneficiamento. O descaroçamento em máquinas de rolo utilizado nos experimentos resulta em rendimento de fibra superior entre 0,9 e 2,5% em comparação às de serra (SLUIJS, 2015; WANJURA et al., 2012), que são as mais empregadas no beneficiamento do algodão de áreas comerciais no Brasil.

Em Chapadão do Sul, não houve efeitos significativos do sombreamento, doses de N e cultivares sobre o rendimento de fibra, (Tabela 6), com valores variando entre 43 e 45% (Figura 9A). Os valores de rendimento de fibra dos dois cultivares são similares segundo informações do detentor, aproximadamente 41% em máquinas de serra.

1.3.4 Altura de plantas, número de nós e último nó da haste

No experimento I (Primavera do Leste), os valores de altura, número total de nós e último nó com ramo simpodial produtivo aumentaram entre as doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ (Figuras 6B, 6C e 6D). Em geral, a cada adição de 60 kg ha⁻¹ de N, houve aumento pouco inferior a 1 nó total por planta (Figura 6C) e aumento em torno de 0,5-0,6 nós na média do valor do último nó produtivo da planta (Figura 6D). O número final de nós, sempre abaixo de 18, independentemente da dose de N, foi relativamente baixo em comparação a lavouras produtivas, em que comumente se observam entre 20 e 25 nós finais. Os dados de altura de plantas, número total de nós e nó do último ramo frutífero produtivo resultaram em regressões lineares significativas nas condições com e sem sombra em função das doses de N, com valores muito próximos entre si de coeficientes linear e angular.

No experimento II (Itapeva, sequeiro), o sombreamento aumentou o número total de nós em uma média geral de 0,7 unidades, mas não alterou o valor do último nó produtivo, com valor médio próximo a 17 (Tabela 6, Figuras 7C e 7D). O sombreamento resultou em maior altura de plantas nas doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ (Tabela 6, Figura 7B). A altura das plantas aumentou linearmente na condição

sombreada em uma taxa de 0,066 m a cada aumento de 60 kg ha⁻¹ na dose de N, ao passo que em plantas sem sombreamento artificial o valor máximo foi atingido a 120 kg ha⁻¹ e mantido na dose mais alta, o que resultou em ajuste significativo a uma regressão polinomial quadrática (Figura 7B). Tanto na presença como na ausência de sombra, as variações no número total de nós possibilitaram regressões lineares significativas, crescentes em 0,9 nós a cada aumento de 60 kg ha⁻¹ na dose de N em cobertura (Figura 7C). Houve aumento de médio 1,5 e 2,2 nós para o último nó com ramo simpodial produtivo da planta nas duas maiores doses (120 e 180 kg ha⁻¹) em comparação às doses de 0 e 60 kg ha⁻¹, respectivamente. O aumento da posição do último nó da haste principal com ramo produtivo também possibilitou regressões lineares significativas, embora com menor proximidade em relação aos dados de avaliação quando comparadas, neste experimento, com as determinadas para número total de nós (Figura 7D).

No experimento III (Itapeva, irrigado), a altura de plantas atingiu pouco mais de 1,0 m nas maiores doses de N. Sem adubação nitrogenada, as plantas ficaram próximas a 0,7 m de altura e na dose de 60 kg ha⁻¹ pouco acima de 0,8 m, o que indica desenvolvimento vegetativo limitado em comparação às doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ (Figura 8B). As duas maiores doses de N também aumentaram o número total de nós e o valor da posição do último nó com ramo produtivo em aproximadamente duas unidades (Figuras 8C e 8D). Dentro de cada dose de N, as plantas sombreadas e não sombreadas apresentaram altura final, número total de nós e posição do nó do último ramo produtivo muito próximos entre si (Figuras 8B, 8C e 8D), sempre com análises de regressão linear significativas.

No experimento IV, a altura final das plantas não foi afetada pelo sombreamento, mas variou significativamente em função de cultivares e doses de N (Tabela 6). Considerando-se a média geral de 1,02 m do cultivar FM 983 GLT, o cultivar de ciclo precoce (EB 1405 GLT) apresentou altura aproximadamente 16% inferior, efeito que pode ser notado na Figura 9B. As plantas apresentaram altura relativamente baixa para o espaçamento de 0,9 m, não ultrapassando 1,10 m. As plantas do cultivar EB 1405 GLT geralmente apresentaram altura inferior a 0,90 m. Comparando-se as alturas nas condições com e sem sombra, os valores ligeiramente superiores nas plantas sombreadas não foram suficientes para resultar em efeito significativo (Tabela 6, Figura 9B).

Figura 6 – Rendimento de fibra (A), altura de plantas (B), número total de nós (C) e último nó com ramo produtivo (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento I, Primavera do Leste, MT (2016), cultivar TMG 45 B2RF

*** Significativo ao nível de 5% de probabilidade**
Barras verticais indicam o erro padrão da média

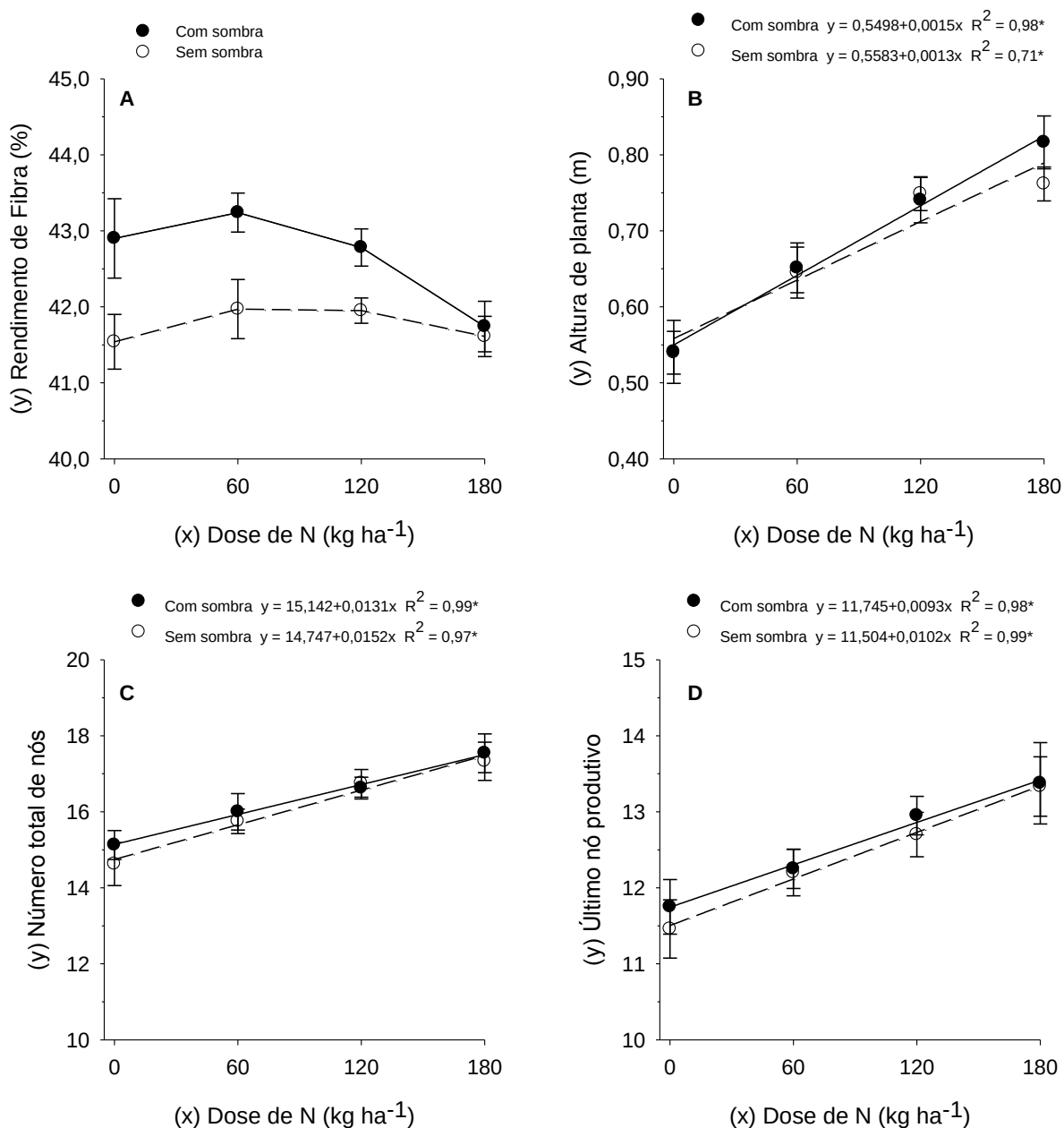


Figura 7 – Rendimento de fibra (A), altura de plantas (B), número total de nós (C) e último nó com ramo produtivo (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento II, Itapeva (sequeiro), SP (2017), cultivar FM 954 GLT

*** Significativo ao nível de 5% de probabilidade**

Barras verticais indicam o erro padrão da média

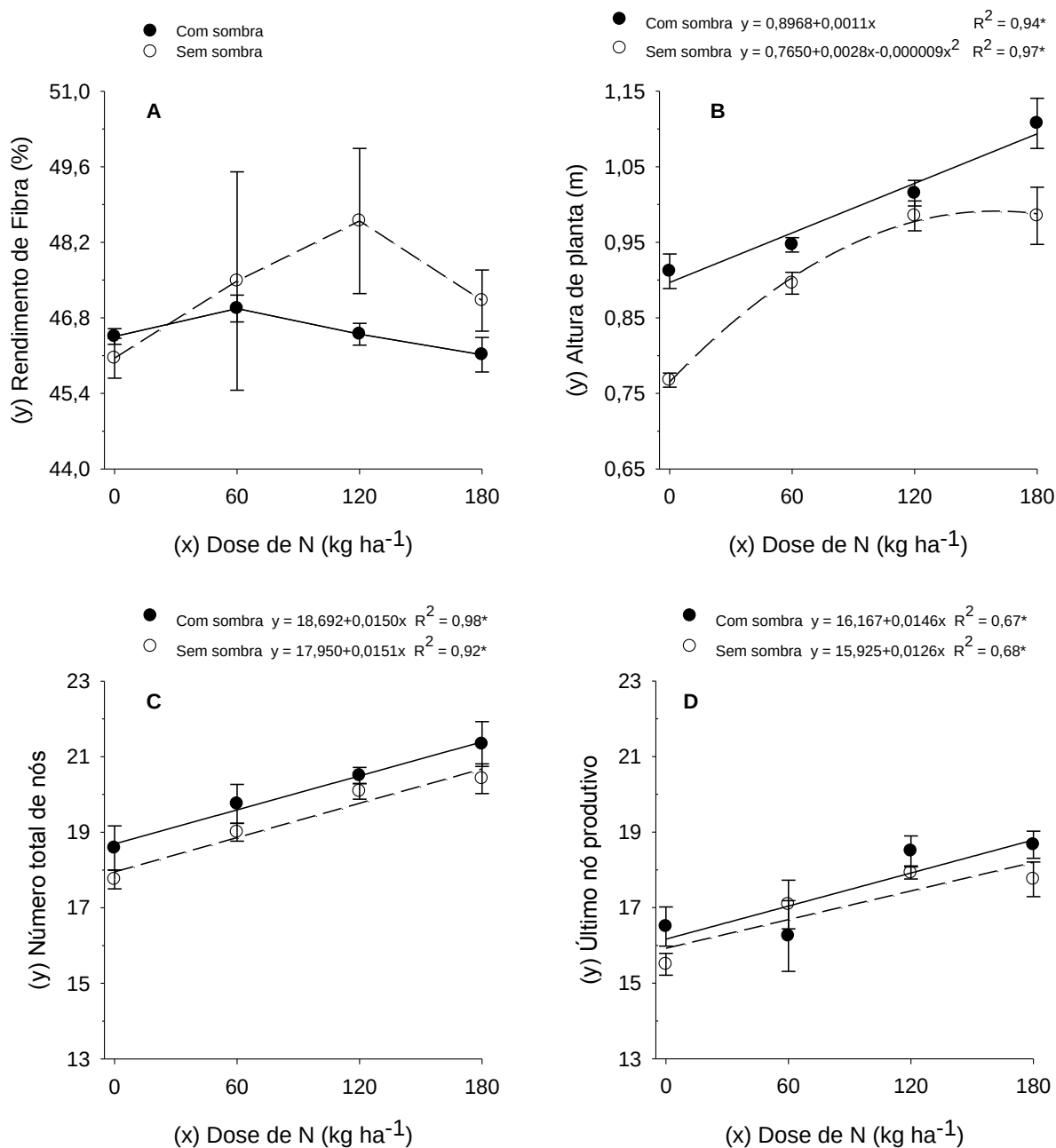


Figura 8 – Rendimento de fibra (A), altura de plantas (B), número total de nós (C) e último nó com ramo produtivo (D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento III, Itapeva (irrigado), SP (2017), cultivar FM 940 GLT

*** Significativo ao nível de 5% de probabilidade**
Barras verticais indicam o erro padrão da média

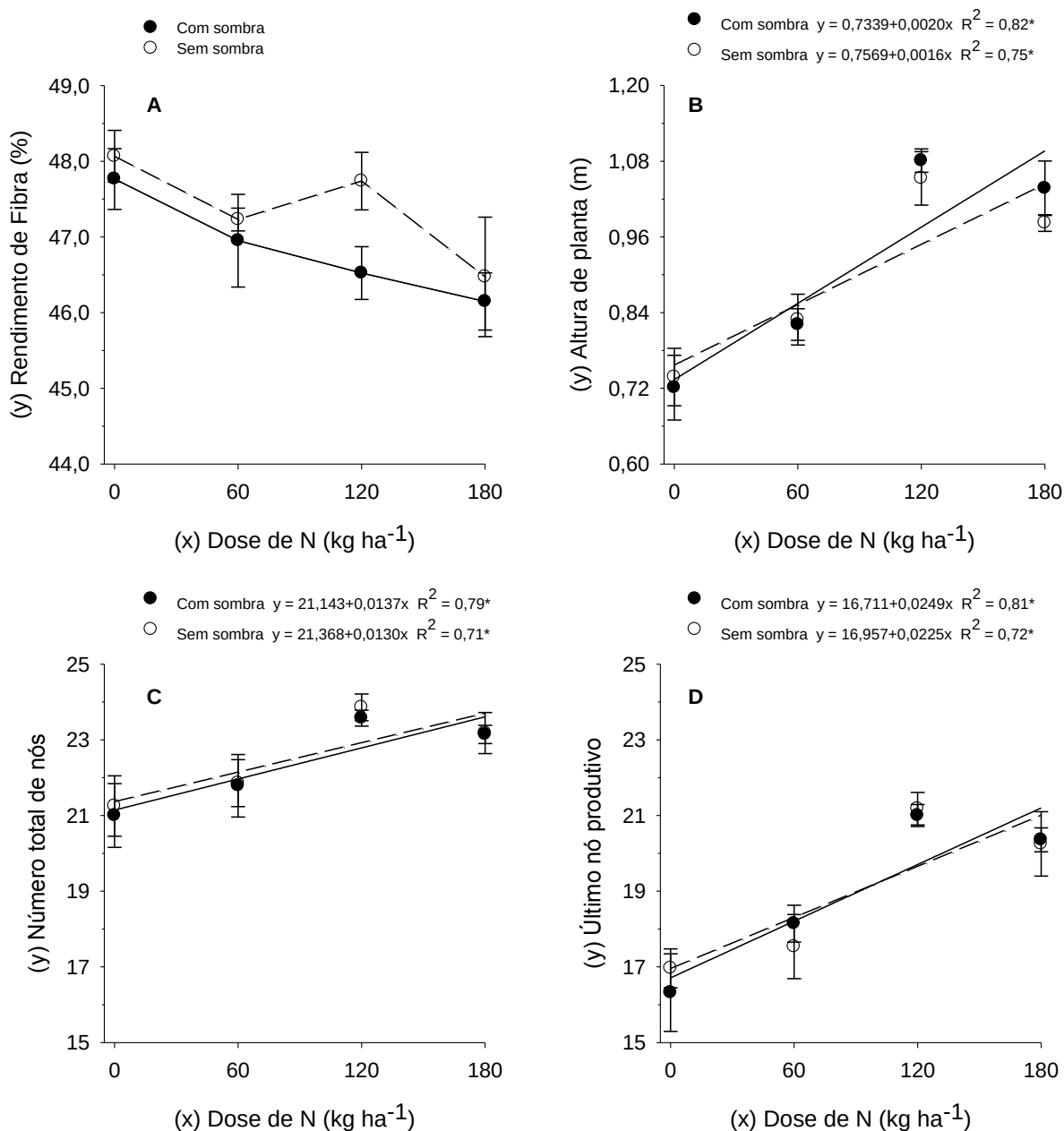
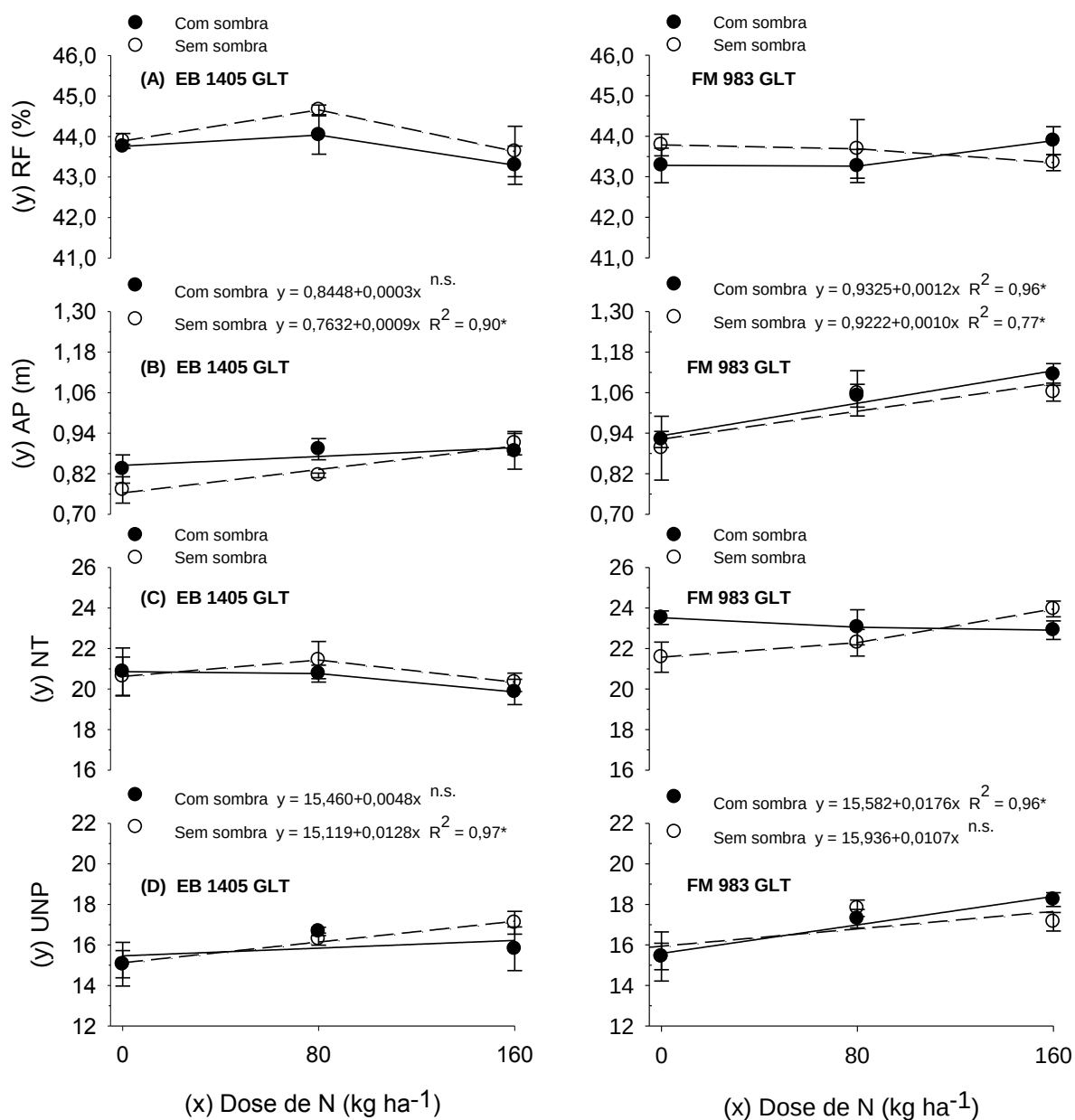


Figura 9 – Rendimento de fibra (RF, A), altura de plantas (AP, B), número total de nós (NT, C) e último nó com ramo produtivo (UNP, D) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Cultivares EB 1405 GLT (ciclo precoce) e FM 983 GLT (ciclo tardio). Experimento IV, Chapadão do Sul, MS (2017)

n.s.: Regressão não significativa

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Barras verticais indicam o erro padrão da média



O número final de nós das plantas não foi afetado pelo sombreamento nem pelas doses de N, mas variou em função do cultivar. O número final esteve entre 20 e 23, considerado normal em plantas de algodão de alta produção (Figura 9C). O cultivar FM 983 GLT apresentou em média 2,24 nós a mais do que EB 1405 GLT (Tabela 6, Figura 9C). Devido à redução de altura e de produção em caroço, possivelmente uma redução do número de nós totais poderia ter sido constatada na ausência de N, mas essa não foi uma variável afetada. O último nó da haste principal com ramo produtivo foi fortemente influenciado pelo cultivar, mas não pelas condições de sombreamento (Tabela 6, Figura 9D). De modo geral, o último nó produtivo foi atrasado em aproximadamente uma unidade no cultivar tardio (FM 983 GLT) em comparação ao precoce (EB 1405 GLT). Considerando-se as doses de N, o último nó produtivo nas doses de 80 e 160 kg ha⁻¹ foram próximos entre si e superiores em pouco menos de duas unidades em comparação à ausência de N (Figura 9D). Foram encontradas regressões lineares significativas indicativas de aumento em função da dose de N nas análises de altura de planta e último nó com ramo produtivo para o cultivar EB 1405 GLT apenas na ausência de sombreamento. Para o cultivar FM 983 GLT, as equações lineares foram significativas tanto em plantas sombreadas quanto não sombreadas para altura de plantas, ao passo que somente em plantas sombreadas para o último nó com ramo produtivo (Figuras 9B e 9D).

1.3.5 Mapeamento de capulhos nas plantas

No experimento I (Primavera do Leste), a produção em ramos derivados de ramos vegetativos foi praticamente inexistente e não foi considerada para fins de análise. Nos demais experimentos, observou-se um percentual relativamente alto de capulhos originários de ramos frutíferos provenientes de ramos vegetativos, sendo então contabilizados como uma categoria à parte. Não foram observadas interações significativas ($p < 0,05$) do sombreamento com as doses de N nos grupos de ramos frutíferos primários avaliados na haste principal, bem como nos ramos derivados de monopodiais nos experimentos I, II e III (Tabela 8). No experimento IV, foram encontradas interações significativas de doses de N com cultivares para capulhos do terço superior da planta (acima do 13º nó); de sombreamento com doses de N e de sombreamento com cultivares para capulhos oriundos de ramos frutíferos que se originam de ramos vegetativos ou monopodiais (Tabela 8).

Tabela 8 – Probabilidades de significância dos valores de F (p), determinadas na análise de variância, de número de capulhos por metro quadrado distribuídos ao longo da haste principal. Totais acumulados em intervalos específicos de ramos frutíferos primários ao longo da haste principal e em ramos frutíferos originários de ramos vegetativos ou monopodiais em experimentos de campo

Capulhos m⁻²	Nós da haste principal			
Experimento I ⁽³⁾	≤9	10 a 12	≥13	MON ⁽¹⁾
Sombra (A)	<0,001	0,211	0,793	n.a. ⁽²⁾
Dose de N (B)	0,098	<0,001	<0,001	n.a. ⁽²⁾
A x B	0,604	0,455	0,687	n.a. ⁽²⁾
Experimento II ⁽⁴⁾	≤11	12 a 16	≥17	MON ⁽¹⁾
Sombra (A)	0,181	0,873	0,112	0,391
Dose de N (B)	0,556	0,010	0,001	0,019
A x B	0,288	0,703	0,920	0,553
Experimento III ⁽⁵⁾	≤11	12 a 16	≥17	MON ⁽¹⁾
Sombra (A)	0,008	0,073	0,269	0,282
Dose de N (B)	0,121	<0,001	<0,001	0,708
A x B	0,972	0,659	0,712	0,704
Experimento IV ⁽⁶⁾	≤10	11 a 13	≥14	MON ⁽¹⁾
Sombra (A)	0,001	0,394	0,917	0,419
Dose de N (B)	0,452	0,008	<0,001	0,665
Cultivar (C)	<0,001	0,288	<0,001	0,071
A x B	0,449	0,167	0,199	0,032
A x C	0,088	0,320	0,143	0,025
B x C	0,622	0,158	0,019	0,230
A x B x C	0,641	0,885	0,104	0,982

(1) Número total de capulhos acumulado em ramos frutíferos originários de ramos monopodiais.

(2) Não analisado.

(3) Primavera do Leste, MT (2016).

(4) Itapeva (área em sequeiro), SP (2017).

(5) Itapeva (área irrigada com sistema de pivô central), SP (2017).

(6) Chapadão do Sul, MS (2017).

Em Primavera do Leste (experimento I), a grande parte da produção se concentrou até o nono nó, ao passo que a produção acima do décimo terceiro nó foi baixa, indicando um ciclo precoce nas plantas devido a fatores ambientais decorrentes da época de semeadura tardia. O sombreamento promoveu efeito significativo somente até o nono nó da planta (Tabela 8, Figura 10), reduzindo, em

média, o número de capulhos m^{-2} em aproximadamente 9 unidades, o equivalente a 24,0%. A adubação nitrogenada aumentou o número de capulhos nos terços médio e superior conforme a dose de N foi incrementada (Tabela 8, Figura 10). A produção em segunda posição foi baixa acima do terço inferior (acima do nono nó) e praticamente inexistente em terceira e posteriores posições de ramo em todos os terços da planta, indicando que os ramos frutíferos apresentaram um crescimento limitado. Mesmo nas doses mais altas de N houve resposta limitada com relação à formação de novas estruturas frutíferas no fim do ciclo. Uma vez que a produção se concentrou no terço inferior e em primeira posição de ramo, o efeito do sombreamento, embora tenha sido parcialmente compensado, levou ao aborto de frutos iniciais.

O experimento II (Itapeva, sequeiro) foi o único em que não se constatou efeito do sombreamento em qualquer fração mapeada (Tabela 8). No entanto, foi verificada tendência de redução da média de retenção de frutos na condição sombreada até o 11º nó, exceto na dose mais alta de 180 kg ha^{-1} de N (Figura 11). A produção concentrou-se principalmente nos terços inferior (até 11º nó) e médio. O número de capulhos não foi influenciado pelas doses de N nos ramos simpodiais inferiores, variando entre 30 e 50 capulhos m^{-2} (Figura 11). No terço médio da planta, a dose máxima de 180 kg ha^{-1} de N resultou em aumento de 13 e 10 capulhos m^{-2} em comparação às doses de 0 e 60 kg ha^{-1} respectivamente, cujo efeito pode ser observado na Figura 11. No terço superior, destacaram-se a retenção quase inexistente na condição sem adubação e os maiores valores observados nas doses de N de 120 e 180 kg ha^{-1} (Figura 11). O número de capulhos provenientes de ramos frutíferos derivados de monopodiais foi, no entanto, superior nas doses de 0 e 60 kg ha^{-1} em comparação à dose máxima (Tabela 8, Figura 14A). Embora a maior parte da produção tenha sido originada de frutos de primeira posição de ramo, houve importante participação de frutos de segunda posição, principalmente nas duas doses mais altas de N (Figura 11).

No experimento III (Itapeva, com irrigação), foi verificada redução de 18,6% no número de frutos retidos até o 11º nó da haste principal em ramos frutíferos primários quando o sombreamento foi aplicado, destacando-se o menor número em frutos de primeira posição (Tabela 8, Figura 12). A produção de capulhos de ramos frutíferos provenientes de ramos monopodiais teve razoável contribuição no valor final, mas não foi afetada nem pelo sombreamento nem pelas doses de N (Tabela 8,

Figura 14B). Os resultados das frações nos terços inferior e médio no experimento III são indicativos de que houve compensação de perda de capulhos das plantas sombreadas no terço médio, conforme a diferença ($p = 0,073$) verificada no intervalo entre os nós 12 e 16 (Tabela 8, Figura 12). Considerando-se a perda de produção na condição sombreada quando não houve adubação nitrogenada, nota-se que, enquanto na dose de 60 kg ha^{-1} as plantas recuperaram a produção perdida no terço inferior, retendo-a nos dois terços superiores, o mesmo não ocorreu na dose de 0 kg ha^{-1} em que a produção manteve-se semelhante à da condição não sombreada. As altas produtividades nas doses de 120 e 180 kg ha^{-1} de N foram possibilitadas pelo alto número de capulhos no terço médio (12° a 16° nó), incluindo segundas e terceiras posições de ramo, e superior, neste último caso mais concentrados em primeira posição de ramo (Figura 12).

No experimento IV (Chapadão do Sul), similarmente ao verificado nos experimentos I e III, o emprego do sombreamento artificial reduziu o número de capulhos por metro quadrado no terço inferior da planta (até o 10° nó), em uma média geral de 31,8% (Tabela 8, Figura 13) ou aproximadamente 10 capulhos m^{-2} . Na Figura 13, o efeito geral do sombreamento artificial em reduzir a produção de capulhos no terço inferior, independentemente do cultivar e das doses de N, pode ser observado, sendo mais pronunciado no cultivar EB 1405 GLT e nas doses de 0 e 80 kg ha^{-1} de N. O sombreamento não resultou em aumento aparente do número de capulhos em segunda e demais posições de ramo nos terços inferior e médio, o que seria possível em resposta ao aborto de frutos de primeira posição. Nos ramos superiores da planta ($\geq 14^{\circ}$ nó), não houve diferença quanto ao número de capulhos entre condições de sombreamento (Tabela 8, Figura 13).

Comparando-se o efeito de cultivares (Tabela 8), maior número de capulhos na região inferior da planta foi verificado no cultivar precoce (EB 1405 GLT), representando um aumento médio geral de 59,3% (11 capulhos m^{-2}) em comparação ao cultivar FM 983 GLT (Figura 13). Notou-se maior participação do terço até o décimo nó no cultivar precoce EB 1405 GLT na retenção final de capulhos, com valores próximos a 40 capulhos m^{-2} , na ausência de sombreamento (Figura 13A). No cultivar tardio FM 983 GLT, o número de capulhos foi maior no terço superior (acima do 13° nó) (Figura 13B). Os valores determinados indicam padrão de maior retenção de frutos de primeira e segunda posição de ramo na fração inferior pelo cultivar EB 1405 GLT e alta retenção de frutos na fração superior pelo cultivar FM 983 GLT,

inclusive em segunda posição de ramo. Em ambos os cultivares, o número de capulhos em terceira ou demais posições de ramo foi baixa.

O número de capulhos m^{-2} acumulado entre os nós 11 e 13 foi afetado somente pela adubação nitrogenada (Tabela 8), verificando-se, respectivamente, aumentos de 4,26 e 5,36 unidades nas doses de 80 e 160 kg ha^{-1} em comparação à condição sem N. Quando não houve adubação nitrogenada de cobertura, a retenção de capulhos após o 13º nó foi fortemente comprometida no cultivar tardio (Figura 13B), enquanto no cultivar precoce (Figura 13A) os resultados nas doses 0 e 80 kg ha^{-1} foram relativamente próximos. Em geral, não se verificou aumento acentuado do número de capulhos em segunda e demais posições de ramo nos terços inferior e médio nas doses de 80 e 160 kg ha^{-1} em ambos os cultivares. Esse incremento somente foi mais notório a partir do 14º no cultivar tardio, em que a maior dose de N favoreceu maior produção de capulhos em segunda posição de ramo (Figura 13).

Os resultados de cultivares e doses de N no terço superior foram analisados considerando-se a interação significativa (Tabela 8). Os cultivares não diferiram entre si na dose controle, mas o cultivar tardio (FM 983 GLT) apresentou valores superiores em 14,47 (80,7%) e 14,26 (63,0%) capulhos m^{-2} nas doses de 80 e 160 kg ha^{-1} de N, respectivamente (Figura 13). A variação em função da dose de N no cultivar EB 1405 GLT, embora tenha ocorrido, não foi alta (Figura 13A). No cultivar FM 983 GLT, por outro lado, os resultados obtidos nas doses intermediária e máxima de N foram muito próximos entre si, e superiores em 16,15 e 20,58 capulhos m^{-2} em comparação à dose controle, respectivamente (Figura 13B). Em ambos os cultivares, a adubação na dose máxima (160 kg ha^{-1}) não resultou em aumento significativo ao nível de 5% de probabilidade do número de capulhos acima do 13º nó em comparação à dose intermediária (80 kg ha^{-1}).

Analisando-se os resultados de número de capulhos colhidos em ramos frutíferos provenientes de ramos monopodiais do experimento IV, desdobrados por combinações entre cultivar e sombreamento devido à interação significativa (Tabela 8), observou-se uma diminuição média de aproximadamente 5,7 capulhos m^{-2} quando o sombreamento artificial foi imposto no cultivar de ciclo tardio FM 983 GLT (Figuras 14C e 14D). O número de capulhos em ramos frutíferos originários de monopodiais com o cultivar tardio FM 983 GLT na condição sem sombra também foi superior ao do precoce na mesma condição, em aproximadamente 7,62 capulhos

por metro quadrado (Figuras 14C e 14D). Os valores determinados não diferiram entre si nas demais comparações.

O desdobramento dos resultados a partir da interação entre condições de sombreamento e doses de N (Tabela 8) no experimento IV revelou que o sombreamento teve efeito significativo somente na dose de 160 kg ha⁻¹, reduzindo em média o valor final em 7,46 capulhos m⁻² (Figuras 14C e 14D). Outro resultado observado foi a redução de 6,86 unidades do número de capulhos na dose de 160 kg ha⁻¹ em comparação à de 80 kg ha⁻¹ na presença de sombra (Figuras 14C e 14D). Não foram observadas diferenças significativas nas demais comparações.

Em geral, os resultados do número de capulhos em ramos frutíferos secundários no experimento IV pareceram não ser suficientemente consistentes para indicarem efeitos específicos dos fatores testados. Os valores finais foram baixos, não superando 20 capulhos m⁻².

Figura 10 – Número de capulhos de algodão por m² por terço do dossel e posição de frutificação em ramos simpodiais na presença (CS) e ausência (SS) de sombreamento artificial em doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Até 9º nó, 10º a 12º nó e acima do 12º nó da haste principal. Primeira posição (P1), segunda posição (P2) e terceira e demais posições (P3+). Experimento I. Primavera do Leste, MT (2016), cultivar TMG 45 B2RF

Barras de erro indicam o erro padrão da média

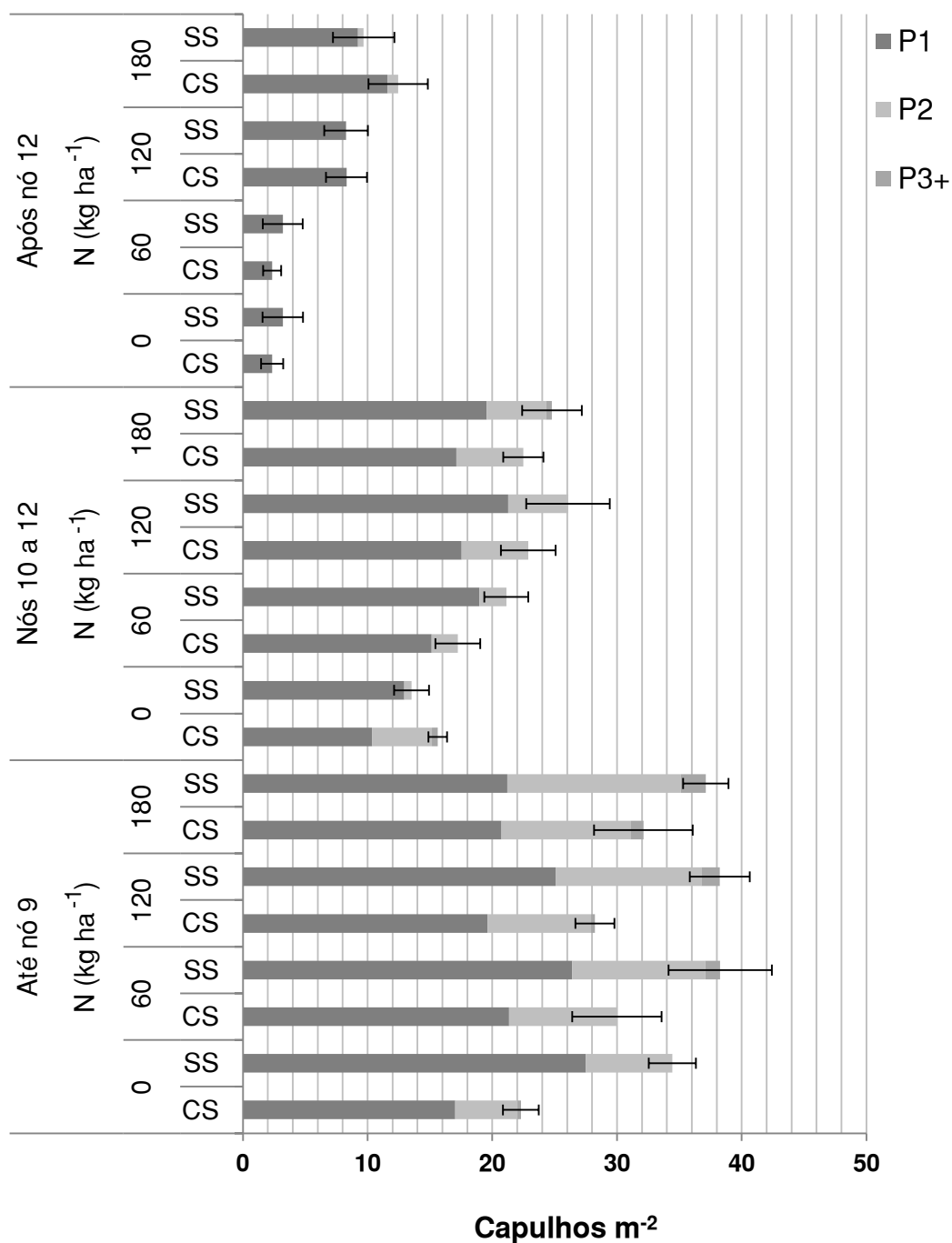


Figura 11 – Número de capulhos de algodão por m² por terço do dossel e posição de frutificação em ramos simpodiais na presença (CS) e ausência (SS) de sombreamento artificial em doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Até 11° nó, 12° a 16° nó e acima do 16° nó da haste principal. Primeira posição (P1), segunda posição (P2) e terceira e demais posições (P3+). Experimento II. Itapeva, SP (sequeiro), 2017, cultivar FM 954 GLT

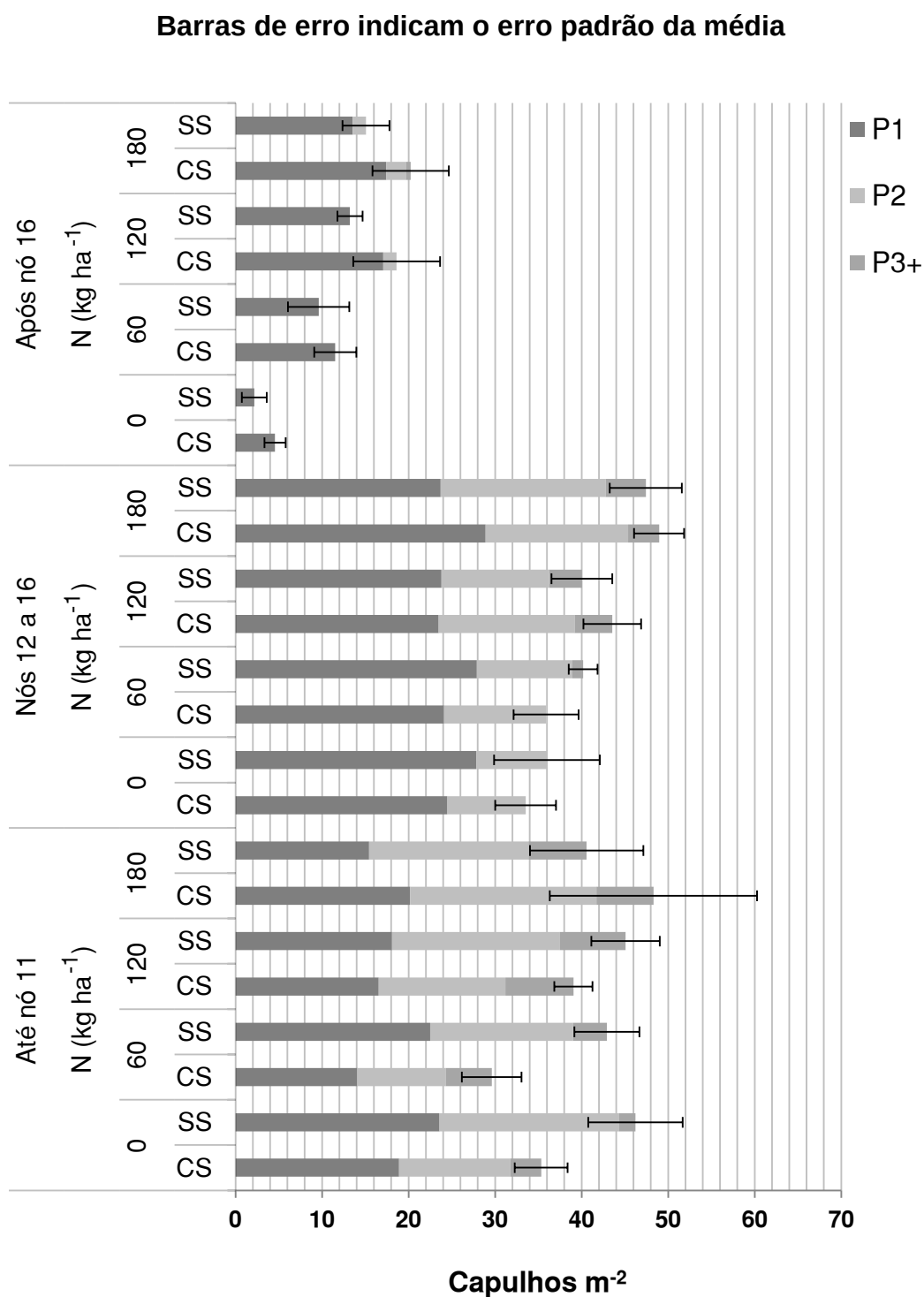


Figura 12 – Número de capulhos de algodão por m² por terço do dossel e posição de frutificação em ramos simpodiais na presença (CS) e ausência (SS) de sombreamento artificial em doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Até 11° nó, 12° a 16° nó e acima do 16° nó da haste principal. Primeira posição (P1), segunda posição (P2) e terceira e demais posições (P3+). Experimento III, Itapeva, SP (irrigado), 2017, cultivar FM 940 GLT

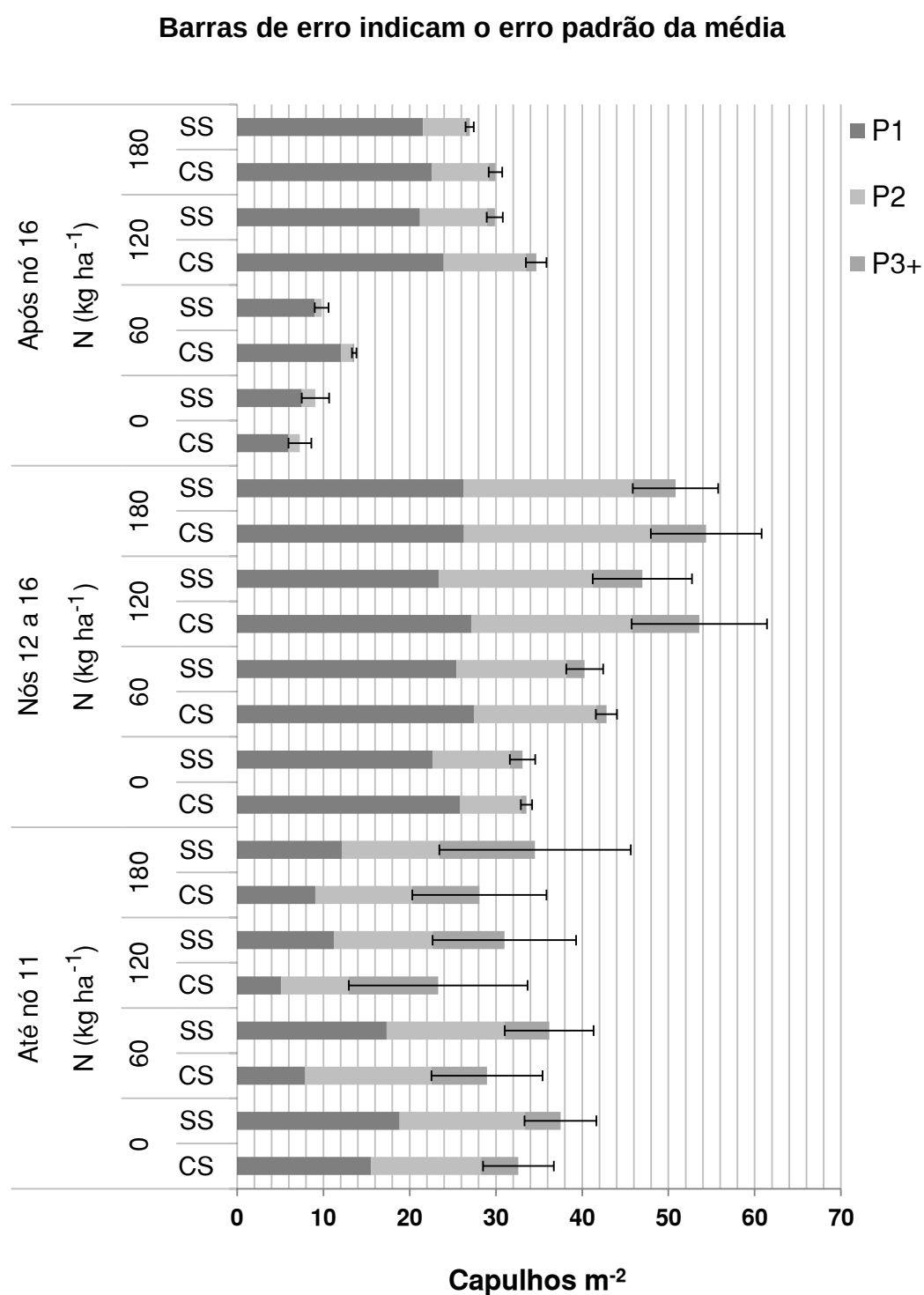


Figura 13 – Número de capulhos de algodão por m² por terço do dossel e posição de frutificação em ramos simpodiais na presença (CS) e ausência (SS) de sombreamento artificial, em doses de 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N em cobertura, dos cultivares EB 1405 GLT e FM 983 GLT. Até 10° nó, 11° a 13° nó e acima do 13° nó da haste principal. Primeira posição (P1), segunda posição (P2) e terceira e demais posições (P3+). Experimento IV. Chapadão do Sul, MS (2017)

Barras de erro indicam o erro padrão da média

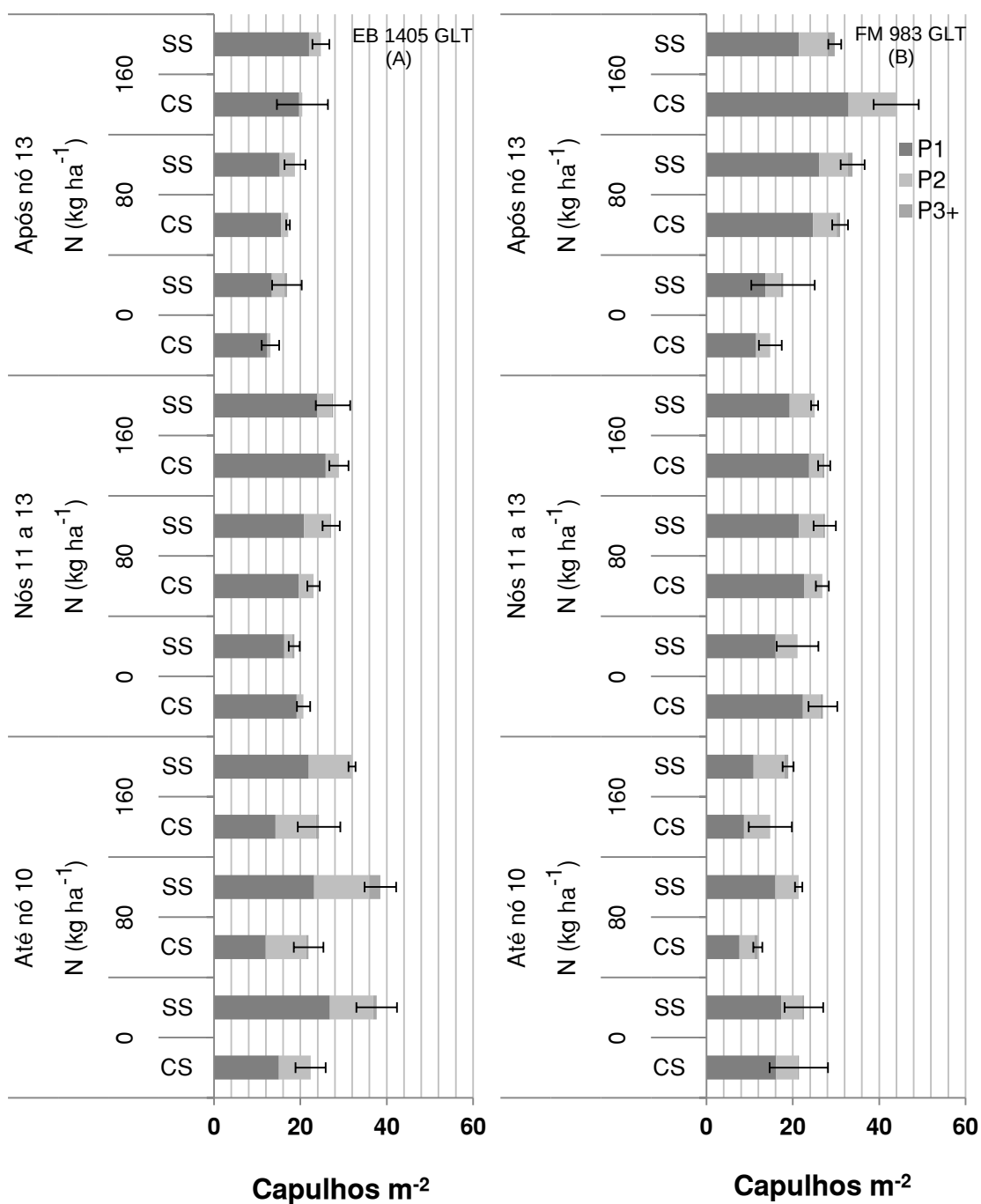
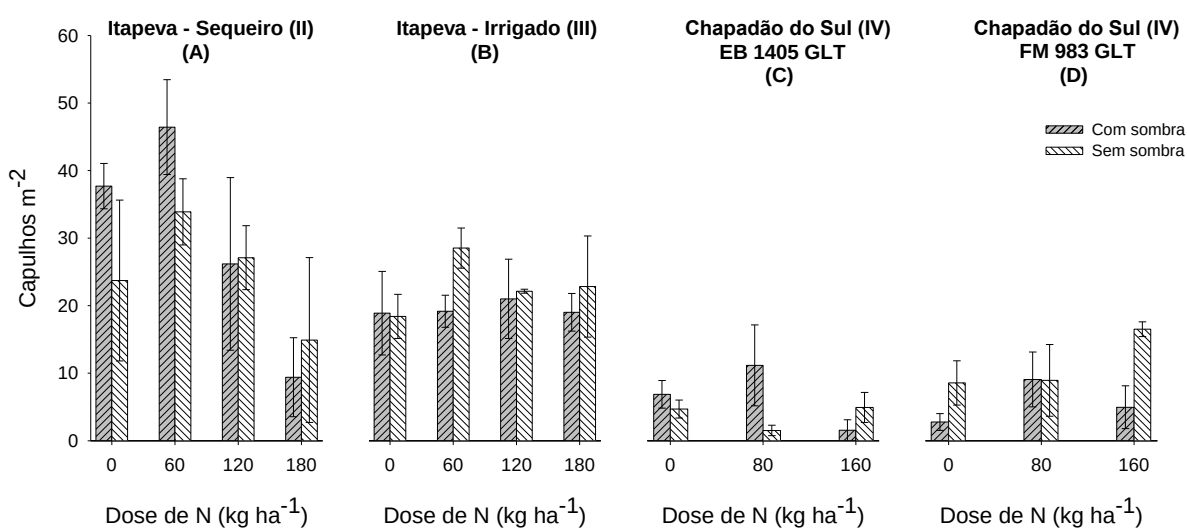


Figura 14 – Número de capulhos por m² em ramos frutíferos originários de ramos vegetativos ou monopodiais, acumulados na presença e na ausência de sombreamento em diferentes doses de N em cobertura, nos experimentos de campo em Itapeva em áreas em sequeiro (II, A) com cultivar FM 954 GLT e irrigada (III, B) com cultivar FM 940 GLT, e dos cultivares EB 1405 GLT (C) e FM 983 GLT (D) em Chapadão do Sul (IV)

Barras verticais indicam o erro padrão da média



1.3.6 Teor de nitrogênio foliar

Não houve interações significativas entre os fatores testados na análise quanto ao teor de N foliar (Tabela 9). Os teores em geral estiveram dentro do intervalo de 35 a 50 g kg⁻¹ considerado adequado para a cultura do algodoeiro (MALAVOLTA, 2006; SILVA; RAIJ, 1997). Embora o sombreamento tenha promovido um pequeno aumento das médias de N foliar, o efeito no teste de médias foi significativo apenas no experimento III (Tabela 9), notando-se um incremento médio de aproximadamente 7% (Figura 15C). No experimento II, estimou-se um aumento ($p < 0,088$) do teor de N de 1,39 g kg⁻¹ (Tabela 9, Figura 15B). As folhas amostradas para análise no dia da retirada do sombreamento apresentavam idade aproximada de 20 dias, tendo, portanto, passado a maior parte do tempo de seu desenvolvimento sombreadas até o dia da amostragem. Somente regressões de primeiro grau (lineares) ajustaram-se aos resultados finais.

Tabela 9 – Probabilidades de significância dos valores de F (p), determinadas na análise de variância, do teor de nitrogênio foliar em experimentos de campo conduzidos nas safras 2015/2016 e 2016/2017

	Experimento I ⁽²⁾	Experimento II ⁽³⁾	Experimento III ⁽⁴⁾	Experimento IV ⁽⁵⁾
Efeito	N Foliar (p)			
Sombra (A)	0,319	0,088	0,001	0,939
Dose de N (B)	0,093	<0,001	<0,001	0,005
Cultivar (C)	n.a. ⁽¹⁾	n.a.	n.a.	0,180
A x B	0,525	0,446	0,757	0,127
A x C	n.a.	n.a.	n.a.	0,982
B x C	n.a.	n.a.	n.a.	0,899
A x B x C	n.a.	n.a.	n.a.	0,209

(1) n.a.: não avaliado no experimento.

(2) Primavera do Leste, MT (2016).

(3) Itapeva (área em sequeiro), SP (2017).

(4) Itapeva (área irrigada com sistema de pivô central), SP (2017).

(5) Chapadão do Sul, MS (2017).

No experimento I, as doses de N não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade quanto ao teor de N ($p = 0,093$) pelo teste F (Tabela 9). Os valores variaram entre 35 e 38 g kg⁻¹. Neste experimento, o efeito de doses de N foi constatado pela análise de regressão linear significativa para o teor foliar, embora apenas para plantas sombreadas, aumentando em média 1,3 g kg⁻¹ a cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de N por meio das adubações de cobertura (Figura 15A).

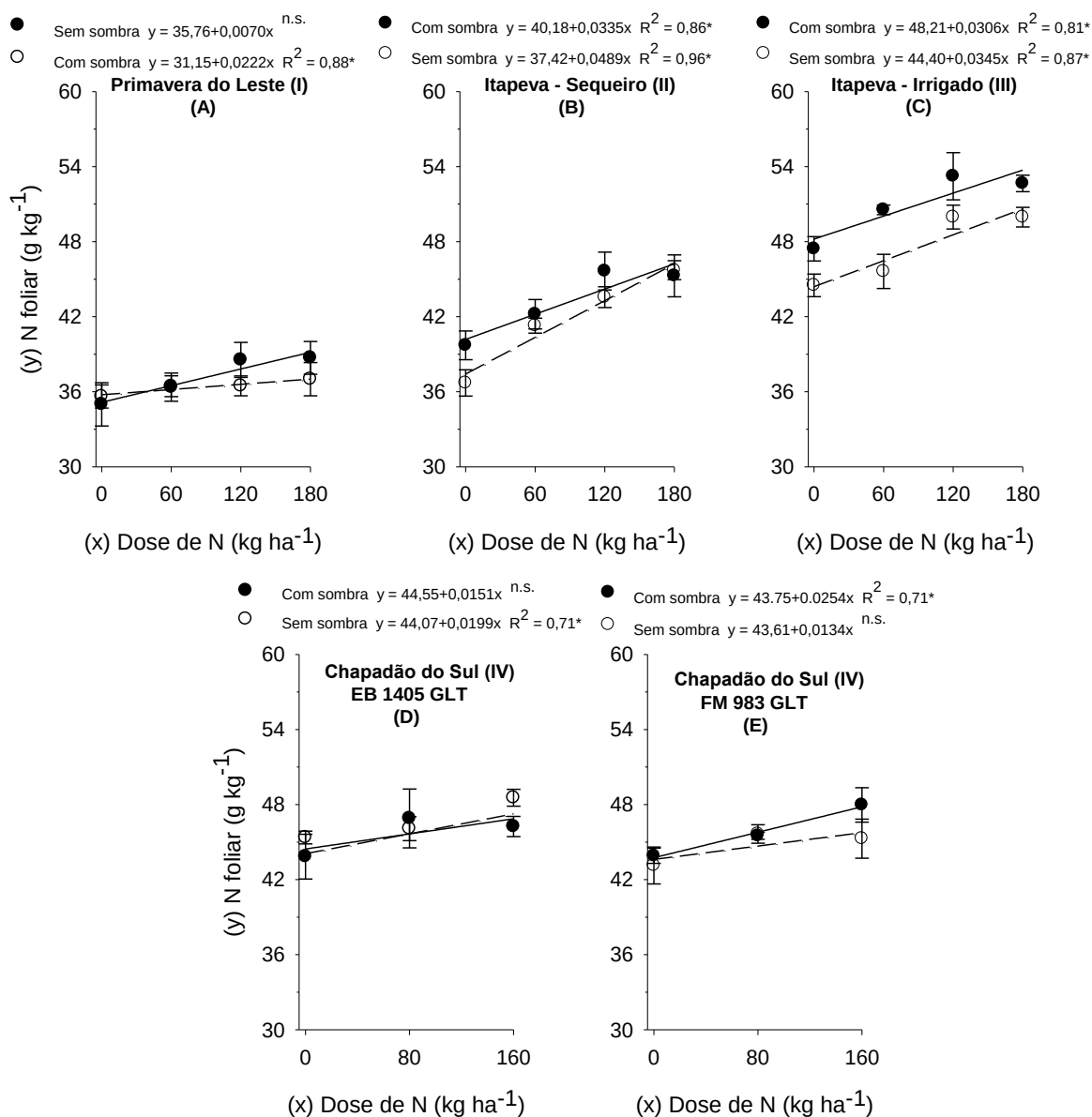
Nos experimentos II e III, as concentrações de N foliar foram afetadas de modo similar, aumentando a partir da testemunha sem N até a dose de 120 kg ha⁻¹, que não diferiu da dose máxima de 180 kg ha⁻¹ pelo teste de médias. As médias variaram de 38 a 45 g kg⁻¹ na área em sequeiro e de 44 a 50 g kg⁻¹ na área irrigada, sendo ligeiramente superiores no experimento III. As análises de regressão lineares foram significativas em ambos os experimentos de Itapeva, tanto na presença quanto na ausência de sombreamento artificial, resultando, respectivamente, em aumentos médios de concentração de N foliar de 2,01 e 2,93 g kg⁻¹ no experimento II e de 1,84 e 2,07 g kg⁻¹ no experimento III para cada incremento de 60 kg ha⁻¹ de N via adubação de cobertura (Figuras 15B e 15C).

Figura 15 – Teores de N foliar em algodão e regressões para plantas com e sem sombreamento no florescimento em função das doses de N em cobertura. Experimentos em Primavera do Leste (I, A) na safra 2015/2016 e em Itapeva em áreas em sequeiro (II, B) e irrigada (III, C), e Chapadão do Sul (IV) na safra 2016/2017. Nos experimentos I, II e III foram utilizados, respectivamente, os cultivares TMG 45 B2RF, FM 954 GLT e FM 940 GLT. No experimento IV, as análises de regressão foram realizadas para os cultivares EB 1405 GLT (D) e FM 983 GLT (E)

n.s.: Regressão não significativa

*** Significativo ao nível de 5% de probabilidade**

Barras de erro indicam o erro padrão da média



Em Chapadão do Sul, foi também verificado aumento do teor de nitrogênio foliar em função da adição de adubo nitrogenado. Em ambos os cultivares e condições de sombreamento, as plantas sem N em cobertura apresentaram menor concentração de N foliar em comparação às doses de 80 e 160 kg ha⁻¹. Embora o maior valor tenha sido encontrado na dose máxima (160 kg ha⁻¹), este não diferiu de modo significativo do encontrado com a dose de 80 kg ha⁻¹. Os cultivares não diferiram entre si quanto às médias gerais de teor de N foliar (Tabela 9), notando-se, porém, que a concentração de N foliar média da variedade precoce EB 1405 GLT tenha sido geralmente um pouco superior à da tardia FM 983 GLT (Figuras 15D e 15E). As análises de regressão, no entanto, não foram significativas em parte das condições testadas. Quando foi utilizado o cultivar EB 1405 GLT, o ajuste linear foi significativo apenas na ausência de sombra, ao passo que com o cultivar FM 983 GLT a regressão foi significativa somente quando houve sombreamento. Os coeficientes angulares das regressões lineares significativas dos cultivares EB 1405 GLT e FM 983 GLT indicaram, respectivamente, aumentos de 1,59 e 2,03 g kg⁻¹ na concentração de N foliar a cada incremento de 80 kg ha⁻¹ de N por meio de adubações de cobertura. Observando-se graficamente a resposta das condições de sombreamento em função da dose de N, os valores de N foliar sempre foram próximos entre si (Figuras 15D e 15E).

1.4 Discussão

Os resultados dos experimentos I, III e IV evidenciaram que o sombreamento promoveu aborto de frutos nos ramos frutíferos do terço inferior da planta (Figuras 10, 12 e 13), afetando a produtividade através da redução do número de capulhos por área (Figuras 2, 4 e 5). A redução de produtividade com sombreamento no início do florescimento está de acordo com resultados de pesquisas anteriores (ECHER; ROSOLEM, 2015; NAJEEB et al., 2016), a qual é causada predominantemente pela abscisão de estruturas reprodutivas, resultando em menor número de frutos formados (LV et al, 2013).

No experimento II (Itapeva, sequeiro), em que a produtividade máxima foi observada já na dose de N de 60 kg ha⁻¹, infere-se que havia uma razoável disponibilidade do nutriente no solo, considerando-se a alta produtividade observada. Assim, uma vez eliminado o sombreamento artificial da área, a disponibilidade de N no solo não foi limitante para a recuperação da produção das

plantas. Isso é corroborado pela diferença existente, embora não significativa, entre as médias nas condições com e sem sombra quanto ao número de capulhos no terço inferior (Tabela 8, Figura 11). É possível que, neste experimento, o efeito de indução de aborto de frutos tenha sido restrito a ramos originários de nós inferiores ao décimo primeiro. Assim, o número de capulhos foi recomposto e já estava parcialmente restabelecido nas parcelas sombreadas quando se avaliou o acúmulo até o 11º nó, processo que continuou em posições mais tardias, indicando que as plantas dispunham de condições edáficas e meteorológicas para recuperar-se rapidamente do estresse luminoso artificial temporário. Uma característica que se destaca neste experimento é o maior número de capulhos retidos em ramos frutíferos derivados de ramos monopodiais (Figura 14A), o qual parece ter sido determinante para que a produtividade final na dose de N de 60 kg ha⁻¹ atingisse valores similares aos verificados nas duas doses superiores. Assim, embora as produtividades finais entre as doses de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ tenham sido similares, a distribuição no dossel apresentou importantes alterações.

Nos demais experimentos, onde, contrariamente, as doses de N necessárias para as maiores produtividades foram de, pelo menos, 120 kg ha⁻¹ (experimentos I e III) e 80 kg ha⁻¹ (experimento IV), a redução do número de frutos devido ao sombreamento nos primeiros nós haste da principal, indicativa de abortos, foi significativa (Tabela 8, Figuras 10, 12 e 13).

Os resultados dos experimentos II e III evidenciaram que em Itapeva a disponibilidade hídrica não foi fator limitante entre janeiro e abril (Figura 1), período de enchimento de maçãs, condição que contribuiu para que as produtividades de algodão na área de sequeiro fossem muito altas. Nota-se também que, quando não houve adubação nitrogenada, o número médio de capulhos no terço inferior da planta não foi menor em comparação às doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ nos experimentos em Primavera do Leste (I) e Itapeva (II e III), e às doses de 80 e 160 kg ha⁻¹ em Chapadão do Sul (IV), indicando, nas doses mais altas, um maior número de abortos de estruturas no início da fase reprodutiva em comparação à testemunha. Em Primavera do Leste, a semeadura muito tardia e a acentuada redução de chuvas a partir de abril (Figura 1) limitaram o desenvolvimento das plantas, resultando em menor altura e números reduzidos de nós totais e produtivos, levando a baixas produtividades finais (Figuras 2 e 6). Em Chapadão do Sul, o ambiente passou a ser

mais limitante para a formação de novos frutos a partir de abril devido à redução de chuvas e temperatura.

No experimento III, conduzido com irrigação em Itapeva, foram observadas as maiores respostas à adubação nitrogenada. Neste experimento, constatou-se que, embora tenha havido alta taxa de incremento de produtividade absoluta entre as doses de 0 e 120 kg ha⁻¹ de N, o menor valor médio, que foi obtido com sombreamento e sem adubação nitrogenada de cobertura, foi de 3722 kg ha⁻¹, aproximadamente 248 @ ha⁻¹ em caroço, uma quantidade razoavelmente alta (Figura 4A). A deficiência de N no solo pôde ser notada pelo aumento aproximado de 1500 kg ha⁻¹ de algodão em caroço entre as doses de 0 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, resultando em valores de próximos a 5500 kg ha⁻¹, aproximadamente 365 @ ha⁻¹, que podem ser considerados como produtividades bastante altas (Figura 4A). Os resultados deste experimento também foram os mais evidentes em indicar que a redução da produtividade de algodão resultante do sombreamento na ausência de adubação nitrogenada decorreu da incapacidade das plantas recuperarem nos terços médio e superior os capulhos perdidos no terço inferior. Esse fenômeno é corroborado quando contrastado com a compensação do número de capulhos nos terços médio e superior na condição sombreada observada na dose de 60 kg ha⁻¹ de N, na qual houve queda, embora não significativa, no terço inferior (Tabela 8, Figura 12). A ausência de adubação nitrogenada frequentemente resulta em deficiência nutricional, que causa perdas de produtividade, principalmente pela redução do número de capulhos produzidos, enquanto altas doses de N normalmente resultam em altas produtividades na ausência de outros fatores limitantes (BOQUET et al., 1994; GERIK, 1998; ZHAO; OOSTERHUIS, 1998a).

Uma possível explicação para as diferenças de respostas de produtividade ao N nos dois experimentos conduzidos em Itapeva, ambos manejados em solos similares e em áreas de alto potencial produtivo, seria a maior disponibilidade de N e matéria orgânica no solo, associada à menor relação C/N, na área de sequeiro no momento do início dos experimentos (Tabela 3), embora os valores estejam próximos entre si. Um segundo fator consistiria em diferenças entre cultivares de cada experimento quanto à massa média de capulho e às exigências de N no solo para atingirem altas produtividades, embora ambos (FM 954 GLT e FM 940 GLT) sejam identificados como de ciclo médio. A diferença de aproximadamente 15 dias

na data de semeadura também pode ter favorecido as maiores produtividades no experimento II.

No experimento IV, as produtividades na condição sem sombra na dose mais alta de N não foram baixas (Figura 5), mas inferiores a valores elevados já registrados na região de Chapadão do Sul, tendo sido, portanto, limitadas por outros fatores ambientais ou de manejo. Observou-se, nesse experimento, que o solo apresentava uma limitação de pH (4,6), embora tivesse textura argilosa e um teor de matéria orgânica não limitante na camada superficial para condições de Cerrado (Tabelas 2 e 3). Os testes de média indicaram que, como efeito geral, a redução do número de capulhos no terço inferior devido ao sombreamento não foi compensada suficientemente nos terços médio e superior para reverter completamente as perdas de estruturas reprodutivas (Tabela 6). Porém, esse efeito foi evidente apenas no cultivar precoce EB 1405 GLT, ao passo que no FM 983 GLT a compensação pôde ser graficamente observada conforme a dose de N foi aumentada (Figuras 5A, 5B e 5C). Geralmente, a retenção de frutos em cultivares de ciclo mais tardio tende a ser intensificada em ramos localizados em nós superiores da haste principal.

Os aumentos de número de capulhos por m² no terço superior nas doses de N de 80 e 160 kg ha⁻¹ no cultivar FM 983 GLT, em comparação à condição sem N (Figura 13B) são indicativos da forte influência da adubação nitrogenada na retenção de capulhos tardios. Nesse sentido, a ausência de nitrogênio foi mais limitante à retenção de capulhos em nós superiores no cultivar tardio do que no precoce. Isso é constatado contabilizando-se, por exemplo, as variações relativas dentro de cada cultivar. Enquanto o aumento médio do número de capulhos entre a dose controle e a dose máxima de N de 160 kg ha⁻¹ foi de 51% para EB 1405 GLT, essa variação foi de 126% para FM 983 GLT (Figura 13). A época em que o sombreamento foi imposto é um fator que poderia ter dificultado a recuperação da perda de produção causada pela restrição de luz após as adubações de N em cobertura, o que não se verificou no caso do cultivar FM 983 GLT. Mesmo com o experimento semeado no fim de dezembro, temperaturas amenas no mês de janeiro combinadas com altas precipitações e baixa proporção de radiação direta nos meses de janeiro e fevereiro (Tabela 4, Figura 1) levaram a um atraso no florescimento, iniciado somente no início do mês de março. Consequentemente, o sombreamento artificial foi retirado somente no fim do mês de março. Notou-se, no entanto, a partir do mês de abril, um

período de queda de temperaturas e de redução de chuvas (Figura 1), fatores que prejudicam o desenvolvimento de novos frutos.

Em ambientes tropicais, devido à diminuição de temperaturas e chuvas conforme o ciclo da cultura avança, é esperado que quanto mais tardio o início do florescimento, menos favoráveis serão as condições ambientais para recuperação da produção inicial perdida. Por sua vez, a época do início do florescimento é influenciada diretamente pela época de semeadura. Portanto, épocas de semeadura mais tardias, tornam as plantas mais suscetíveis a perdas definitivas de produção após um estresse ambiental no início do florescimento, como o sombreamento (BELOT; CAMPELO JUNIOR, 2010). Nesse sentido, não se esperava que em Primavera do Leste houvesse a acentuada redução de diferenças de produtividade entre plantas sombreadas e não sombreadas na maior dose de N (Figuras 2A e 2B). Esses resultados indicam que, mesmo em um período mais curto disponível para recuperação, como no caso de semeaduras no fim de janeiro em Mato Grosso com sombreamento imposto no mês de abril, as condições ambientais podem não ser definitivamente impeditivas para a atuação da adubação nitrogenada na mitigação de perdas de produção.

A massa média de capulho não foi afetada pelo sombreamento na maioria dos experimentos conduzidos, corroborando resultados anteriores que indicam pouca ou nenhuma influência da restrição de luz imposta no início do desenvolvimento reprodutivo das plantas (ECHER, 2017; PETTIGREW, 1994; ZHAO; OOSTERHUIS, 2000), com exceção do experimento I (Primavera do Leste), onde foi verificado um pequeno aumento após sua imposição (Figura 2D). Aumento de massa de capulho em plantas sombreadas no estágio F1 por 10 dias, embora pequeno, foi observado por Echer e Rosolem (2015), resultante da alteração do equilíbrio entre fontes e drenos na alocação de carboidratos. No experimento I, considerando-se a época tardia de semeadura e o reduzido crescimento das plantas, esse aumento é provavelmente consequência da redução do número de capulhos por área, possibilitando alocação de fotoassimilados e nutrientes mais concentrada para os frutos remanescentes retidos, em nível suficiente para resultar em efeito significativo. As restrições ambientais estiveram associadas aos baixos valores de massa de capulho neste experimento, em torno de 3,4 g, em comparação à média de 4,1 g relatada para o cultivar TMG 45 B2RF (KAWAKAMI, 2015). Adicionalmente, destacam-se entre os experimentos os baixos valores determinados nas avaliações

envolvendo altura e contagens de nós no experimento I (Figuras 6B, 6C e 6D), que apontam a limitação de desenvolvimento em virtude das condições ambientais em que foi realizado.

Concomitantemente, o nitrogênio não afetou a massa de capulho em três dos quatro experimentos conduzidos conforme houve aumento da dose de N. Essa resposta foi observada apenas no experimento IV, em Chapadão do Sul, notando-se redução da massa de capulho quando a dose de N foi aumentada a partir de 0 kg ha⁻¹. Há registros de que o aumento da dose de adubo nitrogenado pode aumentar a massa de capulho (GÖRMÜS, 2005). No entanto, esse efeito é mais frequentemente relatado quando doses intermediárias são adicionadas em solos não previamente adubados, havendo, em doses excessivas, tendência de redução da massa média em consequência da formação de frutos de menor tamanho em fases mais avançadas do ciclo (BOQUET et al., 1994; GERIK, 1998). A redução da massa média resulta da competição interna entre os capulhos em maior número (BAKER; BAKER, 2010) e da maior proporção formada em épocas menos favoráveis em virtude do prolongamento do ciclo reprodutivo.

Comparando-se as produtividades médias dos cultivares precoce (EB 1405 GLT) e tardio (FM 983 GLT), notou-se que os valores ligeiramente superiores do cultivar precoce, mesmo não significativos, decorreram essencialmente da maior massa média de capulho (Figura 5). Geralmente, a massa média de capulho é fortemente influenciada por fatores genotípicos, porém condições ambientais também podem ser determinantes em aumentar ou reduzir o valor médio da planta. Como cultivares de ciclo tardio são caracterizados por produzir maior proporção dos capulhos em posições mais terminais (BEDNARZ; NICHOLS, 2005), a massa média final de capulho é mais suscetível de ser reduzida, visto que maior proporção de frutos se desenvolve em épocas de maior competição por açúcares e nutrientes e de temperaturas mais frias e propícias à falta de chuvas (KERBY et al., 2010).

Embora seja efetivamente influenciado por componentes genotípicos, o rendimento de fibra é afetado por fatores ambientais. Porém, os resultados após a imposição de sombreamento não têm sido consistentes de acordo com experimentos previamente conduzidos, observando-se situações específicas de aumento, redução, ou mesmo ausência de efeitos significativos, sendo esta última a predominante (CHEN et al., 2017; ECHER, 2017; ECHER; ROSOLEM, 2015; PETTIGREW, 1994; ZHAO; OOSTERHUIS, 2000). No presente trabalho, somente

em Primavera do Leste foi observado efeito significativo do sombreamento, um aumento pouco superior a 1% (Figura 6A). Considerando-se o crescimento limitado, maior rendimento de fibra pode estar associado, neste experimento, ao aumento da massa de capulho nas plantas sombreadas. Como nas plantas sombreadas houve redução do número de frutos, um fenômeno provável é a distribuição mais concentrada de fotoassimilados e nutrientes, o que possibilitou maior proporção de fibras nos capulhos. Em geral, a baixa influência dos fatores testados (condições de sombreamento, doses de N e cultivares) sobre o rendimento de fibra resultou em efeitos e padrões de variação similares sobre os valores finais de produtividade em caroço e em fibra (Figuras 2 a 5).

Em todos os experimentos, inclusive nas áreas e condições que possibilitaram maior produtividade, a altura de plantas, aumentada em função das doses de N, foi inferior à normalmente recomendada de 1,35 m no espaçamento de 0,90 m conforme a relação de 1,5 entre altura e espaçamento recomendada para áreas de algodão (RIGHI et al., 1965). Isso, porém, não significou necessariamente desenvolvimento reduzido das plantas, observando-se, por exemplo, produtividades bastante altas nos experimentos II e III. No experimento II, o aumento de altura em plantas sombreadas indicou uma possível ocorrência de um estiolamento temporário, embora tenha sido verificado somente nas doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N (Figura 7B). O aumento de altura é uma resposta temporária comum em plantas sombreadas, consequência da absorção de parte da radiação pelo elemento causador do sombreamento, resultando em aumento da proporção de fitocromo inativo em decorrência da diminuição da razão de luz vermelha para luz vermelho distante na radiação incidente (CASAL, 2013; MORGAN, 1980; TAIZ; ZEIGER; 2009). Esse efeito, porém, não se repetiu nos demais experimentos, onde as alturas de plantas com e sem sombra foram similares. A ausência, em todos os experimentos, de efeitos do sombreamento sobre a localização do último nó produtivo é uma indicação de que a diminuição do número de frutos retidos nas posições inferiores da planta não afetou duração final do período total de enchimento de maçãs.

O aumento final de altura e de número de nós nos experimentos I, II e III (Figuras 6, 7 e 8) em função do incremento das doses de N era esperado e indica prolongamento e intensificação do desenvolvimento vegetativo da planta (HALEVY et al., 1987; JACKSON; GERIK, 1990; MUNIR et al., 2015). Adicionalmente, em

todos os experimentos, as maiores doses estiveram associadas ao atraso fenológico no fim do ciclo, indicado pelo aumento do valor do último nó com ramo produtivo (Figuras 6D, 7D, 8D e 9D). No experimento IV, a ausência de efeitos sobre o número total de nós nas plantas pelas doses de N não era esperada, tendo havido diferenças somente entre cultivares (Tabela 6). Há, porém, resultados que apontam ausência de efeitos significativos da adubação nitrogenada sobre o número total de nós em doses baixas e moderadas, inferiores a 100 kg ha^{-1} (AYISSA; KEBEDE, 2011). A maior altura, o maior número de nós e o maior valor de último nó com ramo produtivo do cultivar tardio (FM 983 GLT) em comparação a EB 1405 GLT (Figuras 9B, 9C e 9D) era, por outro lado, uma resposta prevista, uma vez que genótipos de ciclo mais tardio apresentam padrão de crescimento mais indeterminado, caracterizado por maior crescimento vegetativo para possibilitar a retenção de frutos em posições mais tardias (BEDNARZ; NICHOLS, 2005; KERBY et al., 1990).

De modo geral, as médias de N foliar estiveram entre 35 e 50 g kg^{-1} , considerando-se todos os experimentos e, embora aumentassem em função da dose de N, as variações foram pequenas, nunca superiores a 8 g kg^{-1} entre a menor e a maior dose de N em cobertura (Figura 15). A fertilidade do solo e a adição de N influenciam diretamente as concentrações de N foliar, as quais possuem correlação direta com as respostas de produtividade de algodão (BORIN et al., 2017; COPE, 1984; GERIK et al., 1994). No experimento II, as maiores concentrações de N foliar nas doses de 120 e 180 kg ha^{-1} não estiveram associadas a maiores produtividades de algodão quando comparadas à dose de 60 kg ha^{-1} . Os resultados estiveram mais diretamente relacionados com resultados de produção nos experimentos III e IV, uma vez que, conforme verificado nos testes de médias para N foliar, foi observado aumento consistente da produtividade e do número de capulhos por área até pelo menos as doses de 120 e 80 kg ha^{-1} de N, respectivamente (Figuras 4, 5 e 15). O alto valor da probabilidade de significância (p) para doses de N na análise de N foliar no experimento I, porém, não era esperada (Tabela 9). As diferenças de N foliar entre os experimentos podem ser atribuídas a variações em características de ambiente, cultivares e sistemas de manejo. Dentro do experimento IV, porém, a comparação entre cultivares não resultou em diferença significativa (Tabela 9, Figuras 15D e 15E).

Verificou-se uma tendência de aumento de N foliar em resposta ao sombreamento, mas o efeito foi significativo apenas no experimento III (Tabela 9,

Figura 15). Aumentos sincronizados das concentrações de N e clorofila foliares, especialmente clorofila b, foram relatados em algodoeiro sombreado (ZHAO; OOSTERHUIS, 1998ab). Similarmente ao verificado em outras espécies C3, o aumento da concentração de proteínas foliares nitrogenadas em condições de restrição de luz leva a um aumento da concentração de N foliar, ao passo que a capacidade de transporte de elétrons é diminuída, reduzindo a fotossíntese líquida (EVANS, 1989; HISOKAKA; TERASHIMA, 1995). Resultados anteriores também indicaram um efeito expressivo do sombreamento em aumentar a concentração de nitrato na folha (ZHAO; OOSTERHUIS, 1998a), decorrente da redução da atividade da enzima nitrato redutase (YU et al., 2011). Uma evidência adicional da influência do sombreamento sobre as plantas dos experimentos foi a detecção de alterações morfológicas visuais na folha diagnóstica de avaliação nutricional (aumento de área foliar, aumento de comprimento de pecíolo e redução da massa foliar específica) após a retirada da tela (dados não mostrados), que também foram constatadas por Najeeb et al. (2016). Essas alterações podem ter contribuído para o aumento da concentração de N das respectivas amostras destinadas à análise.

Os valores de relação Q_g/Q_o durante o período de sombreamento estiveram entre 44 e 50%, com exceção do experimento de Primavera do Leste, onde a ausência de chuvas a partir do mês de abril resultou em taxa superior a 63% (Tabela 5). A redução de radiação global, devido à maior presença de nuvens, em Itapeva no mês de janeiro (Tabela 4), fase crítica em ambos os experimentos locais (II e III), não impediu a obtenção de altas produtividades quando altas doses ou excessivas de N foram adicionadas em cobertura. Nos experimentos conduzidos em ambiente de Cerrado (Primavera e Chapadão do Sul), notou-se um acentuado aumento a partir de abril da relação Q_g/Q_o , o que está associado à redução de nuvens e chuvas ao final do período chuvoso. A relação Q_g/Q_o é um indicador indireto da redução da radiação global devido à presença de nuvens. Quanto maior a relação, menor a interferência atmosférica. Escobedo et al. (2009) classificam o intervalo de 35 a 55% como condição parcialmente nublada, com predominância de radiação difusa em comparação à direta, mas com nebulosidade decrescente conforme se aproxima do limite superior, onde as duas frações se igualam. Embora mais próximos do limiar superior (55%), os dias foram, em média, parcialmente nublados nos experimentos II, III e IV (Tabela 5), fator que pode limitar a eficiência do sombreamento artificial, devido à redução de luminosidade ambiental proveniente de períodos nublados

prolongados. Entretanto, o sombreamento aplicado foi efetivo em influenciar a produtividade de algodão nos experimentos III e IV. Ressalta-se que é possível ocorrer situações pontuais em que uma tela de sombreamento que propicie nível de redução de 42% na radiação global seja insuficiente para diminuir a radiação fotossinteticamente ativa a níveis inferiores a $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, acima do qual os incrementos de fotossíntese líquida são baixos (WELLS, 2011). Assim, os efeitos podem variar qualitativa e quantitativamente conforme o nível de sombreamento imposto (CHEN et al., 2014; LIU et al., 2015).

Em diferentes experimentos, o aumento da dose de N esteve associado a um aumento da retenção de frutos tardios e possibilitou a compensação das perdas de produção provocadas pelo sombreamento imposto no início do florescimento. Os resultados indicaram que, em ambientes onde as plantas são mais responsivas ao N, a ausência de adubação nitrogenada impede a recuperação da produção em posições mais tardias, levando à redução de produtividade das plantas sombreadas no início do florescimento. Adicionalmente, foi testado, no experimento IV, o aumento de produtividade pelo cultivar FM 983 GLT, na presença de sombra, em resposta ao N, tendo-se em vista sua maior capacidade de produção de frutos tardios. Nessa avaliação, foi constatada a compensação do efeito do sombreamento pelo cultivar FM 983 GLT em resposta à adubação nitrogenada na dose máxima de 160 kg ha^{-1} , o que não ocorreu com o cultivar EB 1405 GLT (Figuras 5A e 5B). Por outro lado, mesmo sem recuperar as perdas causadas pelo sombreamento, as produtividades do cultivar EB 1405 GLT na presença de sombra nas doses de N de 80 e 160 kg ha^{-1} foram relativamente próximas às verificadas com FM 983 GLT, também na mesma condição e nas doses de 80 e 160 kg ha^{-1} . Adicionalmente, em parcelas não sombreadas, o cultivar precoce sempre apresentou produtividade de fibra acima de 1800 kg ha^{-1} , valor não atingido pelo cultivar FM 983 GLT (Figura 5B). Assim, as características de potencial produtivo em condições ótimas, de suscetibilidade às perdas de produção e de posterior poder de recuperação mediante adubação nitrogenada podem ser importantes na escolha do genótipo para um ambiente específico. Porém, embora as possibilidades de compensação de perdas sejam maiores em cultivares tardios, a produção pode não ser reposta dependendo da severidade do estresse e das restrições ambientais até o fim do ciclo.

Portanto, considerando-se todos os possíveis fatores influentes sobre a produtividade de algodão, a melhor estratégia contra perdas por restrição luminosa no início do florescimento é a disponibilidade de N no solo em quantidades suficientes para possibilitar a retenção de frutos mais tardios, mas a recomendação final é dependente das condições edáficas, ambientais e econômicas do sistema de produção em questão.

1.5 Conclusões

A redução temporária da luminosidade sobre o dossel do algodoeiro no início do florescimento diminui a produtividade de algodão em caroço mediante a redução da retenção de frutos iniciais, sendo esse fenômeno observado em cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, e em diferentes doses de adubação nitrogenada de cobertura. Nessas condições, a aplicação de doses elevadas de fertilizante nitrogenado para obtenção de altas produtividades reduz os riscos de perdas causadas pela restrição de luz no início do florescimento, ao passo que estes são potencializados em solos deficientes em N. É possível, porém que adubações excessivas resultem em queda de rendimento de fibra. Adicionalmente, a capacidade de resposta de plantas sombreadas inclui um componente genético. Nesse sentido, o padrão de distribuição de frutos indica maiores chances de recuperação de perdas por meio do aumento de doses de N em plantas de ciclo mais longo. É necessário considerar, porém, que o padrão de retenção de maior proporção de frutos em nós e posições superiores da planta em cultivares tardios não garante maior produtividade em comparação a cultivares de ciclo mais curto após um período de sombreamento no início do florescimento.

Referências

- AYISSA, T.; KEBEDE, F. Effect of nitrogenous fertilizer on the growth and yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties in Middle Awash, Ethiopia. **Journal of the Drylands**, Mekelle, v. 4, p. 248-258, 2011.
- BAKER, D. N.; BAKER, J. T. Cotton source/sink relationships. In: STEWART, J. McD.; OOSTERHUIS, D. M.; HEITHOLT, J. J.; MAUNEY, J. R. (Ed.). **Physiology of cotton**. New York: Springer, 2010. chap. 8, p. 80-96.
- BEDNARZ, C. W.; NICHOLS, R. L. Phenological and morphological components of cotton crop maturity. **Crop Science**, Madison, v. 45, p. 1497-1503, 2005.
- BELOT, J. L.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Época de plantio para o cultivo adensado do algodoeiro em Mato Grosso. In: BELOT, J. L.; VILELA, P. A. (Ed.). **O sistema de cultivo do algodoeiro adensado em Mato Grosso: Embasamento e primeiros resultados**. 1. ed. Cuiabá: Delfanti Editora, 2010. cap.4, p.95-113.
- BLOM-ZANDSTRA, M.; LAMPE, J. E. M.; AMMERLAAN, F. H. M. C and N utilization of two lettuce genotypes during growth under non-varying light conditions and after changing the light intensity. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 74, p.147-153, 1988.
- 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**, Madison, v. 86, p. 20-26, 1994.
- BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, A. C. B.; SOFIATTI, V.; CARVALHO, M. C. S.; MORAES, M. C. B. Produtividade do algodoeiro adensado em segunda safra em resposta à adubação nitrogenada e potássica. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, p. 622-630, 2017.
- CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: ABRAPA, 2011. p. 677-752.
- CASAL, J. J. Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 64, p. 403-427, 2013.
- CHEN, B. L.; YANG, H. K.; MA, Y. N.; LIU, J. R.; LV, J. R.; CHEN, J.; MENG, Y. L.; WANG, Y. H. Effect of shading on yield, fiber quality and physiological characteristics of cotton subtending leaves on different fruiting positions. **Photosynthetica**, Praha, v. 55, p. 240-250, 2017.
- CHEN, Z.; TAO, X.; KHAN, A.; TAN, D. K. Y.; LUO, H. Biomass accumulation, photosynthetic traits and root development of cotton as affected by irrigation and nitrogen-fertilization. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, 2018. DOI: 10.3389/fpls.2018.00173.

CHIAVEGATO, E. J.; BERNARDES, M. S.; CARVALHO, H, R. Estratégias para melhorar o aproveitamento da luminosidade na cultura do algodão. In: ECHER, F. R. (Ed.). **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2014. p. 43-61.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília: CONAB, 2017. 157 p. (v. 4, n. 9).

COPE, J. T. Relationships among rates of N, P, and K, soil test values, leaf analysis and yield of cotton at 6 locations. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 15, p. 253-276, 1984.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2013. 910 p.

ECHER, F. R. Yield and fiber quality of cotton cultivars in response to shading. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 13, p. 87-96, 2017.

ECHER, F. R.; BOGIANI, J. C.; ROSOLEM, C. A. **Considerações técnicas sobre o manejo de regulador de crescimento no algodoeiro**. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2014. (Circular Técnica, 7).

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**, Amsterdam, v. 65, p. 18-26, 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro:, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS, Documentos, 1).

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. **Applied Energy**, Oxford, v. 86, p. 299-309, 2009.

EVANS, J. R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. **Oecologia**, New York, v. 78, p. 9-19, 1989.

FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. 3. ed. Brasília: ABRAPA, 2015. 956 p.

FUNDAÇÃO MT. Adubação e nutrição do algodoeiro. In: _____ (Ed.). **Boletim de Pesquisa de Algodão**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 125-143. (Boletim, 4).

GERIK, T. J.; JACKSON, B. S.; STOCKLE, C. O.; ROSENTHAL, W. D. Plant nitrogen status and boll load of cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 514-518, 1994.

GERIK, T. J.; OOSTERHUIS, D. M.; TORBERT, H. A. Managing cotton nitrogen supply. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 64, p. 115-147, 1998.

GUINN, G. Fruit age and changes in abscisic acid content, ethylene production, and abscission rate of cotton fruits. **Plant Physiology**, Danvers, v. 69, p. 349-352, 1982.

GÖRMÜS, O. Interactive effect of nitrogen and boron on cotton yield and fiber quality. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 29, p. 51-59, 2005.

HALEVY, J.; MARANI, A.; MARKOVITZ, T. Growth and NPK uptake of high-yielding cotton grown at different nitrogen levels in a permanent-plot experiment. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 103, p. 39-44, 1987.

HEARN, A. B. Response of cotton to water and nitrogen in a tropical environment. I. Frequency of watering and method of application of nitrogen. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 84, p. 407-417, 1975.

HIROSAKA, K.; TERASHIMA, I. A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C3 plants to sun and shade with respect to nitrogen use. **Plant, Cell and Environment**, Hoboken, v. 18, p. 605-618, 1995.

JACKSON, B. S.; GERIK, T. J. Boll shedding and boll load in nitrogen-stressed cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 483-488, 1990.

JOHAM, H. E. Effects of nutrient elements on fruiting efficiency. In: MAUNEY, J. R.; STEWART, J. McD. (Ed.). **Cotton Physiology**. Memphis: The Cotton Foundation, 1986. p. 79-90. (The Cotton Foundation Reference Book Series, 1).

KAWAKAMI, E. M. **Cultivares de algodão TMG**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 10., 2015, Foz do Iguaçu. Brasília: ABRAPA, 2015. Palestra. Disponível em: <<http://congressodoalgodao.com.br/2015/livro-de-resumos2015/palestrantes.htm>>. Acesso em: 1 out. 2018.

KERBY, T. A.; BOURLAND, F. M.; HAKE, K. D. Physiological rationales in plant monitoring and mapping. In: STEWART, J. McD.; OOSTERHUIS, D. M.; HEITHOLT, J. J.; MAUNEY, J. R. (Ed.). **Physiology of cotton**. New York: Springer, 2010. chap. 27, p. 304-317.

KERBY, T. A.; CASSMAN, K. G.; KEELEY, M. Genotypes and plant densities for narrow-row cotton systems. I. Height, nodes, earliness, and location of yield. **Crop Science**, Madison, v. 30, p. 644-648, 1990.

SILVA, N. M.; RAIJ, B. van. Fibras. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 108. (Boletim Técnico, 100).

MCDONALD, J. H. Data transformations. In: _____. **Handbook of biological statistics**. 3. ed. Baltimore: Sparky House Publishing, 2014. p. 141-145.

MUNIR, M. K.; TAHIR, M.; SALEEM, M. F.; YASEEN, M. Growth, yield and earliness response of cotton to row spacing and nitrogen management. **Journal of Plant and Animal Sciences**, Lahore, v. 25, p. 729-738, 2015.

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**, Amsterdam, v. 183, p. 1-13, 2013.

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**, Madison, v. 53, p. 2670-2678, 2013.

MALAVOLTA, E. Diagnose Foliar. In: _____. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 1. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. p. 568-612.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARUR, C. J.; RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 5, p. 313-317, 2001.

MORGAN, D. C.; O'BRIEN, T.; SMITH, H. Rapid photomodulation of stem extension in light-grown *Sinapis alba* L. **Planta**, New York, v. 150, p. 95-101, 1980.

MULLINS, G. L.; BURMESTER, C. H. Relation of growth and development to mineral nutrition. In: STEWART, J. McD.; OOSTERHUIS, D. M.; HEITHOLT, J. J.; MAUNEY, J. R. (Ed.). **Physiology of cotton**. New York: Springer, 2010. chap. 9, p. 97-105.

NAJEEB, U.; BANGE, M. P.; ATWELL, B. J.; TAN, D. K. Y. Low incident light combined with partial waterlogging impairs photosynthesis and imposes a yield penalty in cotton. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Hoboken, v. 202, p. 331-341, 2016.

PETTIGREW, W. T. Source-to-sink manipulation effects on cotton lint yield and yield components. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 731-735, 1994.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

RAPER Jr., C. D.; OSMOND, D. L.; WANN, M.; WEEKS, W. W. Inter-dependence of root and shoot activities in determining nitrogen uptake rate of roots. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 139, p. 289-294, 1978.

REDDY, A. R.; REDDY, K. R.; PADJUNG, R.; HODGES, H. F. Nitrogen nutrition and photosynthesis in leaves of pima cotton. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 19, p. 755-780, 1996.

RIGHI, N.; FERRAZ, C. A. M.; CORRÊA, D. M. Cultura. In: NEVES, O. S. et al. **Cultura e adubação do algodoeiro**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 1965. p. 255-317.

ROSOLEM, C. A.; BOGIANI, J. C. Nutrição e estresses nutricionais em algodoeiro. In: ECHER, F. R. (Ed.). **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2014. p. 103-121.

SILVA, N. M. Algodão. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. p. 109-111. (Boletim Técnico, 100).

SILVA, N. M.; FUZATTO, M. G.; KONDO, J. I.; SABINO, J. C.; PETTINELLI JR.; GALLO, P. G. A adubação nitrogenada e o sintoma de nematóides no algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 693-697, 1997.

SINGH, P.; SAWHNEY, S. K. Nitrate assimilation in plants. In: MEHTA, S. L.; LODHA, M. L.; SANE, P. V. (Ed). **Recent Advances in Plant Biochemistry**. New Delhi: ICAR Publications, 1989. p. 141.

SLUIJS, M. H. J. van der. Impact of the ginning method on fiber quality and textile processing performance of long staple upland cotton. **Textile Research Journal**, London, v. 85, p. 1579-1589, 2015.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. L. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. O fitocromo e o controle do desenvolvimento das plantas pela luz. In: _____. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E. R. Santarém. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. cap. 17, p. 476-504.

WANJURA, J. D.; ARMIJO, C. B.; FAULKNER, W. B.; BOMAN, R. K.; KELLEY, M. S.; HOLT, G. A.; PELLETIER, M. G. Comparison of high-speed roller and saw ginning on Texas High Plains cotton. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCES, 2012, Orlando. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council of America, 2012. p. 671-675.

WELLS, R. Light and the cotton plant. In: OOSTERHUIS, D. M. (Ed.). **Stress physiology in cotton**. Cordova: The Cotton Foundation, 2011. chap. 4, p. 73-84. (The Cotton Foundation Reference Book Series, 7).

YU, S.; WANG, Y. H.; ZHOU, Z. G.; LU, F. J.; LIU, J. R.; MA, Y. N.; CHEN, J.; ABUDUREZIKE, A. Effect of shade on nitrogen metabolism and its mechanism in cotton plant at flowering and boll-forming stage. **Acta Agronomica Sinica**, Beijing, v. 37, p. 1879-1887, 2011.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L. C. Calagem e adubação. In: FUNDO DE APOIO À CULTURA DO ALGODÃO (Ed.). **Algodão: pesquisas e resultados para o campo**. Cuiabá: FACUAL, 2006. p. 56-80. (Publicações FACUAL, v. 2).

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M. Cotton responses to shade at different growth stages: growth, lint yield and fibre quality. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 36, p. 27-39, 2000.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M. Cotton responses to shade at different growth stages: nonstructural carbohydrate composition. **Crop Science**, Madison, v. 38, p. 1196-1203, 1998a.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M. Influence of shade on mineral nutrient status of field-grown cotton. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, p. 1681-1695, 1998b.

CAPÍTULO 2 – INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO E DA ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE A QUALIDADE DE FIBRA DO ALGODOEIRO

Resumo

O uso de altas doses de N pode amenizar danos de estresses sobre os componentes de produção do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). No entanto, informações sobre modificações na qualidade final de fibra após restrição de luz em fases críticas do ciclo são escassas. O objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade da fibra de algodão de plantas sombreadas submetidas a doses de N. Quatro experimentos de campo foram conduzidos no Brasil nos anos de 2016 e 2017: Primavera do Leste/MT (I); Itapeva/SP, em áreas não irrigada (II) e irrigada (III); e Chapadão do Sul/MS (IV). As plantas foram sombreadas no início do florescimento, reduzindo-se em 42% a radiação global por um período entre 16 e 25 dias; e realizaram-se duas adubações de N em cobertura durante a fase reprodutiva, nas doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ (I, II e III); e 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ (IV), testando-se também no último experimento os cultivares EB 1405 GLT (ciclo precoce) e FM 983 GLT (ciclo tardio). Nos experimentos III e IV, realizaram-se também avaliações de rendimento e qualidade de fibra nos terços inferior, médio e superior do dossel. A ausência de interações na maioria das análises indicou que os efeitos do sombreamento e da adubação nitrogenada sobre a qualidade de fibra são independentes. O sombreamento pouco influenciou as características avaliadas, com efeitos pontuais e inconsistentes sobre índice micronaire, resistência, comprimento, uniformidade de comprimento e índice de fibras curtas. Constatou-se, porém, redução do micronaire com as maiores doses de N, com coeficientes angulares de regressão linear variando entre -0,0013 e -0,0025 por kg de N, dependendo do experimento. Adubação nitrogenada reduziu o micronaire nos três terços da planta no experimento III e no terço inferior no experimento IV, mas não afetou constantemente as demais características. Em geral, efeitos significativos sobre rendimento de fibra ocorreram esporadicamente. Comprimento e resistência variaram entre genótipos no experimento IV, com valores geralmente superiores no cultivar FM 983 GLT, que também apresentou médias de micronaire maiores no terço inferior e menores no terço superior em comparação a EB 1405 GLT. O sombreamento temporário no início do florescimento resulta em efeitos limitados e inconsistentes sobre a qualidade de fibra. Por outro lado, a adubação nitrogenada produz resultados mais diretos e previsíveis, de modo que doses mais altas de N aumentam os riscos de ocorrência de fibras imaturas.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L. High Volume Instrument (HVI). Nitrogênio. Estresse luminoso.

INFLUENCE OF SHADING AND NITROGEN FERTILIZATION ON COTTON FIBER QUALITY

Abstract

High N-rate applications may alleviate stress damages on yield components of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). However, there is little information on possible modifications of the final fiber quality after light limitation during critical growth stages. The objective of this work was to evaluate fiber quality properties of shaded cotton plants subjected to different N rates. Four experiments were conducted in Brazil in 2016 and 2017 seasons: Primavera do Leste/MT (I); Itapeva/SP, in non-irrigated (II) and irrigated areas (III); and Chapadão do Sul/MS (IV). Cotton plants were shaded at early flowering to a 42% reduction in global radiation for a period of time ranging from 16 to 25 days; and two topdressing N applications were made during the reproductive stage, at rates of 0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ (I, II and III); and 0, 80 and 160 kg ha⁻¹ in the latter experiment (IV), where the cultivars EB 1405 GLT (early-cycle) and FM 983 GLT (late-cycle) were also tested. Also, in the experiments III and IV, gin turnout and fiber quality were assessed at the lower, middle, and upper thirds of the canopy. The absence of interaction in most analyzes indicated that shading and nitrogen fertilization effects on fiber quality are independent. Shading had little influence on fiber properties, resulting in occasional, but inconsistent, effects on micronaire, strength, length, length uniformity index, and short fiber index. It was verified that micronaire index of samples harvested for yield measurements was decreased under higher N rates, with angular coefficients from regression analyses ranging from -0.0013 to -0.0025 per kg of N depending on the experiment. Nitrogen fertilization also reduced micronaire at the three fractions of the canopy in experiment III and at the lower third in experiment IV, but did not have constant effects on the other properties evaluated. In general, effects on lint percentage were sporadic. Fiber length and strength values varied among genotypes in experiment IV and were generally greater in FM 983 GLT. This cultivar also showed micronaire averages greater at the lower third and lower at the upper third compared with EB 1405 GLT. Short-term shading during early flowering results in limited and inconsistent effects on fiber quality. On the other hand, N fertilization provides more direct and predictable results, so that higher N rates increase the risk of occurrence of immature fibers.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L. High Volume Instrument (HVI). Nitrogen. Light stress.

2.1 Introdução

Na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*), a produção de fibras de qualidade satisfatória para a indústria tornou-se um requisito fundamental e de crescente importância na definição de estratégias de manejo no campo. No Brasil, as avaliações instrumentais são estabelecidas por análise em *HVI* (*High Volume Instrument*), embora novos métodos, como *AFIS* (*Advanced Fiber Information System*), tenham sido gradativamente introduzidos. A qualidade da fibra pode variar consideravelmente entre locais, anos, genótipos e condições ambientais.

Cada fibra de algodão é originária do crescimento de uma única célula da epiderme da semente, que se desenvolve em duas fases principais. Inicialmente, a célula da fibra se alonga (fase de alongamento) por 25 a 30 dias após a antese, quando atinge seu comprimento máximo (SABINO et al., 1976), ou a taxa de crescimento passa a ser muito lenta e não significativa (SCHUBERT et al., 1973). Depois desse período predomina um processo de crescimento em espessura da parede celular da célula de fibra (NAITHANI et al., 1982) pela deposição de celulose em camadas internas concêntricas (fase de maturação).

O hábito de crescimento indeterminado do algodoeiro, caracterizado pela formação de frutos de variadas idades ao mesmo tempo, resulta, em uma mesma planta, na produção de fibras que se desenvolvem em ambientes que podem ser muito diferentes um do outro. Consequentemente, os capulhos desenvolvidos nas primeiras posições de frutificação podem apresentar fibras com qualidade intrínseca completamente diferente daquelas formadas em frutos mais tardios situados em ramos mais próximos da gema apical (DAVIDONIS et al., 2004; KOTHARI et al., 2015).

O ambiente durante o enchimento do fruto é o principal fator determinante de diversas características intrínsecas fundamentais em avaliações instrumentais. Experimentos anteriores relataram os efeitos de fatores ambientais na qualidade de fibra. Por exemplo, baixas temperaturas têm sido associadas a limitações no processo de formação da fibra, principalmente na fase de deposição de celulose, levando à redução de maturidade, medida através da redução do índice micronaire (BANGE et al., 2010; LOKHANDE; REDDY, 2014). Em outros trabalhos, condições de déficit hídrico severo após o início do florescimento resultaram em queda de qualidade, com redução do comprimento de fibra (GRIMES; YAMADA, 1982; ZONTA et al., 2015) e do índice micronaire (MARANI; AMIRAV, 1971).

A restrição de luz tem sido um dos fatores ambientais de estresse mais estudados recentemente e associada a efeitos prejudiciais sobre os componentes de produção a partir do florescimento, resultando principalmente em redução do número de frutos e, em menor frequência e magnitude, da massa dos capulhos e do rendimento de fibra (CHEN et al., 2017; ECHER; ROSOLEM, 2015b; LV et al., 2013; PETTIGREW, 1994; ZHAO; OOSTERHUIS, 2000). Efeitos prejudiciais sobre a qualidade de fibra têm sido observados principalmente na redução de maturidade e índice micronaire (PETTIGREW, 1995, 2001; ZHAO; OOSTERHUIS, 2000).

No Brasil, a semeadura do algodoeiro abrange os meses entre outubro e janeiro nas principais regiões produtoras. O período mais chuvoso, que se estende de outubro a março, coincide com o início da fase reprodutiva, tornando comum a ocorrência de dias com períodos nublados prolongados. Nos últimos anos, o aumento expressivo das áreas de algodão de segunda safra após produção de soja (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2017) elevou a proporção de áreas semeadas em janeiro. Como consequência, maior quantidade de frutos formados a partir dos meses de março e abril na produção final tem sido verificada. Esse deslocamento da época de semeadura tem suscitado crescentes preocupações com a qualidade de fibra do algodão produzido no Brasil, visto que a partir de abril as reduções de temperatura e de chuvas são fatores que limitam o processo de formação da fibra, especialmente a maturação.

No manejo da cultura, a adubação nitrogenada é uma estratégia empregada para assegurar a recuperação das plantas em condições de estresses e possibilitar a formação de novos frutos. Resultados de pesquisa anteriores indicam que doses de N altas ou em excesso podem não afetar ou, contrariamente, resultar em efeitos que podem ser tanto positivos quanto negativos sobre as características intrínsecas da fibra (BAUER; ROOF, 2001; MAIN et al., 2013; PETTIGREW; ZENG, 2014). Nesse sentido, o aumento da dose de N é um fator que pode modificar a qualidade final da fibra devido a alterações na distribuição dos capulhos dentro da planta após um período de sombreamento.

Em geral, as amostragens de fibra para a avaliação instrumental são aleatórias de posições predeterminadas das plantas. É possível, porém, que as respostas ao sombreamento e à adubação nitrogenada sejam pontuais e específicas durante o ciclo, resultando em efeitos diferenciados dependendo da localização dos capulhos colhidos. Adicionalmente, o uso de cultivares com características distintas de

desenvolvimento pode influenciar de modo diferente o rendimento e a qualidade de fibra dentro da planta na presença de restrição luminosa associada à adubação nitrogenada da cultura, uma vez que cultivares de ciclo mais precoce e tardio retêm, respectivamente, maior proporção de frutos em ramos inferiores e superiores da haste principal (BEDNARZ; NICHOLS, 2005). As alterações de distribuição de qualidade de fibra nas plantas de algodão em diferentes ambientes podem ser úteis na definição do manejo para evitar possíveis deságios na fibra a ser comercializada.

Assim, considerando-se a possibilidade de que a adubação nitrogenada pode afetar de modo distinto a qualidade de fibra de plantas com e sem restrição de luz e que essas respostas podem variar em função dos locais de amostragem da fibra na planta e de cultivares, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da fibra de plantas sombreadas submetidas a doses de adubo nitrogenado.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Caracterização, localização e delineamento das áreas experimentais

O Estudo foi realizado em quatro experimentos de campo durante as safras agrícolas 2015/2016 e 2016/2017, submetendo-se o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) à restrição luminosa temporária de 42% da radiação global no início do florescimento em combinação com doses de nitrogênio em adubações de cobertura: Primavera do Leste/MT (experimento I), Itapeva/SP, em duas áreas distintas, sendo uma com semeadura em meados de outubro e não irrigada (experimento II) e outra semeada no início de novembro e com irrigação em sistema de pivô central (experimento III), e Chapadão do Sul/MS (experimento IV). Os experimentos I, II e III foram submetidos às doses de cobertura de 0, 60 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, com quatro repetições. No experimento IV, foram testadas, em combinação com a restrição de luz, as doses de N em cobertura de 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ nos cultivares EB 1405 GLT (ciclo precoce) e FM 983 GLT (ciclo tardio), com três repetições. O cultivar EB 1405 GLT foi recentemente renomeado como “FM 906 GLT” para fins comerciais. Decidiu-se, no entanto, manter o nome original “EB 1405 GLT” vigente no início de trabalho. Todos os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial. As características de cada área experimental, a condução das áreas e os respectivos delineamentos foram detalhadamente apresentados anteriormente entre as seções 1.2.1 e 1.2.5 do Capítulo 1.

2.2.2 Qualidade de fibra em amostras de produção geral das plantas

Para determinação da qualidade de fibra de amostras das parcelas úteis de produção, foram colhidos 2,0 m (experimento I, Primavera do Leste) ou 3,0 m (experimentos II e III, Itapeva) contínuos de cada uma das duas linhas centrais em cada parcela nas plantas no dia da colheita. Em Chapadão do Sul (experimento IV), foram escolhidas aleatoriamente em cada parcela duas linhas centrais, colhendo-se então os capulhos em cada uma delas em 3,0 m contínuos. Após a colheita, amostras homogêneas de 150 g de algodão em caroço provenientes da produção de cada parcela (amostras de produção geral) foram coletadas, beneficiadas em máquina descaroçadora de rolo e, posteriormente, encaminhada para análise de qualidade de fibra em *HVI* (*High Volume Instrument*).

2.2.3 Rendimento e qualidade de fibra em amostras por grupos de nós da haste principal (experimentos III e IV)

Nos experimentos III (Itapeva, irrigado) e IV (Chapadão do Sul), foi realizada a avaliação de qualidade de fibra por ramos frutíferos primários (ligados diretamente ao caule) ao longo da haste principal. No experimento III, as frações terços inferior (nós ≤ 11), médio (nós 12 a 16) e superior (nós ≥ 17) foram adotadas. No experimento IV, a haste principal também foi fracionada em terços, mas os agrupamentos foram modificados para os terços inferior (nós ≤ 10), médio (nós 11 a 13) e superior (nós ≥ 14). Não foram considerados os capulhos de ramos frutíferos desenvolvidos em ramos vegetativos.

Sete plantas consecutivas de algodoeiro no ponto de colheita foram coletadas de uma das linhas úteis em cada parcela, cortando-se a haste principal ao nível do solo, e removidas do campo. Os capulhos, então, foram colhidos e agrupados pelos terços inferior, médio e superior dos ramos frutíferos primários (ligados diretamente à haste principal). Em seguida, amostras de 60 g foram conduzidas para beneficiamento em máquina descaroçadora de rolo, obtendo-se o rendimento percentual de fibra e, posteriormente, encaminhadas para análise de qualidade de fibra em *HVI*.

2.2.4 Análise dos dados

Os dados de comprimento de fibra, uniformidade de comprimento, índice micronaire, resistência de fibra e índice de fibras curtas das amostras de produção

geral foram submetidos a análises estatísticas. Na análise de qualidade de fibra por fração da haste principal das plantas, além dos itens anteriormente citados, análises sobre os percentuais de rendimento de fibra também foram realizadas. Os testes de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e Levene ($p < 0,05$) foram previamente realizados para avaliações de normalidade e homocedasticidade dos dados, respectivamente, os quais foram transformados quando necessário para atender às pressuposições da análise de variância (McDONALD, 2014) e posteriormente apresentados com seus valores originais.

Procedeu-se à análise de variância para avaliação dos efeitos dos tratamentos em cada experimento pelo teste F ao nível de significância de 5% ($F, p < 0,05$). Condições de sombreamento, doses de N em cobertura e cultivares foram considerados efeitos fixos. As médias dos fatores e interações que resultaram em F significativo foram comparadas pelo teste t ao nível de significância de 5% (DMS, $p < 0,05$). Para avaliar a influência da adubação nitrogenada sobre os resultados de qualidade de fibra, foram realizadas, nas amostras de produção geral, análises de regressão quadrática e linear em função das doses de N. As análises estatísticas foram realizadas sobre dados coletados dentro de um mesmo experimento. Foi utilizado o procedimento Proc GLM, do sistema estatístico SAS, versão 9.2 (SAS Institute, Carolina do Norte, E.U.A.).

2.3 Resultados

2.3.1 Qualidade de fibra na produção colhida (amostras de produção geral)

Não foram encontradas interações significativas ($p < 0,05$) em nenhum dos experimentos para comprimento, uniformidade de comprimento, micronaire, resistência e índice de fibras curtas nas amostras de produção geral (Tabela 10). Nas análises de regressão em função de doses de N, características cujos ajustes linear e quadrático não tenham sido significativos foram apresentadas graficamente em seus valores originais, sem as respectivas equações (Figuras 16 a 19).

Com exceção do experimento III, as médias de comprimento de fibra sempre estiveram acima de 30 mm (Figuras 16A, 17A, 18A e 19A). Os valores mais baixos no referido experimento são provavelmente característicos do cultivar.

Tabela 10 – Probabilidades de significância dos valores de F (*p*) da análise de variância de comprimento de fibra (Comp), uniformidade de comprimento (UC), índice micronaire (Mic), resistência de fibra (Res) e índice de fibras curtas (IFC) nas amostras de produção geral dos experimentos de campo

Efeito	Comp	UC	Mic	Res	IFC
Experimento I (Primavera do Leste)					
Sombra (A)	0,743	0,426	0,060	0,123	0,576
Dose de N (B)	0,305	0,452	0,004	0,146	0,044
A x B	0,386	0,610	0,682	0,136	0,181
Experimento II (Itapeva – sequeiro)					
Sombra (A)	0,593	0,393	0,915	0,517	0,389
Dose de N (B)	0,152	0,037	0,008	0,053	0,086
A x B	0,592	0,154	0,678	0,803	0,452
Experimento III (Itapeva – irrigado)					
Sombra (A)	0,934	0,362	0,022	0,355	0,345
Dose de N (B)	0,003	0,069	<0,001	0,986	0,433
A x B	0,417	0,828	0,612	0,667	0,889
Experimento IV (Chapadão do Sul)					
Sombra (A)	0,694	0,612	0,629	0,314	0,090
Dose de N (B)	0,604	0,912	0,032	0,970	0,642
Cultivar (C)	0,001	0,018	0,920	0,002	0,080
A x B	0,459	0,197	0,873	0,752	0,646
A x C	0,793	0,639	0,212	0,590	0,872
B x C	0,354	0,431	0,318	0,290	0,445
A x B x C	0,285	0,183	0,315	0,394	0,607

Em nenhum dos quatro experimentos o sombreamento afetou o comprimento final de fibra (Tabela 10). Efeito significativo da dose de N foi verificado somente no experimento III (Tabela 10), onde as médias de comprimento nas doses de 0 e 60 kg ha⁻¹ foram menores em, respectivamente, 3,8 e 2,0% em comparação à dose máxima de 180 kg ha⁻¹ (Figura 18A). Essa variação também foi detectada nas análises de regressão, onde foram estimados aumentos de 0,47 e 0,26 mm para cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de N nas condições com e sem sombra, respectivamente (Figura 18A). Os resultados de regressão do experimento III (Itapeva, irrigado) foram antagônicos aos verificados no experimento II (Itapeva, sequeiro), em que o aumento da dose de N diminuiu o comprimento de fibra, porém com efeito significativo somente na presença de sombra, notando-se uma queda de 0,09 mm a cada 60 kg ha⁻¹ (Figura 17A). As demais análises de regressão para comprimento de fibra nos experimentos conduzidos não foram significativas. No

experimento IV (Chapadão do Sul), os resultados revelaram diferença significativa entre cultivares, em que FM 983 GLT teve, em média, comprimento 0,88 mm superior ao do cultivar EB 1405 GLT (Tabela 10, Figura 19A).

Os percentuais de uniformidade de comprimento (UC) foram, em geral, satisfatórios (> 82%) em todos os experimentos. Os valores sempre estiveram acima de 83%, com exceção do experimento IV, em que as médias mais baixas estiveram ligeiramente acima de 82,5% (Figura 19B). Verificou-se que o aumento da dose de N diminuiu a uniformidade de comprimento no experimento II (Tabela 10, Figura 17B) e que no cultivar FM 983 GLT o valor foi em média 0,75% inferior ao do cultivar EB 1405 GLT no experimento IV (Tabela 10, Figura 19B). Não foram encontradas outras diferenças significativas nas demais comparações. Foram observadas regressões significativas apenas nos experimentos II e III na condição sem sombra, onde se estimaram, respectivamente, uma redução de 0,48% (Figura 17B) e um aumento de 0,30% (Figura 18B) a cada aumento de 60 kg ha^{-1} na dose de N. As variações dos dados nesses dois experimentos em função da dose de N pareceram seguir o mesmo padrão verificado para os valores de comprimento de fibra.

Embora tenham sido verificadas diferenças entre tratamentos, o índice micronaire sempre foi mantido acima de 3,9. Em geral, não foram observados efeitos do sombreamento, com exceção do experimento III, onde ocorreu aumento médio de 0,08 unidades em comparação à condição sem restrição de luz (Tabela 10, Figura 18D). O efeito mais nítido e frequente sobre a qualidade de fibra foi constatado sobre o micronaire em função da adubação nitrogenada (Tabela 10). O índice foi reduzido conforme a dose de N foi aumentada em todos os experimentos, de modo que a média na dose máxima sempre foi inferior à condição sem adubação (Figuras 16D, 17D, 18D e 19D). Essas diferenças variaram de 0,2 (experimento IV) a 0,37 (experimento III), considerando-se as médias de cada dose de N. Não houve diferença entre cultivares quanto ao índice micronaire (Tabela 10).

Figura 16 – Características de fibra de algodão em amostras de produção geral. Comprimento (A), uniformidade de comprimento (B), resistência (C), índice micronaire (D) e índice de fibras curtas (E) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento I, Primavera do Leste, MT (2016), cultivar TMG 45 B2RF

*** Significativo ao nível de 5% de probabilidade**
Barras verticais indicam o erro padrão da média

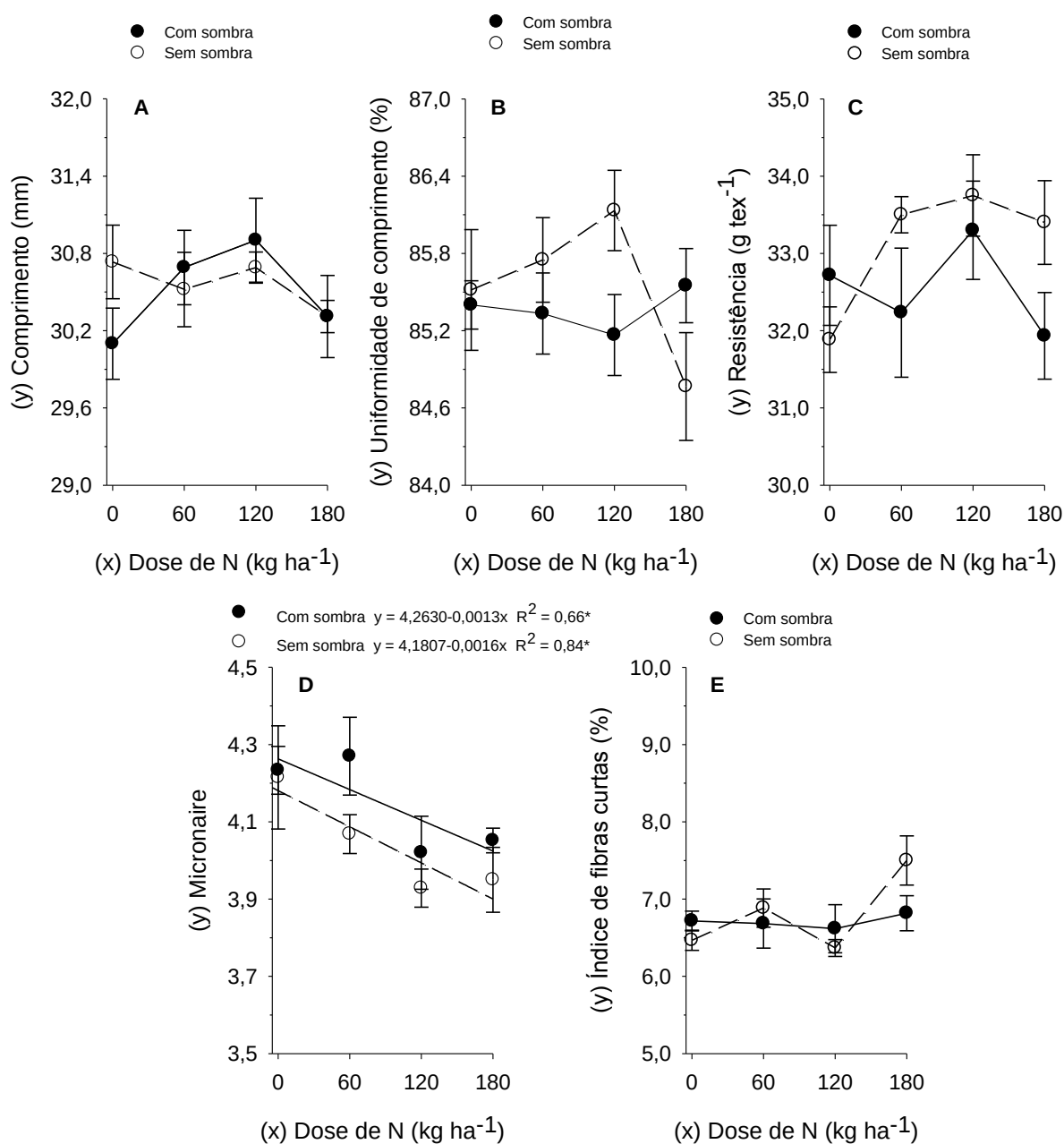


Figura 17 – Características de fibra de algodão em amostras de produção geral. Comprimento (A), uniformidade de comprimento (B), resistência (C), índice micronaire (D) e índice de fibras curtas (E) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento II, Itapeva (sequeiro), SP (2017), cultivar FM 954 GLT

n.s.: Regressão não significativa

*** Significativo ao nível de 5% de probabilidade**

Barras verticais indicam o erro padrão da média

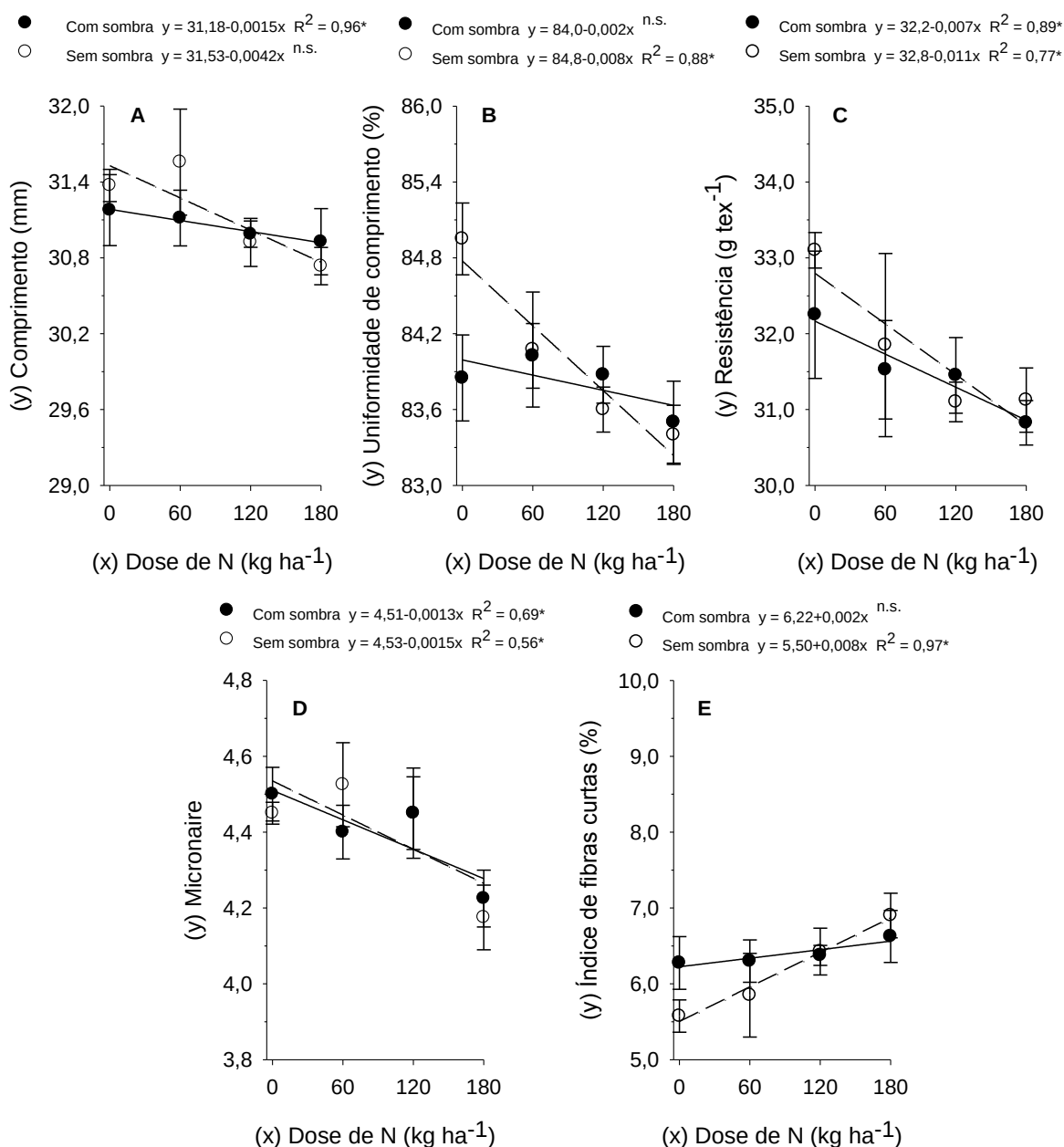


Figura 18 – Características de fibra de algodão em amostras de produção geral. Comprimento (A), uniformidade de comprimento (B), resistência (C), índice micronaire (D) e índice de fibras curtas (E) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Experimento III, Itapeva (irrigado), SP (2017), cultivar FM 940 GLT

n.s.: Regressão não significativa

*** Significativo ao nível de 5% de probabilidade**

Barras verticais indicam o erro padrão da média

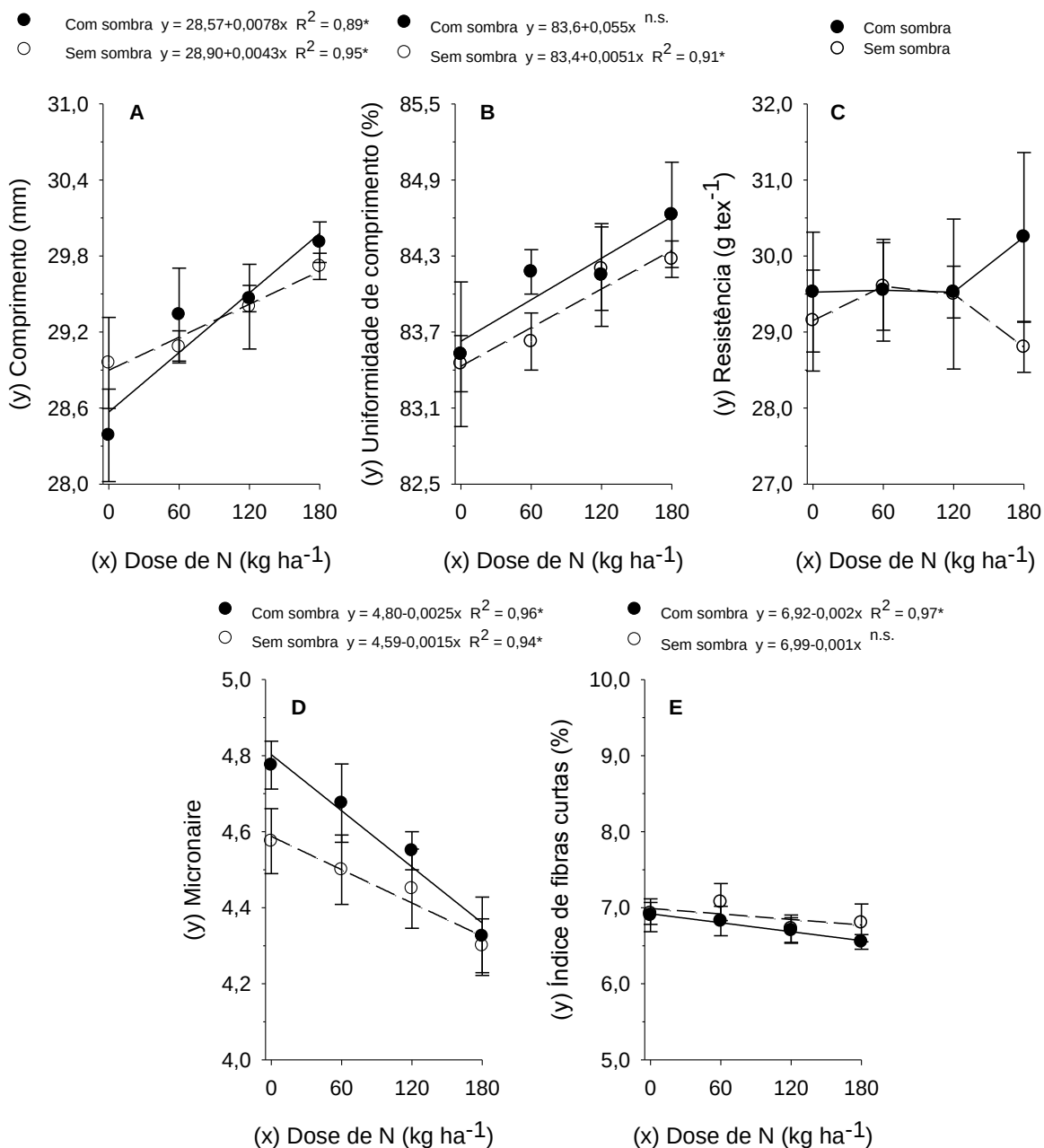
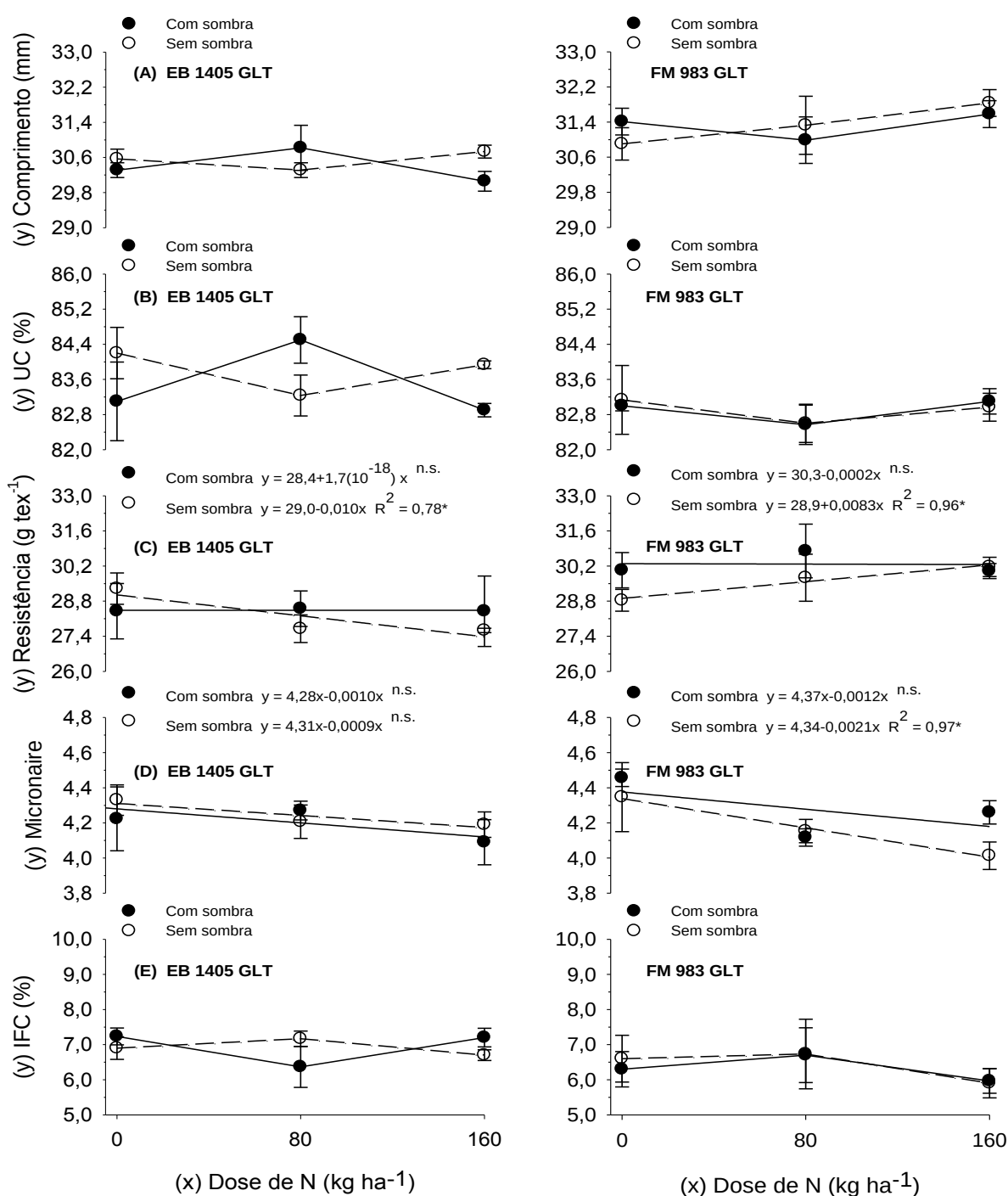


Figura 19 – Características de fibra de algodão em amostras de produção geral. Comprimento (A), uniformidade de comprimento (UC, B), resistência (C), índice micronaire (D) e índice de fibras curtas (IFC, E) de plantas sombreadas e não sombreadas em função de doses de N em cobertura. Cultivares EB 1405 GLT e FM 983 GLT. Experimento IV, Chapadão do Sul, MS (2017)

n.s.: Regressão não significativa

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Barras verticais indicam o erro padrão da média



Nos experimentos I, II e III, a redução de micronaire com o aumento da dose de N também foi evidenciada pelas regressões lineares independentemente da presença de sombra. Considerando-se todos os ajustes significativos, foram encontrados coeficientes angulares entre -0,0013 e -0,0025 nas regressões, que representam taxas de reduções de micronaire entre 0,078 e 0,15 a cada 60 kg ha⁻¹ de N (Figuras 16D, 17D, 18D e 19D). No experimento IV, a regressão para índice micronaire foi significativa apenas no cultivar FM 983 GLT na ausência de sombra, estimando-se uma redução de 0,168 unidades no índice micronaire a cada 80 kg ha⁻¹ de N.

Os valores de resistência de fibra estiveram geralmente entre 28 e 33 g tex⁻¹ (Figuras 16C, 17C, 18C e 19C), variando entre as categorias de resistência média (26 a 28 g tex⁻¹), resistente (29 a 30 g tex⁻¹) e muito resistente (≥ 31 g tex⁻¹). Os maiores valores foram encontrados nos experimentos I e II. Nas amostras de produção geral, não foram encontradas diferenças significativas entre condições de sombreamento e entre doses de N para resistência de fibra (Tabela 10). A única diferença foi observada entre cultivares no experimento IV, onde FM 983 GLT apresentou uma resistência média 1,61 g tex⁻¹ superior ao do cultivar EB 1405 GLT (Tabela 10, Figura 19C). Foram ajustadas, porém, regressões lineares significativas no experimento II, onde a cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de N estimaram-se reduções de 0,42 e 0,66 g tex⁻¹ nas condições com e sem sombra, respectivamente (Figura 17C). Em Chapadão do Sul, os dados de resistência foram ajustados a regressões lineares em ambos os cultivares, mas apenas na ausência de sombra. Os resultados, porém, foram antagônicos entre cultivares. Enquanto a cada aumento de 80 kg ha⁻¹ de N houve um decréscimo de 0,80 g tex⁻¹ no cultivar precoce (EB 1405 GLT), no cultivar tardio (FM 983 GLT), obteve-se uma taxa de incremento de 0,66 g tex⁻¹ (Figura 19C).

O índice de fibras curtas esteve próximo ao valor de 7,0% em todos os experimentos (Figuras 16E, 17E, 18E e 19E), o qual pode ser considerado baixo. As condições de sombreamento nos quatro experimentos e os genótipos comparados no experimento IV não afetaram o índice de fibras curtas (Tabela 10). Entre doses de N, houve efeito significativo pela análise de variância apenas em Primavera do Leste, onde se verificou que na dose máxima de 180 kg ha⁻¹ o índice foi superior em comparação ao controle (0 kg ha⁻¹) e à dose de 120 kg ha⁻¹ em pouco menos de 1,0% (Tabela 10, Figura 16E). Em geral, não foram encontradas regressões

significativas para o índice de fibras curtas, com exceção dos experimentos II e III. A cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de N foram estimadas uma taxa de incremento 0,48% no experimento II quando não houve sombreamento e uma taxa de redução de 0,12% no experimento III quando o sombreamento artificial foi aplicado (Figuras 17E e 18E).

2.3.2 Qualidade de fibra por terço da planta

Nas análises de qualidade de fibra por terço da planta não foram realizadas análises de regressão, priorizando-se comparações de médias dos fatores principais. As médias por fator de análise foram desdobradas apenas quando houve interação significativa ao nível de $p < 0,05$. As probabilidades de significância obtidas a partir da análise de variância estão na Tabela 11. No experimento III, não foram encontradas interações significativas no teste F em qualquer uma das frações das plantas. No experimento IV, interações significativas foram verificadas para os dados de comprimento de fibra, uniformidade de comprimento, resistência e índice de fibras curtas.

O rendimento de fibra foi afetado pela presença de sombra e pela dose de N no experimento III em Itapeva nos ramos frutíferos inferiores (abaixo do 12^o nó da haste principal), ao passo que não foram detectados efeitos de qualquer um desses fatores nas demais frações da planta (Tabela 11). Nesse experimento, o sombreamento reduziu o rendimento de fibra em 1,1%, embora as médias sempre tenham estado acima de 45% (Tabela 12). O aumento da dose de adubo nitrogenado também resultou em redução do rendimento de fibra (Tabela 13), tendo-se verificado, na dose máxima (180 kg ha⁻¹) uma queda de aproximadamente 2,0% em comparação às duas doses mais baixas (0 e 60 kg ha⁻¹). No experimento IV, os valores de rendimento de fibra foram afetados apenas entre os nós 11 e 13 da haste principal pelo genótipo, verificando-se no cultivar EB 1405 GLT uma média 0,9% superior (Tabela 14). Os valores altos de rendimento de fibra determinados nos experimentos decorreram parcialmente do método de descaroçamento em máquinas de rolo, visto que resultam em um aumento entre 0,9 e 2,5% em comparação às de serra (SLUIJS, 2015; WANJURA et al., 2012), que são as mais empregadas no beneficiamento do algodão de áreas comerciais no Brasil.

Tabela 11 – Probabilidades de significância dos valores de F (*p*) da análise de variância de rendimento de fibra (RF), comprimento de fibra (Comp), uniformidade de comprimento (UC), índice micronaire (Mic), resistência de fibra (Res) e índice de fibras curtas (IFC) nas amostras fracionadas por terço da haste principal dos experimentos de campo

Efeito	RF	Comp	UC	Mic	Res	IFC
Experimento III (Itapeva – irrigado)						
≤11° nó						
Sombra (A)	0,001	0,291	0,018	0,749	0,877	0,300
Dose de N (B)	0,001	0,875	0,029	<0,001	0,252	0,135
A x B	0,442	0,118	0,917	0,929	0,291	0,568
12° a 16° nó						
Sombra (A)	0,281	0,817	0,021	0,920	0,091	0,166
Dose de N (B)	0,132	0,157	0,769	<0,001	0,671	0,989
A x B	0,072	0,130	0,107	0,815	0,696	0,248
≥17° nó						
Sombra (A)	0,106	0,407	0,037	0,082	0,465	0,020
Dose de N (B)	0,717	0,286	0,283	0,010	0,178	0,407
A x B	0,547	0,638	0,619	0,444	0,122	0,817
Experimento IV (Chapadão do Sul)						
≤10° nó						
Sombra (A)	0,419	0,328	0,509	0,635	0,974	0,013
Dose de N (B)	0,853	0,573	0,736	0,002	0,354	0,308
Cultivar (C)	0,575	<0,001	0,005	0,018	0,001	0,017
A x B	0,906	0,234	0,014	0,926	0,015	0,057
A x C	0,353	0,574	0,335	0,213	0,425	0,116
B x C	0,887	0,363	0,029	0,177	0,246	0,120
A x B x C	0,570	0,154	0,116	0,463	0,281	0,088
11° a 13° nó						
Sombra (A)	0,202	0,495	0,274	0,486	0,248	0,890
Dose de N (B)	0,394	0,654	0,685	0,481	0,022	0,614
Cultivar (C)	0,003	<0,001	0,495	0,270	<0,001	0,004
A x B	0,561	0,089	0,284	0,740	0,636	0,281
A x C	0,127	0,038	0,739	0,675	0,501	0,066
B x C	0,738	0,769	0,143	0,278	0,009	0,115
A x B x C	0,800	0,950	0,255	0,634	0,154	0,213
≥14° nó						
Sombra (A)	0,845	0,568	0,263	0,582	0,773	0,963
Dose de N (B)	0,279	0,205	0,428	0,793	0,123	0,265
Cultivar (C)	0,056	<0,001	0,157	0,032	0,002	0,020
A x B	0,617	0,380	0,538	0,527	0,261	0,284
A x C	0,770	0,162	0,013	0,303	0,750	0,024
B x C	0,260	0,229	0,487	0,593	0,370	0,260
A x B x C	0,725	0,540	0,743	0,293	0,823	0,725

O comprimento de fibra não variou significativamente em função da dose de N em nenhum dos experimentos em qualquer fração da planta, com médias entre 28,9 e 30,9 mm (Tabelas 11 e 13). Os menores valores foram encontrados nos terços inferior e médio do experimento III em Itapeva (Tabelas 12 e 13). Com exceção do terço médio da planta no experimento IV (Chapadão do Sul), onde houve interação de sombra com cultivar, o sombreamento não afetou o comprimento de fibra em qualquer fração da planta (Tabelas 11 e 12). No terço inferior e no terço superior foram observadas diferenças significativas entre cultivares (Tabela 11), onde FM 983 GLT apresentou comprimento 1,2 e 0,9 mm superior ao obtido com EB 1405 GLT, respectivamente (Tabela 14). Analisando-se o desdobramento da interação entre sombreamento e cultivar no terço médio em Chapadão do Sul, o efeito de cultivar observado nas demais frações manteve-se tanto na presença quanto na ausência de sombra. Comparando-se as condições de sombreamento por cultivar, constatou-se efeito significativo somente com EB 1405 GLT, em que o sombreamento reduziu o comprimento em 0,7 mm (Tabela 15).

Em Itapeva, houve efeito significativo do sombreamento sobre a uniformidade de comprimento em todas as frações da planta. A presença de sombra, neste experimento, aumentou a uniformidade de comprimento (Tabela 12). As diferenças, porém, foram baixas (inferiores a 1,0%). Em Chapadão do Sul, houve interações significativas até o 10º nó (sombra x dose de N; e dose de N x cultivar) e a partir do 14º nó (sombreamento x cultivar) na análise de variância (Tabela 11). Não houve efeito significativo de doses de N nos terços médio e superior (Tabelas 11 e 13), e de cultivares no terço médio (Tabelas 11 e 14). De acordo com análise da interação entre sombra e dose de N na fração até o 10º nó, a utilização da dose de 160 kg ha⁻¹ resultou em aumento da uniformidade de comprimento na condição sombreada, mas na ausência de sombra houve uma redução, em relação à dose intermediária de 80 kg ha⁻¹. A testemunha sem N, porém, não diferiu das demais doses em ambas as condições de luminosidade (Tabela 15). Concomitantemente, notou-se que somente houve influência do sombreamento na dose de 160 kg ha⁻¹, em que a presença de sombra aumentou a uniformidade em 1,2%, uma variação relativamente pequena. A partir da interação entre dose de N e cultivar, observou-se efeito da dose de N apenas no cultivar FM 983 GLT, em que na dose de 80 kg ha⁻¹ houve uma redução de 1,1% em comparação à testemunha sem adubação, enquanto na dose máxima a média não diferiu das demais (Tabela 15). Comparando-se cultivares por dose de N,

foi observada diferença apenas na dose de 80 kg ha⁻¹, em que FM 983 GLT apresentou uniformidade de comprimento 1,7% inferior à determinada para EB 1405 GLT (Tabela 15). Nas comparações realizadas a partir da interação entre sombreamento e cultivar a partir do 14º nó, obteve-se uniformidade 1,1% inferior do genótipo FM 983 GLT em relação ao EB 1405 GLT na condição sem sombra. Concomitantemente, o sombreamento aumentou a uniformidade de comprimento no cultivar FM 983 GLT em 1,0% no terço superior (Tabela 15). Considerando-se todos os experimentos, as médias apresentaram variação pequena, situando-se entre 83 e 85%.

Tabela 12 – Rendimento de fibra (RF), comprimento de fibra (Comp), uniformidade de comprimento (UC), índice micronaire (Mic), resistência de fibra (Res) e índice de fibras curtas (IFC) nas amostras fracionadas por terço da haste principal de algodoeiro com e sem sombreamento no florescimento

Sombreamento	RF (%)	Comp (mm)	UC (%)	Mic	Res (g tex ⁻¹)	IFC (%)
Experimento III (Itapeva – irrigado)						
≤11º nó						
Com sombra	46,0 B ⁽¹⁾	29,1 A	83,9 A	4,29 A	28,3 A	6,93 A
Sem sombra	47,1 A	29,3 A	83,3 B	4,26 A	28,2 A	7,11 A
12º a 16º nó						
Com sombra	47,1 A	29,1 A	84,5 A	4,60 A	29,5 A	6,50 A
Sem sombra	47,5 A	29,2 A	83,8 B	4,61 A	28,6 A	6,79 A
≥17º nó						
Com sombra	46,0 A	30,3 A	84,7 A	4,05 A	29,5 A	6,12 B
Sem sombra	45,4 A	30,1 A	84,1 B	3,79 A	29,8 A	6,52 A
Experimento IV (Chapadão do Sul)						
≤10º nó						
Com sombra	44,9 A	30,5 A	- ⁽²⁾	4,22 A	- ⁽²⁾	6,87 B
Sem sombra	44,0 A	30,3 A	- ⁽²⁾	4,26 A	- ⁽²⁾	7,59 A
11º a 13º nó						
Com sombra	43,8 A	- ⁽³⁾	83,8 A	4,38 A	29,1 A	6,53 A
Sem sombra	44,2 A	- ⁽³⁾	83,4 A	4,33 A	28,7 A	6,50 A
≥14º nó						
Com sombra	43,2 A	30,7 A	- ⁽³⁾	4,15 A	29,6 A	- ⁽³⁾
Sem sombra	43,2 A	30,8 A	- ⁽³⁾	4,10 A	29,5 A	- ⁽³⁾

⁽¹⁾ Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (DMS) ao nível de significância de 5%.

⁽²⁾ Médias não comparadas devido à interação dupla significativa ao nível de significância de 5 entre sombreamento e dose de N.

⁽³⁾ Médias não comparadas devido à interação dupla significativa ao nível de significância de 5% entre sombreamento e cultivar.

Tabela 13 – Rendimento de fibra (RF), comprimento de fibra (Comp), uniformidade de comprimento (UC), índice micronaire (Mic), resistência de fibra (Res) e índice de fibras curtas (IFC) nas amostras fracionadas por terço da haste principal de algodoeiro por dose de N em cobertura

N (kg ha ⁻¹)	RF (%)	Comp (mm)	UC (%)	Mic	Res (g tex ⁻¹)	IFC (%)
Experimento III (Itapeva – irrigado)						
≤11º nó						
0	47,1 A ⁽¹⁾	29,2 A	83,9 A	4,60 A	29,0 A	6,84 A
60	47,2 A	29,3 A	84,0 A	4,52 A	28,2 A	6,77 A
120	46,7 AB	29,1 A	83,4 AB	4,02 B	27,6 A	7,25 A
180	45,2 B	29,2 A	83,1 B	3,96 B	28,2 A	7,24 A
12º a 16º nó						
0	47,6 A	28,9 A	84,1 A	4,85 A	29,3 A	6,61 A
60	47,7 A	29,0 A	84,0 A	4,69 A	29,3 A	6,70 A
120	47,2 A	29,3 A	84,4 A	4,44 B	28,7 A	6,65 A
180	46,6 A	29,5 A	84,1 A	4,44 B	28,7 A	6,62 A
≥17º nó						
0	45,6 A	30,4 A	84,1 A	4,19 A	30,3 A	6,18 A
60	45,4 A	29,9 A	84,3 A	4,18 A	30,2 A	6,48 A
120	45,8 A	30,3 A	84,5 A	3,54 B	29,2 A	6,45 A
180	45,9 A	30,3 A	84,8 A	3,78 B	29,0 A	6,19 A
Experimento IV (Chapadão do Sul)						
≤10º nó						
0	44,8 A	30,5 A	- (2), (3)	4,43 A	- (2)	6,98 A
80	44,6 A	30,4 A	- (2), (3)	4,17 B	- (2)	7,21 A
160	44,1 A	30,3 A	- (2), (3)	4,12 B	- (2)	7,50 A
11º a 13º nó						
0	43,7 A	30,7 A	83,6 A	4,41 A	- (3)	6,32 A
80	44,0 A	30,6 A	83,8 A	4,37 A	- (3)	6,64 A
160	44,2 A	30,7 A	83,5 A	4,29 A	- (3)	6,59 A
≥14º nó						
0	43,1 A	30,5 A	82,9 A	4,17 A	30,1 A	7,05 A
80	42,9 A	30,8 A	83,4 A	4,13 A	29,3 A	6,64 A
160	43,6 A	30,9 A	83,1 A	4,09 A	29,3 A	6,62 A

⁽¹⁾ Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (DMS) ao nível de significância de 5%.

⁽²⁾ Médias não comparadas devido à interação dupla significativa ao nível de significância de 5% entre sombreamento e dose de N.

⁽³⁾ Médias não comparadas devido à interação dupla significativa ao nível de significância de 5% entre dose de N e cultivar.

O índice micronaire não foi afetado pelo sombreamento em qualquer fração da planta (Tabelas 11 e 12). Entre doses de N, as variações foram bastante evidentes nas três frações da planta em Itapeva. Os valores foram reduzidos entre as doses de 0 e de 180 kg ha⁻¹, o que resultou em diferenças significativas entre as duas doses mais baixas e as duas mais altas (Tabela 13). Em Chapadão do Sul, a aplicação de N em cobertura reduziu o índice micronaire somente no terço inferior da planta (Tabela 13), independentemente da dose (80 ou 160 kg ha⁻¹). Essa diferença decorreu dos valores inferiores até o 10º nó, obtidos nas doses de 0 e 80 kg ha⁻¹, os quais, porém, aumentaram no terço médio da planta. Comparando-se cultivares, observou-se que FM 983 GLT resultou em micronaire maior em 0,18 no terço inferior e menor em 0,21 no terço superior, mas sem diferenças do 11º ao 13º nó da haste principal (Tabela 14). Em ambos os experimentos, destacaram-se os menores valores de micronaire no terço superior da planta.

Tabela 14 – Rendimento de fibra (RF), comprimento de fibra (Comp), uniformidade de comprimento (UC), índice micronaire (Mic), resistência de fibra (Res) e índice de fibras curtas (IFC) nas amostras fracionadas por terço da haste principal nos cultivares de algodoeiro EB 1405 GLT e FM 983 GLT. Experimento IV, Chapadão do Sul, MS (2017)

Cultivar	RF (%)	Comp (mm)	UC (%)	Mic	Res (g tex ⁻¹)	IFC (%)
≤10º nó						
EB 1405 GLT	44,2 A ⁽¹⁾	29,8 B	- ⁽³⁾	4,15 B	27,6 B	7,58 A
FM 983 GLT	44,8 A	31,0 A	- ⁽³⁾	4,33 A	29,2 A	6,88 B
11º a 13º nó						
EB 1405 GLT	44,4 A	- ⁽²⁾	83,7 A	4,31 A	- ⁽³⁾	6,97 A
FM 983 GLT	43,5 B	- ⁽²⁾	83,5 A	4,40 A	- ⁽³⁾	6,07 B
≥14º nó						
EB 1405 GLT	43,6 A	30,3 B	- ⁽²⁾	4,23 A	28,9 B	- ⁽²⁾
FM 983 GLT	42,8 A	31,2 A	- ⁽²⁾	4,02 B	30,2 A	- ⁽²⁾

⁽¹⁾ Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (DMS) ao nível de significância de 5%.

⁽²⁾ Médias não comparadas devido à interação dupla significativa ao nível de significância de 5% entre sombreamento e cultivar.

⁽³⁾ Médias não comparadas devido à interação dupla significativa ao nível de significância de 5% entre dose de N e cultivar.

Para resistência de fibra, houve interações significativas de condições de sombreamento com dose de N até o 10º nó e de dose de N com cultivares entre o

11^o e o 13^o nó em Chapadão do Sul (Tabela 11). Comparando-se os efeitos gerais para os casos em que as interações não foram significativas, o sombreamento não influenciou a resistência nas três frações verticais da planta no experimento III, assim como nos terços médio e superior no experimento IV (Tabela 12). A adubação nitrogenada em cobertura também não produziu efeito sobre a resistência nas três frações da planta em Itapeva e na fração superior em Chapadão do Sul (Tabela 13). Comparando-se os cultivares testados no experimento IV, os valores de resistência de fibra do cultivar FM 983 GLT foram, em média, superiores em 1,6 e em 1,3 g tex⁻¹ nos terços inferior e superior, respectivamente (Tabela 14).

Os dados obtidos a partir da interação entre sombra e dose de N no terço inferior no experimento IV indicaram que somente na presença de sombra a aplicação de N afetou a resistência, que foi reduzida nas doses de 80 e 160 kg ha⁻¹ em comparação a 0 kg ha⁻¹. Verificou-se, ao mesmo tempo, que a utilização de sombra aumentou a resistência de fibra na dose de 0 kg ha⁻¹, mas produziu efeito antagônico na dose de 80 e não resultou em efeito na dose de 160 kg ha⁻¹ (Tabela 15). Analisando-se a interação entre dose de N e cultivar para resistência entre o 11^o e o 13^o nó em Chapadão do Sul, dois efeitos principais puderam ser observados. O primeiro foi que a dose N afetou os valores finais somente no cultivar de ciclo tardio (FM 983 GLT), observando-se redução de 2,1 e 2,2 g tex⁻¹ nas doses de 80 e 160 kg ha⁻¹ em comparação à condição sem adubação de N em cobertura. O segundo foi que o cultivar FM 983 GLT apresentou valores superiores de resistência, exceto na dose de 80 kg ha⁻¹, quando não diferiu do cultivar precoce EB 1405 GLT (Tabela 15). Essa ausência de diferença entre cultivares foi uma exceção quando observada em conjunto os demais resultados, incluindo-se os apresentados na Tabela 14.

Tabela 15 – Características de fibra por fração da planta. Médias desdobradas de interações duplas significativas entre os fatores sombreamento (com e sem sombra), dose de N (0, 80 e 160 kg ha⁻¹) e cultivar (EB 1405 GLT e FM 983 GLT). Experimento IV, Chapadão do Sul, MS (2017)

≤10^o nó ⁽¹⁾								
UC – Uniformidade de comprimento (%)								
Sombra			Sombra			Cultivar		
N (kg ha ⁻¹)	Com	Sem	Cultivar	Com	Sem	N (kg ha ⁻¹)	EB 1405	FM 983
0	83,1 ABa	83,0 ABa	EB 1405	- (2)	- (2)	0	83,0 Aa	83,1 Aa
80	82,4 Ba	83,2 Aa	FM 983	- (2)	- (2)	80	83,7 Aa	82,0 Bb
160	83,5 Aa	82,3 Bb				160	83,2 Aa	82,5 ABa
Res – Resistência de fibra (g tex ⁻¹)								
Sombra			Sombra			Cultivar		
N (kg ha ⁻¹)	Com	Sem	Cultivar	Com	Sem	N (kg ha ⁻¹)	EB 1405	FM 983
0	29,4 Aa	28,0 Ab	EB 1405	- (2)	- (2)	0	- (2)	- (2)
80	27,7 Bb	29,0 Aa	FM 983	- (2)	- (2)	80	- (2)	- (2)
160	28,1 Ba	28,1 Aa				160	- (2)	- (2)
11^o a 13^o nó ⁽¹⁾								
Comp – Comprimento de fibra (mm)								
Sombra			Sombra			Cultivar		
N (kg ha ⁻¹)	Com	Sem	Cultivar	Com	Sem	N (kg ha ⁻¹)	EB 1405	FM 983
0	- (2)	- (2)	EB 1405	29,7 Bb	30,4 Ba	0	- (2)	- (2)
80	- (2)	- (2)	FM 983	31,6 Aa	31,2 Aa	80	- (2)	- (2)
160	- (2)	- (2)				160	- (2)	- (2)
Res – Resistência de fibra (g tex ⁻¹)								
Sombra			Sombra			Cultivar		
N (kg ha ⁻¹)	Com	Sem	Cultivar	Com	Sem	N (kg ha ⁻¹)	EB 1405	FM 983
0	- (2)	- (2)	EB 1405	- (2)	- (2)	0	28,0 Ab	31,1 Aa
80	- (2)	- (2)	FM 983	- (2)	- (2)	80	28,7 Aa	29,0 Ba
160	- (2)	- (2)				160	27,7 Ab	28,9 Ba
≥14^o nó ⁽¹⁾								
UC – Uniformidade de comprimento (%)								
Sombra			Sombra			Cultivar		
N (kg ha ⁻¹)	Com	Sem	Cultivar	Com	Sem	N (kg ha ⁻¹)	EB 1405	FM 983
0	- (2)	- (2)	EB 1405	83,1 Aa	83,5 Aa	0	- (2)	- (2)
80	- (2)	- (2)	FM 983	83,4 Aa	82,4 Bb	80	- (2)	- (2)
160	- (2)	- (2)				160	- (2)	- (2)
IFC – Índice de fibras curtas (%)								
Sombra			Sombra			Cultivar		
N (kg ha ⁻¹)	Com	Sem	Cultivar	Com	Sem	N (kg ha ⁻¹)	EB 1405	FM 983
0	- (2)	- (2)	EB 1405	7,35 Aa	6,78 Aa	0	- (2)	- (2)
80	- (2)	- (2)	FM 983	6,20 Ba	6,76 Aa	80	- (2)	- (2)
160	- (2)	- (2)				160	- (2)	- (2)

⁽¹⁾ Letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste t (DMS) ao nível de significância de 5%.

⁽²⁾ Análise não desdobrada devido à interação não significativa ao nível de significância de 5%.

O índice de fibras curtas não foi influenciado pela adubação nitrogenada (Tabela 11), com médias entre 6 e 8% (Tabela 13). Em Itapeva, houve efeito do sombreamento somente a partir do 17^o nó, com redução média de 0,4% no índice (Tabela 12). Em Chapadão do Sul, efeitos significativos foram encontrados para sombreamento no terço inferior e para cultivares nos terços inferior e médio. No terço superior, houve interação significativa entre os fatores sombreamento e cultivar (Tabela 11). A restrição de luz esteve associada a uma redução de 0,72% no índice de fibras curtas até o 10^o nó da haste principal (Tabela 12). O cultivar FM 983 GLT apresentou menor índice de fibras curtas em comparação a EB 1405 GLT, em média 0,7 e 0,9% nos terços inferior e médio, respectivamente (Tabela 14). A análise da interação entre sombreamento e cultivares no terço superior não indicou efeitos do sombreamento. Os cultivares diferiram entre si quanto ao índice de fibras curtas somente na presença de sombra, notando-se um valor 1,15% inferior no cultivar FM 983 GLT, ao passo que as médias foram similares na ausência de sombreamento (Tabela 15).

2.4 Discussão

2.4.1 Efeitos do sombreamento

O sombreamento, de modo geral, teve influência muito pequena sobre a qualidade da fibra, observando-se efeitos pontuais tanto nas amostras de colheita geral quanto nas originárias do mapeamento de ramos frutíferos por terço da haste principal. A ocorrência de efeito significativo apenas no índice micronaire nas amostras gerais no experimento III (Itapeva, irrigado) em que se verificou um pequeno aumento nas plantas sombreadas (Tabela 10, Figura 18D), indica que a influência da restrição luminosa sobre a maturidade da fibra foi inconsistente e, quando observado, muito limitado. O micronaire é uma medida indireta influenciada pela finura e pela maturidade, sendo a última o grau de deposição de celulose na parede secundária da fibra, e é frequentemente a característica mais afetada por estresses ambientais. Valores mais baixos indicam fibras mais finas e imaturas. Normalmente, em plantas sombreadas, a redução da taxa fotossintética (ECHER; ROSOLEM, 2015a) resulta em suprimento insuficiente de açúcares para os frutos, reduzindo a produção de polímeros de celulose, o que leva à formação de fibras imaturas com menor índice micronaire (CHEN et al., 2017; ZHAO; OOSTERHUIS, 1998). O sombreamento também pode reduzir o índice micronaire indiretamente,

uma vez que a abscisão de botões e frutos jovens iniciais 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, levando à formação de fibras imaturas. Em experimentos anteriores, o sombreamento prolongado durante as fases de florescimento e frutificação levou à redução do índice micronaire (CHEN et al., 2017; ECHER, 2017; LIU et al., 2015; LV et al., 2013). No entanto, a ausência de efeitos do sombreamento verificada sobre essa característica nos experimentos I (Primavera do Leste), II (Itapeva, sequeiro) e IV (Chapadão do Sul) indicou que a restrição luminosa não afetou suficientemente o processo de maturação da fibra (Tabela 10), fenômeno também observado em experimentos anteriores (ECHER; ROSOLEM, 2015b; ZHAO; OOSTERHUIS, 2000). No experimento III, o aumento do índice micronaire nas amostras de produção geral (Figura 18D) pode ter decorrido da redução do número de capulhos no terço inferior da planta, conforme resultados do Capítulo 1 (Tabela 8, Figura 12), possibilitando maior acúmulo de celulose na parede secundária nos frutos remanescentes, que tiveram no referido experimento boas condições para o desenvolvimento, visto que o sombreamento foi retirado no fim de janeiro e não houve restrição hídrica. No entanto, ressalta-se que a variação foi muito pequena e ocorreu em apenas um dos experimentos.

Nas amostras de produção geral, não houve efeito do sombreamento sobre a resistência de fibra (Tabela 10). Os únicos efeitos encontrados ocorreram no terço inferior das plantas de Chapadão do Sul, em que a resposta foi bastante limitada e dependeu da dose de N (Tabelas 11 e 15). Os efeitos do sombreamento sobre a resistência de fibra comumente não são consistentes de acordo com trabalhos anteriores, ocorrendo condições em que não há influência (ECHER; ROSOLEM, 2015b), e outras em que as limitações fisiológicas são maiores e acabam por reduzir os valores finais (CHEN et al., 2017; LV et al., 2013). O comprimento é outra característica sobre a qual a restrição de luz tem resultado em variados efeitos, em geral também pouco consistentes. No presente trabalho, o sombreamento não afetou significativamente o comprimento das amostras de produção geral (Tabela 10) e das fracionadas por terço da planta, com exceção da redução verificada no terço médio do cultivar EB 1405 GLT em Chapadão do Sul (Tabelas 11 e 15), o que pareceu indicar maior sensibilidade do cultivar precoce na formação inicial de fibras durante e logo após a retirada das telas. Efeitos positivos (LV et al., 2013;

PETTIGREW, 1995) e ausência de efeitos (ECHER; ROSOLEM, 2015b; ZHAO; OOSTERHUIS, 2000) foram relatados anteriormente. Na China, aumentos de comprimento decorrentes do sombreamento foram observados em ambientes de maiores temperaturas, devido ao maior turgor osmótico gerado sobre as células da fibra, enquanto em temperaturas baixas, a redução da atividade de enzimas e do fluxo de carboidratos levou à diminuição da taxa de alongamento da fibra, reduzindo o comprimento final (CHEN et al., 2014; LIU et al., 2015).

No experimento III, os resultados de amostras da produção geral e fracionadas por terço da planta indicaram efeitos diferentes do sombreamento sobre a uniformidade de comprimento. Apesar de não haver efeitos nas amostras de colheita de avaliação de produção (Tabela 10), nos três terços das amostras fracionadas o sombreamento aumentou a uniformidade de comprimento (Tabelas 11 e 12). Esse aumento possivelmente é um efeito compensatório ao estresse causado pelo sombreamento. Normalmente, a redução de número de frutos propicia melhor formação daqueles que permanecem retidos na planta. Ressalta-se, porém, que, para o experimento III, houve redução significativa do número de capulhos em função do sombreamento apenas no terço inferior, conforme resultados do Capítulo 1. De modo geral, os efeitos sobre a uniformidade de comprimento não foram consistentes, considerando-se os resultados dos demais experimentos e a análise por terço da planta em Chapadão do Sul (Tabelas 10, 11, 12 e 15). O índice de fibras curtas também foi pouco influenciado pela restrição de luz. O pequeno aumento até o 10º nó no experimento IV (Tabela 12) pode ter sido resultante da redução do número de capulhos (Tabela 8, Capítulo 1). Essa relação, porém, não foi verificada, no experimento III, onde houve um pequeno aumento a partir do 17º nó na condição sombreada.

O sombreamento afetou o rendimento de fibra nas amostras das frações de plantas apenas no terço inferior do experimento III, em que resultou em uma redução. Trabalhos anteriores geralmente relatam efeitos pequenos ou ausentes sobre o rendimento de fibra (ECHER; ROSOLEM, 2015b; PETTIGREW, 1994), ao passo que redução dos percentuais após um período prolongado também foram registrados (CHEN et al., 2017; LV et al., 2013), como resposta a um estresse mais intenso. Esses resultados diferem dos encontrados para os capulhos da colheita de produção geral do experimento I apresentados no Capítulo 1 (Tabela 6, Figura 6A), em que a restrição de luz aumentou o rendimento de fibra, resposta anteriormente

encontrada em determinadas situações, como no emprego de intervalos de 4 dias entre períodos com e sem sombreamento por 16 dias (ZHAO; OOSTERHUIS, 2000) ou quando aplicada em genótipos específicos (ECHER, 2017).

2.4.2 Efeitos da adubação nitrogenada

Entre os atributos avaliados, o índice micronaire foi o único consistentemente afetado pela adubação nitrogenada, notando-se uma nítida redução conforme a dose de N foi aumentada, tanto nas amostras de produção geral quanto naquelas de diferentes frações da planta, especialmente no experimento conduzido em Itapeva com irrigação (III), onde a diminuição foi verificada em todas as frações avaliadas. A maior previsibilidade dessa característica intrínseca é evidenciada pela alta frequência de regressões significativas ajustadas para os valores determinados em amostras de colheita de produção, considerando-se os diferentes experimentos (Figuras 16D, 17D, 18D e 19D).

No experimento IV (Chapadão do Sul), a redução do índice micronaire somente no terço inferior (Tabela 13) não era a resposta esperada. A diminuição do micronaire em função do aumento da dose de N foi relatada em experimentos anteriores, estando relacionada principalmente à imaturidade de fibras em frutos desenvolvidos em épocas tardias, estimulada pelo maior crescimento vegetativo (BAUER et al., 1998; CLAWSON et al., 2006; MAIN et al., 2013). Assim, esperava-se que a influência sobre a maturidade fosse maior inicialmente nos ramos superiores da planta. Nesse sentido, a redução restrita ao terço inferior sugere a ocorrência de maturação reduzida em frutos iniciais em consequência do aumento do número de frutos nos terços médio e superior. Deve-se ressaltar, porém, que, embora as diferenças significativas de micronaire não tenham sido registradas nos terços médio e superior no experimento IV, nota-se a tendência de redução dos valores conforme a dose de N é aumentada até 160 kg ha⁻¹ (Tabela 13). Em resultados de ensaios anteriores, efeitos de N sobre o micronaire não foram constantes e pareceram depender de cada situação específica. Em alguns trabalhos, a adubação nitrogenada não afetou (GÖRMÜS, 2005; KAPPES et al., 2016) ou resultou em efeitos inconsistentes na qualidade de fibra, com variações dependentes do ano ou da condição da realização do teste (FRITSCHI et al., 2013; PETTIGREW; ZENG, 2014). Os resultados deste trabalho diferem dos encontrados por Bauer e Roof

(2004), que observaram redução do índice micronaire na ausência de adubação nitrogenada.

As demais características de fibra, incluindo-se comprimento, resistência, uniformidade de comprimento e índice de fibras curtas ou não foram afetadas ou não apresentaram variações consistentes, considerando-se todos os experimentos e as avaliações por terço de planta nos experimentos III e IV. O aumento da dose de N na maioria dos experimentos não afetou a resistência, com exceção das pequenas reduções nos terços inferior na presença de sombra e entre o 11^o e o 13^o nó da haste principal da planta com o cultivar FM 983 GLT (Tabela 15). A ausência de efeitos da adubação nitrogenada sobre a resistência de fibra está de acordo com resultados anteriores (CLAWSON et al., 2006; PETTIGREW; ZENG, 2014). No entanto, a resistência foi aumentada em alguns experimentos em função do incremento da dose de fertilizante nitrogenado (BAUER; ROOF, 2004; MAIN et al., 2013), contrariamente às reduções pontuais observadas nas amostras de frações de plantas deste trabalho em Chapadão do Sul.

Com exceção do aumento observado no experimento III e da redução na condição sombreada no experimento II (Figuras 17A e 18A), o comprimento de fibra não foi alterado de modo significativo devido à dose de N nas amostras de produção geral. Ressalta-se, porém, que no experimento III, o comprimento não foi afetado em nenhum dos terços da planta (Tabelas 11 e 13), não sendo possível indicar onde seria mais influenciado. Dados de pesquisa indicam que pouca influência tem sido observada sobre o comprimento e a uniformidade de comprimento de fibra devido à adubação nitrogenada (CLAWSON et al., 2006; GÖMRUS, 2006; KAPPES et al., 2016; MAIN et al., 2013; PETTIGREW; ZENG, 2014), o que corrobora os resultados do presente trabalho, embora efeitos negativos também tenham sido relatados na ausência de N (BAUER; ROOF, 2004). Tewolde e Fernandez (2003) sugerem que o aumento de doses de N não necessariamente resulta em fibras mais longas, de modo que comprimentos maiores são obtidos em uma dose ótima de N a partir da qual passam a diminuir. Embora a uniformidade de comprimento não tenha sido afetada pelo N em geral, destaca-se que o aumento da dose de fertilizante reduziu os valores nas amostras gerais do experimento II (Tabela 10, Figura 17B) e em situações pontuais (terço inferior) nos experimentos III e IV (Tabelas 13 e 15), resposta possivelmente associada à maior competição interna entre frutos na planta em resposta ao N.

Aumento do percentual de fibras curtas em função do aumento da dose de N, também como possível consequência da maior competição por recursos entre frutos retidos, foi observado como efeito geral apenas nas amostras de produção do experimento I (Tabela 10, Figura 16E) e em plantas não sombreadas no experimento II (Figura 17E), ao passo que nos demais testes esses valores percentuais não foram afetados pelo N. A ausência de efeitos de doses de N sobre o índice de fibras curtas verificada na maioria das análises está de acordo com resultados anteriores (KAPPES et al., 2016; PETTIGREW; ZENG, 2014).

Concomitantemente, a adubação nitrogenada não afetou o rendimento de fibra nas amostras de terços das plantas no experimento IV, enquanto reduziu os valores no terço inferior do experimento III (Tabelas 11 e 13). Redução do rendimento de fibra com o aumento da dose de N também foi verificada anteriormente nas amostras de produção geral dos experimentos I e III apresentadas no Capítulo 1 (Figuras 6A e 8A). Resultados anteriores já relataram a ausência de efeitos (CLAWSON et al., 2006; KAPPES et al., 2016), bem como reduções (FRITSCHI et al., 2013; MAIN et al., 2013) e aumentos (GÖRMÜS, 2005) do percentual de fibra dos capulhos após a adição de doses altas de N. No presente trabalho, as reduções de rendimento de fibra podem indicar aumento da massa de sementes acumulada nos capulhos, uma vez que nos experimentos I e III a massa de capulho não foi afetada (Tabela 6, Capítulo 1).

2.4.3 Efeitos de cultivares

As diferenças mais evidentes entre cultivares, observadas tanto nas amostras de produção de plantas inteiras, como de frações das plantas, ocorreram sobre valores de resistência e comprimento. O comprimento e a resistência sempre foram superiores no cultivar tardio FM 983 GLT, com exceção do verificado entre os nós 11 e 13 do caule, em que as médias de resistência não diferiram na dose de N em cobertura de 80 kg ha⁻¹ (Tabela 15). Essas diferenças em comprimento e resistência estão de acordo com informações gerais fornecidas pelo detentor do cultivar. Por outro lado, também foi observada maior uniformidade para o cultivar precoce EB 1405 GLT (Figura 19B, Tabela 15), embora a ausência de efeitos também tenha sido observada em parte das análises sobre amostras de terços da planta (Tabelas 14 e 15). Comprimento, uniformidade de comprimento e resistência são fatores mais afetados pelo ambiente do que por componentes genéticos, mas a influência

genotípica pode aumentar consideravelmente dependendo do local e do manejo em ambientes similares (RAPER et al., 2019). O rendimento de fibra, por outro lado, é um atributo que pode ser afetado mais pelo componente genético do que pelo ambiente (SNIDER et al., 2013). No entanto, nos resultados deste trabalho, ainda que tenha sido verificado um maior percentual de fibra do cultivar EB 1405 GLT no terço médio da planta, os valores foram sempre muito próximos daqueles determinados para FM 983 GLT nos demais terços da planta (Tabela 14) e nas amostras de produção de geral, conforme resultados da Figura 9A apresentada no Capítulo 1. Os resultados sugerem que os rendimentos das duas variedades são similares, com médias geralmente entre 43 e 44%. Os valores de rendimento de fibra dos dois cultivares são similares segundo informações do detentor, aproximadamente 41% em máquinas de serra.

Apesar de o índice micronaire não ter variado entre os cultivares nas amostras de produção geral (Tabela 10), observou-se que, quando analisado em diferentes frações da planta, houve não apenas diferenças significativas, mas também importantes variações em função do terço amostrado (Tabelas 11 e 14). Os valores reduzidos de micronaire do cultivar de ciclo precoce (EB 1405 GLT) no terço inferior (até o 10^o nó) estão provavelmente associados à maior proporção de capulhos retidos nessa fração da planta, o que resultou em maior competição por recursos pelos frutos em desenvolvimento, levando à redução da maturidade final dos frutos. Por outro lado, o cultivar FM 983 GLT apresentou uma proporção muito mais baixa de capulhos no terço inferior da planta, o que permitiu a formação de frutos individualmente mais maduros e com maior índice micronaire. No terço médio (nós 11 a 13), a redução de número de capulhos no cultivar precoce possibilitou a formação de frutos com índice micronaire similar ao do cultivar de ciclo tardio. No terço superior, verificou-se o fenômeno oposto ao encontrado no terço inferior, com acentuada diminuição (0,2 unidades) do micronaire no cultivar FM 983 GLT, cuja média foi significativamente inferior ao do cultivar EB 1405 GLT. Essa redução no cultivar tardio está relacionada tanto ao aumento da competição entre o maior número de frutos nessa região da planta, como, especificamente nessa situação, ao ambiente de desenvolvimento desses frutos mais tardios, com temperaturas decrescentes e redução de chuvas, levando à diminuição da maturidade dos frutos formados. Portanto, o ciclo do cultivar, assim como o padrão de retenção de capulhos, resulta em variações diferenciadas no índice micronaire em diferentes

regiões da planta, que podem ser determinantes na qualidade intrínseca da fibra dependendo da contribuição quantitativa na produção final, mesmo quando a semeadura é efetuada em uma mesma data. Esses resultados indicam que a amostragem de fibra em diferentes locais da planta, representativas de diferentes fases do ciclo e condições ambientais, pode contribuir mais efetivamente para diagnosticar a influência de fatores ambientais sobre a qualidade final da fibra.

2.4.4 Fatores e observações adicionais

Sabe-se que a fibra de algodão é fortemente afetada pelas condições ambientais durante o seu período de formação, principalmente condições meteorológicas locais. Os efeitos da adubação nitrogenada sobre o índice micronaire nas amostras de produção total em todos os locais, evidenciado pelas regressões lineares decrescentes (Figuras 16D, 17D, 18D e 19D), resultam do aumento da competição entre frutos na planta e, principalmente, do ambiente do desenvolvimento dos frutos. Em todos os locais, a adubação nitrogenada aumentou a proporção de capulhos em ramos situados nos nós superiores da haste principal (Figuras 10 a 13, Capítulo 1), modificando, portanto o padrão de retenção de frutos. Frutos produzidos mais tardiamente estão sujeitos à ocorrência de menores temperaturas que podem tornar-se fortemente limitantes para formação da fibra, principalmente nas épocas finais de sua formação (maturação). Soma-se a esse fator a drástica redução de chuvas, principalmente em ambientes de Cerrado (experimentos I e IV) a partir de abril (Figura 1, Capítulo 1). Essas restrições são essenciais na definição da época de semeadura visando-se a evitar perdas de produtividade e qualidade de fibra. A região de Chapadão de Sul é conhecida por ser altamente restritiva quanto a baixas temperaturas no fim do ciclo para qualidade de fibra (ROSOLEM; ECHER, 2015), enquanto que a região de Primavera do Leste é menos restritiva quanto a temperaturas, mas as possibilidades de deficiência hídrica aumentam severamente no fim do ciclo, o que está de acordo com os dados meteorológicos locais (Figura 1, Capítulo 1). A região de Itapeva também passa a apresentar restrições à qualidade de fibra a partir de abril devido a baixas temperaturas, mas esse efeito é reduzido devido à semeadura em uma época anterior (outubro e novembro).

A qualidade da fibra de plantas em áreas totais resulta da contribuição individual de cada capulho. Se há maior fração de fibra total formada em épocas mais tardias e, portanto, sujeitas às restrições ambientais locais, os capulhos formados nessas

condições resultarão em provável queda da qualidade de fibra final. Esse fenômeno pôde ser notado nas análises por terço da planta. O índice micronaire foi reduzido na fração superior da haste principal, em comparação às demais (Tabelas 12 a 15). Além disso, o aumento da dose de N e o uso do cultivar tardio levou à redução do índice no terço superior em Itapeva e Chapadão do Sul, respectivamente (Tabelas 13 e 14). A adoção de maiores doses de N e de cultivares de ciclo mais tardio aumenta a proporção de capulhos retidos em ramos superiores da haste principal, o que então poderá decrescer a qualidade final da fibra. Portanto, a definição da época de semeadura, do cultivar e do manejo da adubação nitrogenada são fundamentais para a definição dos resultados finais de qualidade de fibra.

De modo geral, o índice micronaire foi a única variável analisada consistentemente afetada em resposta à adubação nitrogenada, fator que, neste trabalho, foi determinante na qualidade final da fibra. As variações no índice micronaire nas amostras de fibra coletadas nas diferentes partes da planta também possibilitaram inferir respostas relacionadas ao hábito de crescimento de cultivares e à influência ambiental, ao passo que os valores de comprimento e resistência foram mais diretamente determinados por componentes genéticos. Por outro lado, a pouca influência do sombreamento artificial constatada sobre os resultados finais dos testes em *HVI* é indicativa de que a imposição de restrição luminosa moderada no início do florescimento (redução de 42% de radiação global) é mais efetiva em diminuir a produtividade final, mediante redução do número de frutos, conforme os resultados do Capítulo 1, do que em promover alterações nas características intrínsecas da fibra.

2.5 Conclusões

A ocorrência de interações apenas em situações pontuais e esporádicas indicam que os efeitos de sombreamento e adubação nitrogenada sobre a qualidade de fibra do algodoeiro são independentes. A redução temporária de 42% da radiação global imposta no início do florescimento em regiões tropicais e subtropicais tem efeitos limitados e pouco consistentes sobre qualidade da fibra. A adubação nitrogenada, porém, apresenta efeitos mais diretos e previsíveis. O aumento da dose de N em cobertura resulta em redução do índice micronaire, favorecendo a formação de fibras imaturas. Outras características de fibra, no entanto, são pouco afetadas pela adubação nitrogenada. Comprimento, uniformidade de comprimento, resistência e

índice micronaire foram as características mais afetadas por componentes genéticos. As variações e diferenças relativas ao índice micronaire entre cultivares, no entanto, dependem do ponto de amostragem da fibra. Os resultados finais são indicativos de que fibras de cultivares mais precoces tendem a apresentar menor valor de micronaire em posições iniciais de frutificação, ao passo que fibras de cultivares de ciclo tardio são mais propensas a ter índice micronaire reduzido em frutos mais tardios do ciclo.

Referências

- 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**, Cordova, v. 14, p. 164-172, 2010.
- BAUER, P. J.; ROOF, M. E. Nitrogen, aldicarb, and cover crop effects on cotton yield and fiber properties. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 369-376, 2004.
- BAUER, P. J.; MAY, O. L.; CAMBERATO, J. J. Planting date and potassium fertility effects on cotton yield and fiber properties. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 11, n. 4, p. 415-420, 1998.
- BEDNARZ, C. W.; NICHOLS, R. L. Phenological and morphological components of cotton crop maturity. **Crop Science**, v. 45, p. 1497-1503, 2005.
- CHEN, B. L.; YANG, H. K.; MA, Y. N.; LIU, J. R.; LV, J. R.; CHEN, J.; MENG, Y. L.; WANG, Y. H. Effect of shading on yield, fiber quality and physiological characteristics of cotton subtending leaves on different fruiting positions. **Phytosynthetica**, Praha, v. 55, p. 240-250, 2017.
- 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**, Heidelberg, v. 36, p. 2581-2595, 2014.
- CLAWSON, E. L.; COTHREN, J. T.; BLOUIN, D. C. Nitrogen fertilization and yield of cotton in ultra-narrow and conventional row spacings. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, p. 72-79, 2006.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília: CONAB, 2017. 157 p. (v. 4, n. 9).
- DAVIDONIS, G. H.; JOHNSON, A. S.; LANDIVAR, J. A.; FERNANDEZ, C. J. Cotton fiber quality is related to boll location and planting date. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 1, p. 42-47, 2004.
- ECHER, F. R. Yield and fiber quality of cotton cultivars in response to shading. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 13, p. 87-96, 2017.
- ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A. Cotton leaf gas exchange responses to irradiance and leaf aging. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 59, p. 366-372, 2015a.
- 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**, Amsterdam, v. 65, p. 18-26, 2015b.

FRITSCHI, F. B.; ROBERTS, B. A.; TRAVIS, R. L.; RAINS, D. W.; HUTMACHER, R. B. Response of irrigated acala and pima cotton to nitrogen fertilization: growth, dry matter partitioning, and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, p. 133-146, 2006.

GÖRMÜS, O. Interactive effect of nitrogen and boron on cotton yield and fiber quality. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 29, p. 51-59, 2005.

GRIMES, D. W.; YAMADA, H. Relation of cotton growth and yield to minimum leaf water potential. **Crop Science**, Madison, v. 22, n. 1, p. 134-139, 1982.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; FRANCISCO, E. A. B. Nitrogen and potassium in narrow-row cotton. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, e0150103, p. 1-12, 2016.

KOTHARI, N.; DEVER, J.; HAGUE, S.; HEQUET, E. Evaluating intraplant cotton fiber variability. **Crop Science**, Madison, v. 55, p. 564-570, 2015.

LIMA, J. J.; BELOT, J. L. A fibra de algodão: qualidade e classificação. In: BELOT, J. L. (Ed.). **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. Cuiabá: IMAmt, Ampa, 2015. p. 280-295.

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**, Amsterdam, v. 183, p. 1-13, 2013.

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

LV, F.; LIU, J.; MA, Y.; CHEN, J.; ABUDUREZIKEKEY, A. K.; WANG, Y.; CHEN, B.; MENG, Y.; ZHOU, Z. Effect of shading on cotton yield and quality on different fruiting branches. **Crop Science**, Madison, v. 53, p. 2670-2678, 2013.

MAIN, C. L.; BARBER, L. T.; BOMAN, R. K.; CHAPMAN, K.; DODDS, D. M.; DUNCAN, S.; EDMISTEN, K. L.; HORN, P.; JONES, M. A.; MORGAN, G. D.; NORTON, E. R.; OSBORNE, S.; WHITAKER, J. R.; NICHOLS, R. L.; BRONSON, K. F. Effects of nitrogen and planting seed size on cotton growth, development, and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 1853-1859, 2013.

MARANI, A.; AMIRAV, A. Effects of soil moisture stress on two varieties of upland cotton in Israel. III. The Bet-She' An Valley. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 7, p. 289-301, 1971.

McDONALD, J. H. Data transformations. In: _____. **Handbook of biological statistics**. 3. ed. Baltimore: Sparky House Publishing, 2014. p. 141-145.

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**, Hoboken, v. 54, p. 225-229, 1982.

PETTIGREW, W. T. Environmental effects on cotton fiber carbohydrate concentration and quality. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 1108-1113, 2001.

PETTIGREW, W. T. Source-to-sink manipulation effects on cotton fiber quality. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, p. 947-952, 1995.

PETTIGREW, W. T. Source-to-sink manipulation effects on cotton lint yield and yield components. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 731-735, 1994.

PETTIGREW, W. T.; ZENG, L. Interactions among irrigation and nitrogen fertility regimes on mid-south cotton production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, p. 1614-1622, 2014.

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

RAPER, T. B.; SNIDER, J. L.; DODDS, D. M.; JONES, A.; ROBERTSON, B.; FROMME, D.; SANDLIN, T.; CUTTS, T.; BLAIR, R. Genetic and environmental contributions to cotton yield and fiber quality in the Mid-South. **Crop Science**, Madison, v. 59, p. 307-319, 2019.

ROSOLEM, C. A.; ECHER, F. R. Ecofisiologia do algodoeiro: implicações na época de semeadura e qualidade. In: FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. 3. ed. Brasília: ABRAPA, 2015. p. 533-558.

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

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**, Madison, v. 13, p. 704-709, 1973.

SLUIJS, M. H. J. van der. Impact of the ginning method on fiber quality and textile processing performance of long staple upland cotton. **Textile Research Journal**, London, v. 85, p. 1579-1589, 2015.

TEWOLDE, H.; FERNANDEZ, C. J. Fiber quality response of pima cotton to nitrogen and phosphorus deficiency. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 26, n. 1, p. 223-235, 2003.

WANJURA, J. D.; ARMIJO, C. B.; FAULKNER, W. B.; BOMAN, R. K.; KELLEY, M. S.; HOLT, G. A.; PELLETIER, M. G. Comparison of high-speed roller and saw ginning on Texas High Plains cotton. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCES, 2012, Orlando. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council of America, 2012. p. 671-675.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M. Cotton responses to shade at different growth stages: growth, lint yield and fibre quality. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 36, p. 27-39, 2000.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M. Cotton responses to shade at different growth stages: nonstructural carbohydrate composition. **Crop Science**, Madison, v. 38, p. 1196-1203, 1998.

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C.; SOFIATTI, V.; FARIAS, F. J. C.; CARVALHO, L. P. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 43-52, 2015.

CAPÍTULO 3 – EFEITOS DO SOMBREAMENTO E DO NITROGÊNIO SOBRE A PRECOCIDADE DO ALGODOEIRO AVALIADA PELA DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO DE CAPULHOS

Resumo

O sombreamento e a adubação nitrogenada afetam a distribuição de frutos no algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), mas não há informações detalhadas sobre a precocidade da maturidade da cultura de acordo com seu desenvolvimento fenológico. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do sombreamento no início do florescimento e de doses de N em cobertura sobre a precocidade relativa do algodoeiro por meio do mapeamento de plantas. Experimentos de campo foram conduzidos em Itapeva (16 dias de sombreamento; e 0, 60 120 e 180 kg ha⁻¹ de N) e Chapadão do Sul (17 dias de sombreamento; 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N; e cultivares de ciclo precoce e tardio), Brasil. A produção de algodão em caroço foi agrupada por posição fenológica (PF) de acordo com a escala fenológica padrão, para cálculos de interpolação linear a cada 10% de incremento na produção acumulada (A_c), determinação de posição fenológica ponderada (PF_μ) e análise de regressão logística. A precocidade da cultura foi determinada baseando-se nas reduções dos valores de PF e PF_μ . O sombreamento aumentou a PF até 10 e 30% de A_c devido a reduções de 33 e 40% no número de capulhos em posições iniciais de frutificação em Itapeva e Chapadão do Sul, respectivamente, mas não afetou PF_μ . Aumentos dos valores de PF até altos percentuais de A_c foram observados nas duas maiores doses de N em ambos os experimentos, decorrentes principalmente do menor e do maior número de capulhos em posições de frutificação iniciais e tardias, respectivamente. O sombreamento temporário durante o início do florescimento alterou a distribuição da produção por meio da redução do número de capulhos em sítios de frutificação iniciais, mas não afetou a precocidade da produção. A precocidade foi reduzida pelas altas doses de N devido à maior produção acumulada em posições tardias de frutificação.

Palavras-chave: Estresse luminoso. Fenologia. Fisiologia de plantas cultivadas. *Gossypium hirsutum* L. Nitrogênio.

SHADING AND NITROGEN EFFECTS ON COTTON EARLINESS ASSESSED BY BOLL YIELD DISTRIBUTION

Abstract

Shading and N fertilization affect fruit distribution in cotton (*Gossypium hirsutum* L.), but there is no detailed information on earliness of crop maturity according to phenological development. The aim of this work was to evaluate the effect of shading at early flowering and N top-dressing rates on relative cotton earliness using plant mapping. Field experiments were conducted in Itapeva (16 d of shading; and 0, 60, 120, and 180 kg N ha⁻¹) and Chapadão do Sul (17 d of shading; 0, 80, and 160 kg N ha⁻¹; and early- and full-season cultivars), Brazil. Seed cotton yield was grouped by phenological position (PP) according to the standard phenological scale, for interpolation calculation at each 10% increment in accumulated harvestable yield (A_c), weighted average PP (PP_{wa}) determination, and logistic-regression analysis. Crop maturity earliness was predicted based on the reduction in PP_{wa} and in PP. Shading increased PP up to 10 and 30% of A_c due to a decrease of 33 and 40% in the number of bolls on early fruiting sites in Itapeva and Chapadão do Sul, respectively, but did not affect PP_{wa} . Increases in PP up to high A_c percentages and in PP_{wa} values were observed at the two higher N rates in both experiments, mainly due to lower and higher boll number at earlier and later fruiting sites, respectively. Short-term shading during early flowering of cotton changed yield distribution by decreasing boll number on early fruiting sites, but did not affect the earliness of crop maturity. Earliness was decreased by high N rates due to higher cumulative seed cotton yield at later fruiting sites.

Keywords: Light stress. Phenology. Crop physiology. *Gossypium hirsutum* L. Nitrogen.

3.1 Introdução

Na cultura do algodoeiro, determinar a precocidade ou a maturidade da cultura no campo é um procedimento fundamental para comparar genótipos e estudar efeitos ambientais ou tratamentos experimentais. O termo “precocidade” representa o rápido desenvolvimento ou maturação da fração do algodão a ser colhido em relação ao seu período de cultivo (OOSTERHUIS et al., 2008). Por sua vez, embora não haja consenso, a maturidade é uma medida relacionada à duração da frutificação e ao tempo necessário para colher-se uma determinada fração da produção comercializável (SHARMA et al., 2013). A precocidade da maturidade cultural é um dos principais fatores que contribuem na formação dos componentes de produção e da qualidade de fibra, e na definição dos custos de produção.

Embora várias técnicas tenham sido descritas e aplicadas, não há um método padrão para medições de precocidade e maturidade, pois os índices já propostos não são aplicáveis a todas as situações possíveis (GWATHMEY et al., 2016; RAY; RICHMOND, 1966). Índices diagnósticos de maturidade podem ser obtidos por avaliações realizadas durante ou no fim do ciclo da cultura. As avaliações conduzidas no fim do ciclo podem ser cronológicas, as quais envolvem medidas de tempo, ou relativas, sem o uso de uma escala de tempo absoluta (GWATHMEY et al., 2016). A avaliação da precocidade tem sido frequentemente realizada medindo-se a proporção de algodão colhido na primeira colheita em relação ao total colhido em duas ou mais colheitas sucessivas (HARRIS; SMITH, 1980; KERBY et al., 1990; MUNIR et al., 2015), a proporção de capulhos colhidos em sítios de frutificação iniciais (FRY, 1985), o número de nós acima da flor branca (McCONNELL et al., 1993), o número do nó do caule de inserção do primeiro ramo frutífero (KERBY et al., 1990; RAY; RICHMOND, 1966), o percentual de frutos abertos (BANGE et al., 2010; SNIPES; BASKIN, 1994) e o número de nós acima da maçã em abertura (BANGE et al., 2010; BEDNARZ et al., 2002; FAIRCLOTH et al., 2004).

Uma das medidas relativas possíveis, caso a avaliação somente seja realizável no estágio de colheita, é a distribuição da produção na planta obtida através do mapeamento da produção. Os valores determinados podem então ser reunidos por grupos de nós da haste principal e posições horizontais de ramos simpodiais, podendo-se incluir também os monopodiais. Entre as medidas de distribuição determinadas por meio do mapeamento de plantas estão o percentual da produção

total (BEDNARZ; NICHOLS, 2005; KERBY et al., 1990) e o percentual de frutos retidos (JOST; COTHREN, 2001; KERBY; BUXTON, 1981) por sítio de frutificação.

Para uma melhor estimativa da precocidade, os dados do mapeamento podem ser agrupados de acordo com a ordem cronológica de florescimento da cultura. Um dos primeiros registros dessa ordem foi feito por McClelland (1916), tendo relatado em ramos simpodiais intervalos de florescimento verticais e horizontais de 3 e 6 dias, respectivamente, resultando em uma sequência de distribuição peculiar em forma de espiral. Esse padrão de florescimento em espiral nos sentidos ascendente e lateral é atualmente um sistema de referência utilizado em escalas fenológicas do algodoeiro (MARUR; RUANO, 2001; OOSTERHUIS, 1999). Schaefer et al. (2017) observaram que essa ordem cronológica anteriormente descrita ainda é um padrão geral.

Cultivares de ciclo precoce acumulam maior percentual de sua produção final em nós situados em partes mais inferiores da haste principal, devido à maior proporção de frutos desenvolvidos durante o início da fase de enchimento de maçãs (BEDNARZ; NICHOLS, 2005; JENKINS et al., 1990ab). Esses cultivares, no entanto, são menos vigorosos e possuem menor capacidade de compensar perdas de frutos iniciais em posições de frutificação tardias em comparação a cultivares de ciclo tardio (KERBY et al., 2010). Plantas de algodoeiro submetidas a ambientes com limitações severas ao crescimento, como déficit hídrico (HEARN, 1969) e compactação do solo (GWATHMEY et al., 2010), podem cessar o desenvolvimento do ciclo mais precocemente, o que está, em geral, associado à redução de produtividade. Geralmente, condições ambientais limitantes para o crescimento e para a retenção de frutos tardios estão associadas à maturidade da cultura mais precoce (aumento da precocidade). Adicionalmente, adubações com baixas doses de N limitam o crescimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade final é reduzida e se concentra em menor número de sítios de frutificação situados em regiões inferiores, ao passo que o desenvolvimento vegetativo excessivo resultante da adição de altas doses de N está relacionado ao aumento da taxa de abscisão de frutos iniciais (BOQUET et al., 1994; CLAWSON et al., 2008; GERIK et al., 1996). Portanto, no algodoeiro, é possível utilizar em alguns casos a precocidade como um indicador complementar do desempenho produtivo.

Nas principais regiões cotonicultoras do Brasil, a produtividade de algodão tem sido limitada pela presença de períodos nublados prolongados, associados à ocorrência de chuvas, durante o início do florescimento (ECHER; ROSOLEM, 2015).

O estresse luminoso causado pelo sombreamento nos estágios de florescimento e enchimento de frutos reduz a atividade fotossintética foliar (ZHAO; OOSTERHUIS, 1998), podendo aumentar a taxa de abscisão de botões florais e maçãs jovens e reduzir a massa média dos capulhos (GUINN, 1974; LV et al., 2013), resultando então em maior proporção da produção final em nós superiores da haste principal (ECHER; ROSOLEM, 2015). Efeitos do sombreamento e de doses de N têm sido amplamente relatados, com resultados do mapeamento de plantas sendo apresentados por poucos grupos de nós da haste principal (ECHER; ROSOLEM, 2015; LV et al., 2013). Não há, porém, resultados detalhados sobre a distribuição fenológica da produção em cada planta e, conseqüentemente, sobre a precocidade. A distribuição fenológica da produção pode prover uma descrição mais completa de efeitos temporários e contínuos para quantificar a extensão em que a precocidade da maturidade da cultura é afetada. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar efeitos do sombreamento e de doses de N sobre a precocidade relativa da maturidade do algodão por mapeamento de plantas.

3.2 Material e métodos

Dois experimentos foram conduzidos em ambientes subtropical (Itapeva) e tropical (Chapadão do Sul). As unidades experimentais utilizadas no mapeamento consistiram em sete plantas inteiras sequenciais de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) no ponto de colheita por parcela em cada experimento. A parte aérea de cada planta foi removida do campo cortando-se a haste principal ao nível do solo. Os capulhos foram colhidos, contados e agrupados por sítio individual de frutificação (nó da haste principal e posição em um ramo simpodial), e cada grupo foi pesado em balança de precisão. Então, os valores de massa média de capulhos (MC) e o número de capulhos por sítio de frutificação foram determinados.

Informações gerais sobre características geográficas, propriedades químicas e físicas do solo, radiação solar e manejo da cultura em cada local estão apresentadas na Tabela 16. Dados mensais de precipitações acumuladas, temperaturas médias e de médias diárias de radiação global e de radiação incidente no topo da atmosfera estão na Tabela 17. A radiação solar incidente no topo da atmosfera foi calculada em função da latitude e do dia do ano (DUFFIE; BECKMAN, 2013). O índice de claridade (razão radiação global / radiação incidente no topo da atmosfera) foi determinado como um indicador diretamente proporcional à radiação solar direta

(ESCOBEDO et al., 2009). As descrições de cada experimento são apresentadas a seguir.

Tabela 16 – Características geográficas, edáficas e fitotécnicas dos experimentos de algodão durante a safra 2016/2017

Parâmetro	Itapeva	Chapadão do Sul
Latitude	23°40'18,90"S	18°40'05,63"S
Longitude	48°59'00,93"O	52°53'46,67"O
Altitude (m)	670 m	854 m
Clima (Köppen)	Cwa ⁽¹⁾	Aw ⁽²⁾
Solo (Classe)	Latossolo	Latossolo
Argila ⁽³⁾ –silte ⁽³⁾ –areia ⁽³⁾ –MO ⁽³⁾⁽⁴⁾ (g kg ⁻¹)	269–103–628–26	568–374–58–34
SB ⁽³⁾⁽⁵⁾ –CTC ⁽³⁾⁽⁶⁾ (mmol _c dm ⁻³)	72,0–93,0	30,3–90,3
Cultura antecessora	Trigo	Pousio
Cultivar (Ciclo)	FM 940 GLT (Médio)	FM 983 GLT (Tardio) e EB 1405 GLT (Precoce)
Espaçamento (m)	0,9	0,9
Plantas m ⁻¹	6,8	7,1
Data da semeadura	01/11/2016	29/12/2016
Adubação de semeadura	217 kg ha ⁻¹ MAP ⁽⁷⁾	230 kg ha ⁻¹ MAP
Data da emergência	08 /11/2016	03/01/2017
1ª Adubação de N em cobertura	33 DAE ⁽⁸⁾	29 DAE
Adubação de KCl em cobertura	62 DAE–67 kg ha ⁻¹	29 DAE–150 kg ha ⁻¹
2ª Adubação de N em cobertura	62 DAE	69 DAE
Período de sombreamento	62–78 DAE	69–86 DAE
Qg ⁽⁹⁾ –Qo ⁽¹⁰⁾ no período de sombra (MJ m ⁻²)	299–678	301–609
Colheita	03/05/2017 (176 DAE)	26/07/2017 (204 DAE)

⁽¹⁾ Subtropical, mesotérmico, com verão quente e úmido, e inverno frio e seco.

⁽²⁾ Tropical, com inverno ameno e seco, e verão quente e úmido.

⁽³⁾ 0–20 cm.

⁽⁴⁾ Matéria orgânica (solo).

⁽⁵⁾ Soma de bases do solo.

⁽⁶⁾ Capacidade de troca catiônica do solo.

⁽⁷⁾ Fósforo monoamônico.

⁽⁸⁾ Dias após a emergência.

⁽⁹⁾ Radiação solar global (plantas não sombreadas).

⁽¹⁰⁾ Radiação solar incidente no topo da atmosfera.

Tabela 17 – Precipitações, temperaturas médias mensais e radiação solar durante a safra 2016/2017

	Itapeva (2016/2017)					Chapadão do Sul (2016/2017)				
	P ⁽¹⁾⁽²⁾ (mm)	T ⁽³⁾ (°C)	Qg ⁽⁴⁾ (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Qo ⁽⁵⁾ (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Qg/Qo (%)	P ⁽¹⁾ (mm)	T ⁽³⁾ (°C)	Qg ⁽⁴⁾ (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Qo ⁽⁵⁾ (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Qg/Qo (%)
nov.	55	20,5	20,9	41,7	50,1	-	-	-	-	-
dez.	105	22,2	20,3	42,9	47,3	44	23,3 ⁽⁷⁾	25,5 ⁽⁷⁾	41,9 ⁽⁷⁾	60,9 ⁽⁷⁾
jan.	354	22,4	17,3	42,3	40,9	395	22,5	17,7	41,5	42,6
fev.	89	23,7	21,5	39,9	53,9	362	23,1	22,0	39,9	55,1
mar.	126	21,7	17,0	35,4	48,1	391	23,2	19,4	36,5	53,1
abr.	150	19,4	14,6	27,6	52,9	65	22,5	18,9	31,6	59,8
maio	1 ⁽⁶⁾	18,0 ⁽⁶⁾	15,9 ⁽⁶⁾	26,5 ⁽⁶⁾	60,0 ⁽⁶⁾	22	22,2	17,1	27,1	63,1
jun.	-	-	-	-	-	3	19,5	15,9	24,9	63,9
jul.	-	-	-	-	-	0 ⁽⁸⁾	18,2 ⁽⁸⁾	16,6 ⁽⁸⁾	25,7 ⁽⁸⁾	64,6 ⁽⁸⁾

(1) Precipitação.

(2) Irrigação do pivô central inclusa.

(3) Temperatura média mensal.

(4) Radiação solar global média diária por mês.

(5) Radiação solar incidente no topo da atmosfera média diária por mês.

(6) Até 3 de maio de 2017.

(7) A partir de 25 de dezembro de 2016.

(8) Até 26 de julho de 2017.

3.2.1 Itapeva (sombreamento x doses de nitrogênio)

O experimento foi conduzido em área de fazenda localizada em Itapeva (São Paulo, Brasil), com sistema de irrigação de pivô central. O clima é subtropical, com precipitação anual de 1300 mm. A área foi mantida em sistema de manejo de cultivo mínimo, utilizando-se trigo (*Triticum aestivum* L.) como cultura antecessora ao algodoeiro durante as épocas de outono e inverno (maio a setembro). O cultivar de algodoeiro FM 940 GLT foi semeado em 01 de novembro de 2016 em fileiras espaçadas em 0,9 m e, aproximadamente, 6,8 plantas m⁻¹ em parcelas de quatro fileiras de 5,0 m de comprimento. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de doses de N em cobertura, aplicadas na forma de ureia (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹), na presença ou ausência de sombra. As doses de N foram parceladas em duas aplicações: metade aos 33 dias após a emergência (DAE) e o restante na abertura das primeiras flores ou estágio F1 (MARUR; RUANO, 2001), no mesmo dia do início da imposição do sombreamento artificial (62 DAE). O sombreamento artificial foi imposto aos 62 DAE e consistiu em manter uma tela de cor preta sobre as plantas a 1,20 m de altura, resultando em uma redução de 42% na radiação global incidente,

por 16 dias. Irrigações correspondentes a 8,0; 8,0; 13,6; 13,6; 4,0; 12,0 e 12,0 mm foram realizadas aos 0, 28, 100, 103, 112, 121 e 136 DAE, respectivamente. O manejo da lavoura com inseticidas, herbicidas, fungicidas, reguladores de crescimento e demais fertilizantes seguiu os procedimentos utilizados nas lavouras comerciais da fazenda, de acordo com recomendações gerais descritas em Freire (2015). Reguladores de crescimento e produtos para desfolha e abertura de frutos no fim do ciclo utilizados podem ser consultados no ANEXO C. A colheita foi realizada manualmente em 3 de maio de 2017 (176 DAE).

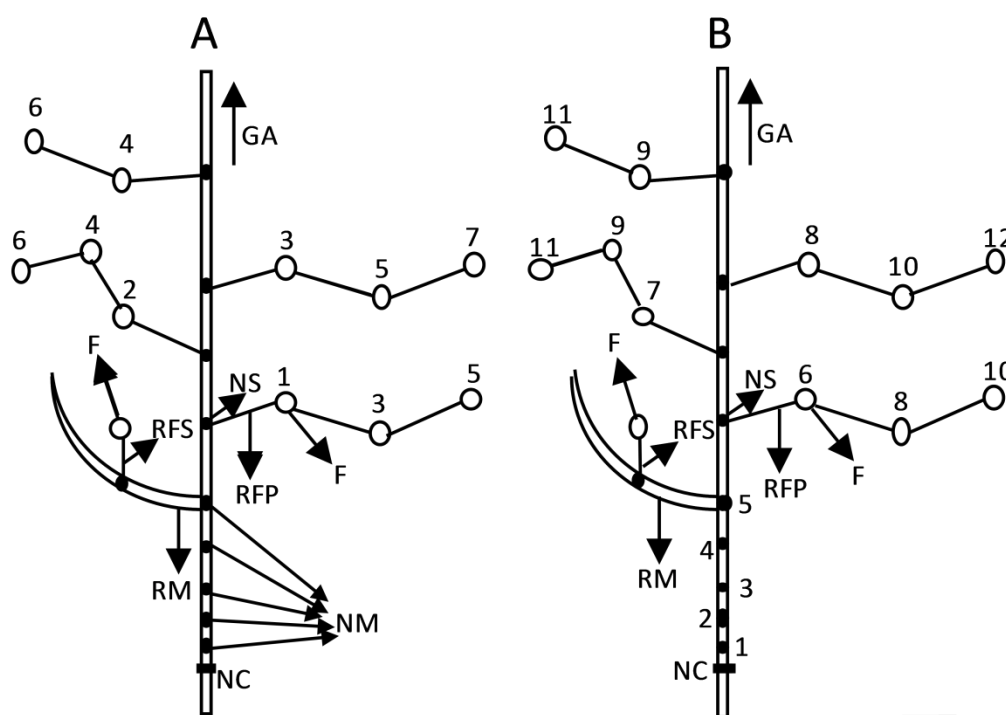
3.2.2 Chapadão do Sul (cultivares x sombreamento x doses de nitrogênio)

O experimento foi conduzido em área de fazenda localizada em Chapadão do Sul (Mato Grosso do Sul, Brasil) sem irrigação. O clima é tropical úmido (savana) com inverno seco e precipitação anual de 1600 mm, com chuvas concentradas na estação quente (de setembro a abril). A área foi mantida em pousio antes do início do experimento. O algodoeiro foi semeado em 29 de dezembro de 2016, em fileiras espaçadas em 0,9 m e com aproximadamente 7,1 plantas m^{-1} em parcelas de cinco fileiras de 5,0 m de comprimento. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 3 x 2, com três repetições. Os tratamentos constaram da presença ou ausência de sombreamento artificial; 0, 80, e 160, $kg\ ha^{-1}$ de N em adubações de cobertura na forma de ureia; e cultivares de ciclo precoce (EB 1405 GLT) e tardio (FM 983 GLT). O cultivar EB 1405 GLT foi recentemente renomeado como “FM 906 GLT” para fins comerciais. Decidiu-se, no entanto, manter o nome original “EB 1405 GLT” vigente no início do trabalho. As doses de N foram parceladas em duas aplicações: metade aos 29 DAE e o restante no início do florescimento, durante a transição entre os estádios de primeira (F1) e segunda (F2) flor (MARUR; RUANO, 2001), no mesmo dia do início do sombreamento artificial (69 DAE). O sombreamento artificial consistiu em manter uma tela de cor preta sobre as plantas a 1,20 m de altura, resultando em uma redução de 42% na radiação global incidente, por 17 dias. O manejo da lavoura com inseticidas, herbicidas, fungicidas, reguladores de crescimento e demais fertilizantes seguiu os procedimentos utilizados nas lavouras comerciais da fazenda, de acordo com recomendações gerais descritas em Freire (2015). Reguladores de crescimento e produtos para desfolha e abertura de frutos no fim do ciclo utilizados podem ser consultados no ANEXO D. A colheita foi realizada manualmente em 26 de julho de 2017 (204 DAE).

3.2.3 Análise fenológica no mapeamento de plantas

O mapeamento de plantas consistiu em determinar a produção de capulhos (algodão em caroço) por sítio individual de frutificação, considerando-se os nós da haste principal e as posições horizontalmente distribuídas nos ramos simpodiais (Figura 20A). Alguns ramos simpodiais podem ser originários de ramos monopodiais, mas a proporção dos frutos desses ramos na produção final usualmente é baixa (BEDNARZ et al., 2000; KERBY; BUXTON, 1981). Portanto, para facilitar o ordenamento cronológico de frutificação, foi considerada neste trabalho somente a produção de capulhos de ramos frutíferos inseridos diretamente na haste principal (ramos frutíferos primários).

Figura 20 – Ordem fenológica de frutificação em ramos simpodiais do algodoeiro (A); esquema de posições fenológicas utilizado neste trabalho, incluindo a contagem de ramos vegetativos abaixo do primeiro ramo simpodial (B). NC, nó cotiledonar; NM, nó monopodial (vegetativo); NS, nó simpodial (frutífero); RM, ramo monopodial (vegetativo); RFP, ramo frutífero (simpodial) primário; RFS, ramo frutífero secundário; F, fruto (capulho); GA, gema apical



Uma vez determinada a produção de algodão em caroço por nó e por posição de ramo simpodial, a quantidade foi somada de acordo com a ordem fenológica de frutificação. Os nós foram contados a partir do nó cotiledonar, que foi considerado

como “zero”. Os nós subsequentes da haste principal foram contados de acordo com o padrão fenológico de florescimento descrito por Oosterhuis (1999) e Marur e Ruano (2001) (Figura 20B). Aos valores desta escala modificada foi atribuído o termo “posição fenológica” (PF). Na Figura 20B, são observadas posições de frutificação equivalentes nos ramos simpodiais, que representam posições na planta em que o florescimento ocorre simultaneamente. Assim, a produção de cada PF foi determinada somando-se todas as suas respectivas posições de frutificação equivalentes.

Os percentuais de produção de algodão em caroço de cada PF em relação à produção total no grupo de plantas mapeado foram determinados, e, então, os percentuais de produção acumulada (A_c , y) foram calculados a cada PF até a última posição, quando se atingiram 100%. Então, foi possível estimar a PF para uma dada produção acumulada por interpolação linear entre duas posições sucessivas (PF_y):

$$PF_y = \frac{y - y_b}{y_a - y_b} + PF_b \quad (3)$$

onde “ y ” é o percentual de A_c no qual PF_y é calculada; “ PF_y ” é a PF para o percentual “ y ” de A_c ; “ y_b ” é a A_c (%) da posição fenológica imediatamente abaixo a PF_y contada no mapeamento; “ y_a ” é a A_c (%) na posição fenológica contável imediatamente acima de PF_y contada no mapeamento; e “ PF_b ” e “ PF_a ” são, respectivamente, as posições fenológicas imediatamente abaixo e acima de PF_y , contadas no mapeamento.

Outro valor representativo da distribuição de capulhos calculado foi a posição fenológica ponderada, por meio da média ponderada das posições fenológicas, considerando-se os respectivos valores de produção percentual em relação ao total:

$$PF_{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n (PF_i \times y_i)}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (4)$$

onde “ PF_{μ} ” é a posição fenológica (PF) ponderada; “ n ” é a última PF produtiva; “ PF_i ” é uma PF contável; e “ y_i ” é a produção da posição PF_i . O aumento da precocidade da maturidade da cultura foi prognosticado baseando-se na redução de PF_{μ} e dos valores de PF para altos percentuais de A_c .

A massa de capulhos (MC) média para percentuais de produção acumulada foi calculada dividindo-se a produção acumulada pelo respectivo número cumulativo de capulhos em uma PF contável. Em seguida, o princípio de interpolação linear entre duas posições sucessivas aplicado na eq. (3) foi utilizado para estimar a MC até valores específicos de PF_y :

$$MC_y = (MC_a - MC_b) \times (PF_y - PF_b) + MC_b \quad (5)$$

onde “ MC_y ” é a massa média do capulho até PF_y ou para $y\%$ de A_c ; “ MC_b ” é a MC média até PF_b ; e “ MC_a ” é a MC média até PF_a .

3.2.4 Análise dos dados

Valores de posição fenológica (PF_y) e massa média de capulhos cumulativa (MC_y) foram estimados por interpolação linear a cada 10% de incremento na produção acumulada, e a posição fenológica ponderada (PF_{μ}) foi calculada. A primeira PF produtiva contável foi registrada; e o número de capulhos em posições fenológicas iniciais e tardias foram contados para melhor caracterização de possíveis diferenças nos valores de PF_y . O número de capulhos iniciais foi registrado como o cumulativo até a posição contável entre PF_{20} e PF_{30} , a qual correspondeu à 11ª e à 10ª PF em Itapeva e Chapadão do Sul, respectivamente, ao passo que capulhos produzidos acima da 16ª PF foram considerados como tardios em ambos os experimentos. Para avaliação dos efeitos de tratamentos dentro de cada experimento, os resultados foram analisados por meio de análise de variância bifatorial (Itapeva) e trifatorial (Chapadão do Sul) e as médias foram comparadas pelo teste t (DMS, $p < 0,05$). Blocos foram considerados efeito aleatório. Para representar a distribuição da produção em função da PF, os dados de produção do mapeamento também foram analisados pela regressão logística de dois parâmetros

apresentada na eq. (6) e os limites de confiança de 95% foram determinados para cada parâmetro:

$$y = \frac{100}{\exp[(x_0 - x)/b] + 1} \quad (6)$$

onde “y” é o percentual de A_c (ordenada); “x” é a PF (abscissa); “b” é o parâmetro de declividade da curva, um valor inversamente proporcional à taxa máxima de aumento de A_c por PF; 100 é a produção máxima possível (percentual); e “ x_0 ” é a PF correspondente ao ponto de inflexão da sigmoide (PF_{50}), a posição de frutificação mediana (central) em relação à produção total da planta, ou seja, o ponto onde A_c é metade da produção máxima. A última PF onde $A_c = 0\%$ e a primeira PF onde $A_c = 100\%$ foram utilizadas, respectivamente, como pontos inicial e final para o ajuste do modelo de regressão. A função logística de dois parâmetros foi selecionada considerando-se a vantagem de simplificar todos os dados de produção determinados no mapeamento em apenas dois preditores. Foram utilizados os procedimentos Proc GLM, Proc MODEL e Proc NLIN do sistema estatístico SAS versão 9.2 (SAS Institute, Carolina do Norte, E.U.A.).

3.3 Resultados

Não houve interações significativas nas análises de posições fenológicas, massa de capulhos e número de capulhos (Tabela 18), de modo que as médias foram calculadas e comparadas dentro de cada fator, sem desdobramento. Em ambos os experimentos, o sombreamento artificial promoveu efeito significativo em aumentar os valores de PF. No entanto, em Itapeva, essa diferença foi observada somente em $A_c = 10\%$ (PF_{10}), enquanto o efeito foi significativo até PF_{30} em Chapadão do Sul (Tabela 19). Adicionalmente, o sombreamento também aumentou a primeira posição de frutificação produtiva em 0,87 e 1,77 unidades de PF em Itapeva e Chapadão do Sul, respectivamente (Tabela 20). Embora o sombreamento tenha atrasado o acúmulo inicial da produção da planta, a diferença entre plantas sombreadas e não sombreadas quanto aos valores de PF_μ não foi significativa em ambos os experimentos (Tabela 19).

Tabela 18 – Análise de variância de fatores principais e respectivas interações para posições fenológicas (PF) e massa de capulho (MC) a cada incremento de 10% na produção acumulada, posição fenológica ponderada (PF_μ), primeira posição fenológica produtiva (1ª PF), e número de capulhos em posições fenológicas iniciais (PFI) e tardias (PFT)

Parâmetro	Itapeva (2016–2017)			Chapadão do sul (2016–2017)						
	Sombra (S)	Dose de N (N)	S × N	Sombra (S)	Dose de N (N)	Cultivar (C)	S × N	S × C	N × C	S × N × C
PF ₁₀	**	***	n.s. ⁽¹⁾	***	***	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PF ₂₀	n.s.	***	n.s.	**	***	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PF ₃₀	n.s.	***	n.s.	*	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PF ₄₀	n.s.	***	n.s.	n.s.	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PF ₅₀	n.s.	***	n.s.	n.s.	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PF ₆₀	n.s.	***	n.s.	n.s.	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PF ₇₀	n.s.	***	n.s.	n.s.	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PF ₈₀	n.s.	***	n.s.	n.s.	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PF ₉₀	n.s.	***	n.s.	n.s.	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PF ₁₀₀	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PF _μ	n.s.	***	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MC ₁₀	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MC ₂₀	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MC ₃₀	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MC ₄₀	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MC ₅₀	*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MC ₆₀	*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MC ₇₀	*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MC ₈₀	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MC ₉₀	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MC ₁₀₀	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
1ª PF	*	n.s.	n.s.	***	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PFI	**	**	n.s.	***	*	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PFT	n.s.	***	n.s.	n.s.	*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

* Significativo ao nível de significância de 0,05.

** Significativo ao nível de significância de 0,01.

*** Significativo ao nível de significância de 0,001.

⁽¹⁾ n.s., não significativo.

Em resposta ao sombreamento, a MC da produção cumulativa não foi influenciada em nenhuma PF em Chapadão do Sul, mas foi aumentada até PF₆₀ (MC₆₀) em Itapeva, com diferenças variando de 0,37 (PF₁₀) a 0,15 g (PF₆₀), indicando que sítios iniciais de frutificação apresentaram as maiores variações nos valores de MC até a respectiva posição (Tabela 20). Apesar de aumentar os valores

de MC até posições fenológicas intermediárias, o sombreamento não afetou a média final de MC (MC_{100}).

Tabela 19 – Posições fenológicas determinadas para cada 10% de incremento na produção cumulativa de algodão em caroço ($PF_{y\%}$) e as respectivas médias ponderadas (PF_{μ}) em função do sombreamento durante o início do florescimento, de doses de N em cobertura e de cultivares. Itapeva e Chapadão do Sul, Brasil (2017)

	PF _{y%}										
	y ⁽¹⁾										
Tratamento	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	PF _μ
Itapeva											
Sombra											
Com sombra	10,78 a ⁽²⁾	11,94 a	12,74 a	13,54 a	14,21 a	14,91 a	15,72 a	16,90 a	18,28 a	21,62 a	14,86 a
Sem sombra	9,73 b	11,46 a	12,47 a	13,25 a	13,94 a	14,70 a	15,52 a	16,60 a	18,11 a	21,50 a	14,42 a
Dose de N											
0 kg ha ⁻¹	9,00 c	10,40 c	11,52 b	12,26 b	12,91 b	13,60 b	14,31 b	15,16 b	16,70 b	19,75 b	13,35 b
60 kg ha ⁻¹	9,86 bc	11,29 b	12,14 b	12,88 b	13,51 b	14,18 b	14,99 b	16,03 b	17,19 b	21,25 b	14,08 b
120 kg ha ⁻¹	11,35 a	12,82 a	13,62 a	14,37 a	15,08 a	15,90 a	16,82 a	18,30 a	19,83 a	23,00 a	15,82 a
180 kg ha ⁻¹	10,79 ab	12,29 ab	13,11 a	14,07 a	14,78 a	15,53 a	16,35 a	17,50 a	19,06 a	22,50 ab	15,31 a
Chapadão do Sul											
Sombra											
Com sombra	9,18 a	9,94 a	10,64 a	11,28 a	11,96 a	12,65 a	13,43 a	14,47 a	15,85 a	18,72 a	12,74 a
Sem sombra	8,32 b	9,34 b	10,17 b	10,92 a	11,67 a	12,48 a	13,46 a	14,65 a	16,41 a	19,33 a	12,50 a
Dose de N											
0 kg ha ⁻¹	8,19 b	9,08 b	9,86 b	10,55 b	11,22 b	11,90 b	12,71 b	13,68 b	15,21 b	18,58 a	11,96 b
80 kg ha ⁻¹	9,03 a	9,91 a	10,63 a	11,32 a	12,03 a	12,85 a	13,78 a	14,96 a	16,52 a	19,33 a	12,91 a
160 kg ha ⁻¹	9,02 a	9,94 a	10,72 a	11,44 a	12,19 a	12,95 a	13,86 a	15,05 a	16,67 a	19,16 a	12,99 a
Cultivar											
EB 1405 GLT	8,36 b	9,28 b	10,02 b	10,69 b	11,37 b	12,07 b	12,93 b	14,11 b	15,73 b	18,61 b	12,20 b
FM 983 GLT	9,14 a	10,04 a	10,78 a	11,51 a	12,25 a	13,05 a	13,97 a	15,01 a	16,54 a	19,44 a	13,05 a

⁽¹⁾ y, percentual de produção acumulada.

⁽²⁾ Médias na coluna que não compartilham letras iguais diferem significativamente entre si (DMS, $p < 0,05$).

A radiação reduzida na fase inicial de florescimento também resultou em importante modificação no padrão de retenção de frutos. Em ambos os experimentos, o sombreamento reduziu o número de capulhos por planta nos sítios

de frutificação iniciais em aproximadamente 33% em Itapeva ($PF \leq 11$) e 40% em Chapadão do Sul ($PF \leq 10$), ao passo que os resultados foram similares entre plantas sombreadas e não sombreadas em PFs tardias ($PF \geq 17$) (Tabela 21).

Tabela 20 – Massa de capulho determinada para cada 10% de incremento na produção cumulativa de algodão em caroço ($MC_{y\%}$) e primeira posição fenológica produtiva (1ª PF) de plantas de algodoeiro em função do sombreamento durante o início do florescimento, de doses de N em cobertura e de cultivares. Itapeva e Chapadão do Sul, Brasil (2017)

	MC _y % (g)										1 ^a PF
	y ⁽¹⁾										
Tratamento	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
Itapeva											
Sombra											
Com sombra	3,61 a ⁽²⁾	3,82 a	3,96 a	4,12 a	4,24 a	4,34 a	4,42 a	4,50 a	4,52 a	4,47 a	7,06 a
Sem sombra	3,24 b	3,53 b	3,75 b	3,92 b	4,07 b	4,19 b	4,28 a	4,38 a	4,43 a	4,39 a	6,19 b
Dose de N											
0 kg ha ⁻¹	3,45 a	3,58 a	3,68 c	3,86 c	3,99 c	4,08 c	4,20 c	4,31 b	4,40 a	4,42 a	6,62 a
60 kg ha ⁻¹	3,28 a	3,60 a	3,76 bc	3,90 bc	4,04 bc	4,16 bc	4,24 bc	4,32 b	4,40 a	4,42 a	6,00 a
120 kg ha ⁻¹	3,46 a	3,76 a	4,03 a	4,22 a	4,35 a	4,46 a	4,53 a	4,60 a	4,57 a	4,45 a	7,12 a
180 kg ha ⁻¹	3,51 a	3,74 a	3,95 ab	4,11 ab	4,25 ab	4,35 ab	4,43 ab	4,52 a	4,53 a	4,44 a	6,75 a
Chapadão do Sul											
Sombra											
Com sombra	4,58 a	4,78 a	4,91 a	4,96 a	5,00 a	5,06 a	5,09 a	5,08 a	5,02 a	4,94 a	8,83 a
Sem sombra	4,67 a	4,76 a	4,79 a	4,86 a	4,93 a	4,99 a	5,02 a	5,06 a	5,03 a	5,01 a	7,06 b
Dose de N											
0 kg ha ⁻¹	4,45 a	4,66 a	4,74 a	4,83 a	4,90 a	4,96 a	4,99 a	5,01 a	4,97 a	4,90 a	7,67 a
80 kg ha ⁻¹	4,48 a	4,70 a	4,86 a	4,95 a	5,01 a	5,04 a	5,11 a	5,14 a	5,11 a	5,06 a	8,08 a
160 kg ha ⁻¹	4,96 a	4,96 a	4,97 a	4,96 a	5,00 a	5,07 a	5,09 a	5,07 a	5,01 a	4,96 a	8,08 a
Cultivar											
EB 1405 GLT	4,57 a	4,73 a	4,83 a	4,90 a	4,99 a	5,06 a	5,11 a	5,16 a	5,15 a	5,15 a	7,55 b
FM 983 GLT	4,69 a	4,81 a	4,88 a	4,92 a	4,95 a	4,99 a	5,01 a	4,99 b	4,90 b	4,79 b	8,33 a

⁽¹⁾ y, percentual de produção acumulada.

⁽²⁾ Médias na coluna que não compartilham letras iguais diferem significativamente entre si (DMS, $p < 0,05$).

Em geral, os valores de PF_y e PF_u aumentaram até as doses de N de 120 (Itapeva) e 80 kg ha⁻¹ (Chapadão do Sul), permanecendo praticamente constantes a

partir de então (Tabela 19). Em Itapeva, maiores valores de PF foram encontrados a 120 kg ha^{-1} , mas sem diferenças em comparação aos encontrados com 180 kg ha^{-1} (Tabela 19). Além disso, não houve diferença entre 0 e 60 kg ha^{-1} até PF_{20} , e entre 60 e 180 kg ha^{-1} de N em PF_{10} e em PF_{100} . Em Chapadão Sul, maiores valores de PF nas doses de 80 e 160 kg ha^{-1} se mantiveram até PF_{90} , mas as diferenças foram reduzidas e tornaram-se não significativas no fim do ciclo (Tabela 19). Apesar de maiores doses de N estarem associadas a um valor superior para a primeira PF produtiva, não foram constatadas diferenças significativas (Tabela 20).

Tabela 21 – Número total de capulhos por planta em posições fenológicas (PF) iniciais e tardias de plantas de algodoeiro em resposta ao sombreamento, a doses de N em cobertura e a cultivares em Itapeva e Chapadão do Sul (2017)

Itapeva ⁽¹⁾			Chapadão do Sul ⁽²⁾		
Tratamento	Nº de capulhos por planta		Tratamento	Nº de capulhos por planta	
	PF			PF	
	≤11	≥17		≤10	≥17
Sombra			Sombra		
Com sombra	1,73 a ⁽³⁾	3,90 a	Com sombra	1,71 b	1,03 a
Sem sombra	2,61 b	3,60 a	Sem sombra	2,87 a	1,38 a
Dose de N			Dose de N		
0 kg ha ⁻¹	2,93 a	1,45 b	0 kg ha ⁻¹	2,69 a	0,78 b
60 kg ha ⁻¹	2,27 ab	2,13 b	80 kg ha ⁻¹	2,19 ab	1,29 ab
120 kg ha ⁻¹	1,63 b	6,12 a	160 kg ha ⁻¹	1,98 b	1,55 a
180 kg ha ⁻¹	1,86 b	5,32 a			
			Cultivar		
			EB 1405 GLT	2,80 a	0,87 b
			FM 983 GLT	1,77 b	1,54 a

⁽¹⁾ $\text{PF} \leq 11$ e $\text{PF} \geq 17$ adotadas como posições fenológicas de frutificação iniciais e tardias, respectivamente. “ $\text{PF} \leq 11$ ” indica o número total de capulhos por planta ao longo de todos os sítios de frutificação até “ $\text{PF} = 11$ ”. “ $\text{PF} \geq 17$ ” indica o número total de capulhos por planta ao longo de todos os sítios de frutificação a partir de “ $\text{PF} = 17$ ” até a última posição fenológica.

⁽²⁾ $\text{PF} \leq 10$ e $\text{PF} \geq 17$ adotadas como posições fenológicas de frutificação iniciais e tardias, respectivamente. “ $\text{PF} \leq 10$ ” indica o número total de capulhos por planta ao longo de todos os sítios de frutificação até “ $\text{PF} = 10$ ”.

⁽³⁾ Médias que não compartilham letras iguais diferem significativamente entre si (DMS, $p < 0,05$).

A dose de N em cobertura não resultou em efeitos significativos nos valores de massa de capulhos em Chapadão do Sul, mas foram encontradas diferenças de

MC₃₀ a MC₈₀ em Itapeva (Tabela 20). Maiores valores de MC foram observados na dose de 120 kg ha⁻¹, a qual não diferiu por sua vez da dose de 180 kg ha⁻¹ em nenhuma PF. A massa de capulhos, porém, não foi reduzida na condição de 60 kg ha⁻¹ em comparação a 180 kg ha⁻¹ até MC₇₀. Em geral, maiores doses de N estiveram associadas ao aumento de massa de capulho em posições de frutificação intermediárias, embora o valor final MC₁₀₀ não tenha sido afetado (Tabela 20). Em Itapeva, o número de capulhos iniciais (PF ≤ 11) retidos por planta sem adubação nitrogenada de cobertura foi superior em 90 (1,3 capulhos planta⁻¹) e 79% (1,07 capulhos planta⁻¹) em relação às doses de 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 21). Em Chapadão do Sul, o número de capulhos acumulado até a 10ª PF na dose controle de N (0 kg ha⁻¹) não diferiu do determinado na dose de 80 kg ha⁻¹, mas foi 36% maior (0,7 capulhos planta⁻¹) do que a média encontrada a 160 kg ha⁻¹. O número total de capulhos em PF ≥ 17 foi aumentado nas doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ em Itapeva e na dose de 160 kg ha⁻¹ em Chapadão do Sul (Tabela 21). Em Itapeva, em comparação às doses de 0 e 60 kg ha⁻¹, os aumentos foram superiores a 3 capulhos planta⁻¹, indicando uma influência determinante no padrão de retenção de frutos tardios. Em Chapadão do Sul, houve aumento de menor magnitude (0,77 capulhos planta⁻¹) na dose máxima (160 kg ha⁻¹) em comparação ao controle (Tabela 21).

O cultivar de ciclo precoce EB 1405 GLT apresentou menores valores de PF_μ e PF_γ do que o tardio FM 983 GLT ao longo de todos os percentuais de A_c (Tabela 19). O uso do cultivar de ciclo tardio aumentou a média de PF_μ em 0,85, ao passo que os aumentos de PF_γ variaram de 0,76 a 1,04 posições. FM 983 GLT também teve primeiro sítio de frutificação superior em 0,78 PF em comparação a EB 1405 GLT (Tabela 20). Os cultivares não diferiram quanto à massa média de capulho até 70% de A_c, enquanto FM 983 GLT apresentou valores de MC significativamente menores a partir de MC₈₀ até a média final MC₁₀₀ (Tabela 20). Os genótipos também diferiram entre si quanto ao número de frutos retidos nos sítios de frutificação iniciais e tardios. FM 983 GLT teve número cumulativo de capulhos 37% inferior (1,03 capulhos planta⁻¹ a menos) até a 11ª PF e 88,5% superior (0,67 capulhos planta⁻¹ a mais) a partir da 16ª PF em comparação com EB 1405 GLT (Tabela 21). Esses resultados indicam maior capacidade do cultivar de ciclo precoce EB 1405 GLT em reter frutos no início da fase de enchimento de maçãs. Analogamente, FM 983 GLT foi mais propenso a produzir maior quantidade de capulhos tardios.

Visto que não houve interações nas análises de PF, as regressões logísticas foram ajustadas para cada fator de análise (sombreamento, doses de N e cultivares). Os ajustes do modelo logístico aos valores A_c em função de PF foram sempre significativos ($p < 0,001$), resultando em coeficientes de determinação (R^2) próximos a 1 (Tabela 22). As estimativas dos dois parâmetros do modelo (declividade e intercepto) foram altamente significativas ($p < 0,001$) em todas as análises de regressão realizadas (Tabela 22).

Tabela 22 – Raiz do quadrado médio do resíduo (RQMR), coeficiente de determinação (R^2) e estimativas dos parâmetros do modelo logístico $\{y = 100/[e^{(x_0-x)/b} + 1]\}$ ajustado aos percentuais cumulativos de produção em caroço em função de posições fenológicas em resposta a condições de sombreamento, doses de N em cobertura e cultivares. Experimentos em Itapeva e Chapadão do Sul (2017)

Tratamento	Modelo		Estimativa do Parâmetro		Limites de confiança (95%)	
	RQMR	R^2 ajustado	x_0	b	x_0	b
Itapeva						
Sombra						
Com sombra	8,80	0,95***	14,27***	1,80***	14,12–14,40	1,68–1,93
Sem sombra	8,77	0,95***	13,86***	1,94***	13,72–14,01	1,81–2,07
Dose de N						
0 kg ha ⁻¹	6,74	0,97***	12,71***	1,70***	12,55–12,86	1,57–1,83
60 kg ha ⁻¹	5,66	0,98***	13,55***	1,65***	13,42–13,68	1,54–1,76
120 kg ha ⁻¹	4,93	0,98***	15,28***	1,90***	15,17–15,40	1,80–2,00
180 kg ha ⁻¹	4,22	0,99***	14,82***	1,84***	14,72–14,92	1,75–1,92
Chapadão do Sul						
Sombra						
Com sombra	8,51	0,95***	12,07***	1,58***	11,95–12,19	1,47–1,69
Sem sombra	7,95	0,95***	11,84***	1,89***	11,72–11,97	1,77–2,00
Dose de N						
0 kg ha ⁻¹	8,55	0,95***	11,31***	1,64***	11,16–11,47	1,50–1,78
80 kg ha ⁻¹	6,41	0,97***	12,26***	1,74***	12,14–12,38	1,64–1,85
160 kg ha ⁻¹	7,35	0,96***	12,33***	1,77***	12,20–12,47	1,65–1,89
Cultivar						
EB 1405 GLT	6,50	0,97***	11,53***	1,66***	11,44–11,63	1,57–1,75
FM 983 GLT	8,57	0,95***	12,40***	1,77***	12,27–12,53	1,65–1,89

*** Significativo ao nível de probabilidade de 0,001.

De acordo com os limites de confiança de 95%, o ponto de inflexão x_0 foi aumentado devido ao sombreamento em Itapeva, mas não foi afetado por esse fator em Chapadão do Sul (Tabela 22). Doses mais altas de N estiveram associadas a maiores valores de x_0 em Itapeva (120 e 180 kg ha⁻¹) e Chapadão do Sul (80 e 160 kg ha⁻¹), conforme apresentado na Tabela 22. O cultivar de ciclo precoce EB 1405 GLT apresentou menores valores de x_0 em comparação ao tardio FM 983 GLT em Chapadão do Sul (Tabela 22). As diferenças relativas ao parâmetro de declividade “b” foram menos consistentes e, na maioria dos casos, os resultados não diferiram entre si. Em Itapeva, a única diferença encontrada foi o menor valor de “b” na dose de 60 kg ha⁻¹ comparada à dose de 120 kg ha⁻¹ de N. Por outro lado, o menor valor do parâmetro de declividade em Chapadão do Sul na presença de sombreamento indica diminuição do número total de posições fenológicas de frutificação (Tabela 22).

3.4 Discussão

Os experimentos em Itapeva e Chapadão do Sul foram conduzidos com diferentes delineamentos experimentais, doses de N e práticas de manejo, incluindo cultivares, manejo de água (irrigado e não irrigado) e datas de semeadura. Devido a essas diferenças, os experimentos foram analisados separadamente, mas discutidos em conjunto para avaliar os efeitos do sombreamento e do nitrogênio. Em geral, observaram-se em ambos os experimentos redução da produção de algodão em caroço nos sítios iniciais de frutificação devido ao sombreamento de curta duração durante o início do florescimento e aumento da produção cumulativa nas posições tardias de frutificação em função do aumento da dose de N.

Os maiores valores de PF em plantas sombreadas determinados para baixos percentuais de A_c em ambos os experimentos evidenciam a alteração da precocidade do algodoeiro durante os estágios iniciais de frutificação (Tabela 19). Esse efeito de atraso foi causado essencialmente pela diminuição do número de maçãs retidas nos sítios de frutificação iniciais (Tabela 21), uma vez que o sombreamento resultou em aumento da massa de capulhos até PF₆₀ em Itapeva e não afetou MC em qualquer valor de PF em Chapadão do Sul (Tabela 20). Como o sombreamento durante o início do florescimento leva à redução da retenção de frutos jovens no início da frutificação, as plantas sombreadas exibiram maiores valores de PF, o que corrobora resultados anteriores que demonstraram aumento da

taxa de abscisão de maçãs (LV et al., 2013) e redução do número de capulhos (ECHER; ROSOLEM, 2015) nos ramos simpodiais inferiores. No entanto, o estresse luminoso pareceu estar restrito apenas a posições fenológicas iniciais, visto que não foram encontradas diferenças entre condições de sombreamento a partir de PF₂₀ (Itapeva) e PF₄₀ (Chapadão do Sul) em diante. Consequentemente, esse efeito não foi suficiente para causar um atraso fenológico definitivo na precocidade da cultura, o que é confirmado pelos valores similares de PF _{μ} entre plantas sombreadas e não sombreadas (Tabela 19). A média ponderada PF _{μ} é um índice que sintetiza a distribuição de capulhos na planta, visto que considera a proporção produzida em cada sítio de frutificação, e pode ser utilizada como uma referência.

Em ambos os experimentos, o aumento do índice de claridade ao longo das fases de florescimento e enchimento de maçãs (Tabela 17) indica que a radiação solar não foi um fator chave limitante para a compensação de perdas dos frutos das primeiras flores, quando expostas à sombra, em sítios de frutificação superiores, embora a radiação solar global tenha diminuído durante o enchimento e a maturação de maçãs em Itapeva (de janeiro a abril) e em Chapadão do Sul (de março a julho). No entanto, diminuições acentuadas do volume de precipitações durante os estágios finais do desenvolvimento do algodoeiro são frequentemente observadas em climas tropicais. Essa redução em Chapadão do Sul (de maio a julho) pode ter sido determinante no referido desempenho compensatório, uma vez que essa capacidade foi mais limitada em Chapadão do Sul do que em Itapeva, onde a área foi irrigada e a precipitação acumulada foi alta no mês de abril durante os últimos estágios de desenvolvimento das plantas (Tabela 17).

Os aumentos significativos dos valores de PF em maiores doses de N (Tabela 19) até 90% (Chapadão do Sul) e 100% (Itapeva) da produção total acumulada indicam uma produção de capulhos relativamente atrasada, o que também foi corroborado pelo aumento do índice PF _{μ} em ambos os experimentos (Tabela 19). Maiores doses de fertilizantes nitrogenados têm sido relacionadas à redução de precocidade em algodoeiro (CLAWSON et al., 2008; HARRIS; SMITH, 1980; McCONNELL et al., 1993; MUNIR et al., 2015). Por outro lado, em sistemas de produção caracterizados por baixo aporte e maior imobilização de N, é favorecida a maior precocidade da produção de capulhos (BOQUET et al., 2004). O número reduzido de capulhos desenvolvidos em sítios iniciais de frutificação nas doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ (Itapeva) e 160 kg ha⁻¹ (Chapadão do Sul) em comparação ao

controle (Tabela 21) provavelmente decorreu do aumento da taxa de abscisão de maçãs jovens. Adicionalmente, ainda que não tenha havido diferenças quanto à primeira PF produtiva (Tabela 20), os resultados dessa variável parecem estar parcialmente relacionados ao menor número acumulado de capulhos nos sítios de frutificação iniciais. Usualmente, maiores doses de N intensificam o crescimento vegetativo (GARDNER; TUCKER, 1967; GERIK et al., 1994; ZHOU; YIN, 2014), o que pode resultar em uma menor proporção da produção final nas primeiras posições fenológicas. Essa resposta foi claramente observada em Itapeva, onde acima da 16^a PF as duas maiores doses de N resultaram em aumento de pelo menos 3,19 capulhos em comparação às duas menores doses (Tabela 21). Em Chapadão do Sul, esse fenômeno também foi observado, mas a diferença ocorreu apenas entre a dose controle e a dose máxima de N e foi pequena, o que indica que outros fatores além do nitrogênio podem ter limitado a produção de frutos tardios a partir da 17^a PF (Tabela 21). Esses resultados indicam que as plantas de algodoeiro foram mais responsivas às adubações de N em cobertura em Itapeva. Em geral, os valores de PF foram maiores em Itapeva do que em Chapadão do Sul (Tabela 19). Provavelmente, a maior acidez do solo e as reduções de precipitações e temperaturas a partir de abril, durante os estágios de florescimento de enchimento de maçãs, foram fatores limitantes para o desenvolvimento do algodoeiro em Chapadão do Sul (Tabelas 16 e 17).

Em geral, a precocidade fenológica reduzida nas maiores doses de N (maiores valores de PF) é explicada principalmente pelo menor e pelo maior número de capulhos em posições de frutificação mais iniciais e mais tardias, respectivamente, ao invés de pelos resultados que envolveram massa média de capulhos. No entanto, em Itapeva, os aumentos dos valores de MC em percentuais de A_c correspondentes a PFs intermediárias e tardias contribuíram parcialmente para o aumento dos índices de PF nas doses superiores de N. Os aumentos de massa de capulho nas doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ de N a partir de MC₃₀ até MC₈₀ (Tabela 20) sugerem a ocorrência de um maior número de capulhos mais pesados, desenvolvidos sob condições ambientais favoráveis e menos suscetíveis a perdas de massa do que capulhos mais velhos antes da colheita. A massa de capulho não pareceu ser diretamente afetada por nutrição deficiente de N, uma vez que não houve efeitos na massa final média (MC₁₀₀) de capulhos (Tabela 20).

Os menores valores de PF e PF_{μ} encontrados no cultivar de ciclo precoce EB 1405 GLT (Tabela 19) estão provavelmente relacionados à sua primeira posição produtiva antecipada (Tabela 20) e ocorreram devido à distribuição do número de capulhos dentro da planta, que foi maior em sítios de frutificação iniciais e menor em sítios de frutificação tardios em comparação a FM 983 GLT (Tabela 21). Embora a média final de massa de capulhos tenha sido menor no cultivar FM 983 GLT, os valores de MC não diferiram dos obtidos com EB 1405 GLT até PF_{80} , sugerindo a presença de um efeito ambiental importante durante estágios avançados do período de enchimento de frutos. Como FM 983 GLT reteve maior proporção da produção de algodão em caroço em posições fenológicas tardias do que EB 1405 GLT e as temperaturas médias e precipitações acumuladas foram severamente reduzidas de maio em diante, o processo de maturação dos últimos frutos pode ter sido prejudicado, resultando em perda de massa. O aumento da massa de capulhos nas posições de frutificação mais tardias em ambos os experimentos (Tabela 20) não era esperado e pareceu não estar relacionado ao sombreamento e às doses de N aplicadas, mas provavelmente ocorreu devido à perda de massa observada em capulhos mais velhos em consequência da exposição prolongada ao ambiente após sua abertura, fenômeno comum em regiões produtoras de algodão brasileiras (LIMA et al., 2005).

A análise dos dados de produção acumulada em função das posições fenológicas por meio da regressão logística de dois parâmetros foi um procedimento alternativo efetivo para avaliar a precocidade fenológica de plantas de algodão a partir da distribuição da produção. Anteriormente, a distribuição de capulhos ao longo dos nós da haste principal foi satisfatoriamente avaliada por regressão logística (WU et al., 2005). A aplicação da regressão logística de dois parâmetros estima a posição fenológica mediana (x_0) como um índice adicional para avaliar a precocidade da cultura. Schaefer et al. (2017) também sugeriram que o sítio de frutificação em que 50% da produção são acumulados fornece uma estimativa precisa da maturidade relativa da planta. A regressão logística bem-sucedida de dois parâmetros ajustada em função da PF indica que a distribuição da produção ao longo da escala de posições fenológicas segue um padrão de aproximadamente normal (gaussiano), onde x_0 é a posição teórica de maior produção da planta.

Em geral, houve mais diferenças estatísticas para o parâmetro x_0 de acordo com o critério de 95% de intervalo de confiança (Tabela 22) do que para as comparações

dos valores de PF_{50} determinados por interpolação linear (Tabela 19). O parâmetro x_0 da regressão logística pareceu ser afetado em resposta ao menor número de capulhos em posições iniciais de frutificação em condição de sombreamento, e aos maiores valores de PF encontrados nas altas doses de N em cobertura e no cultivar de ciclo tardio. Um aumento do valor do parâmetro x_0 resulta em curvas logísticas deslocadas para a direita, de modo que os efeitos sobre a precocidade fenológica também podem ser observados graficamente. Um exemplo de representação gráfica de plantas distintas mediante o modelo logístico de dois parâmetros proposto para avaliação de precocidade fenológica está apresentado no APÊNDICE J.

Como os limites de confiança do parâmetro de declividade “b” não apresentaram as mesmas diferenças nítidas observadas para o ponto de inflexão, esse componente de declividade deve ser examinado como um índice complementar, visto que o valor de PF estimado por regressão foi mais afetado por x_0 . No entanto, é possível destacar alguns efeitos específicos do sombreamento e do N. A menor estimativa do parâmetro “b” em plantas sombreadas em Chapadão do Sul indica um aumento da frequência de abscisão de frutos iniciais, pois sugere que a produção é distribuída dentro de um intervalo mais curto de posições fenológicas. Em Itapeva, o maior valor do parâmetro “b” na dose de N de 120 kg ha^{-1} comparada com 60 kg ha^{-1} realça a menor proporção da produção final em posições fenológicas centrais da planta. Quando esse parâmetro é interpretado em conjunto com x_0 , é possível verificar o atraso fenológico da produção de capulhos na dose de 120 kg ha^{-1} .

A determinação da precocidade fenológica por intermédio de posições fenológicas não considera os intervalos de graus-dia entre eventos sucessivos nem a quantidade total de graus-dia acumulada ao longo do ciclo. Ao mesmo tempo, o procedimento não utiliza medições diretas em escala de tempo. De fato, os valores de PF foram interpretados como dados essencialmente fenológicos baseados no padrão cronologicamente ordenado de frutificação do algodoeiro. Portanto, esses índices podem ser restritivos para um estudo de precocidade envolvendo medições absolutas de tempo ou de graus-dia. Essas medições, porém, podem ser inviáveis dependendo dos recursos humanos e materiais disponíveis, especialmente se forem requeridas numerosas avaliações periódicas. Nesse contexto, os índices de posição fenológica, por outro lado, fornecem com facilidade medidas relativas efetivas, com propriedades satisfatórias para as avaliações mediante o mapeamento de plantas.

3.5 Conclusões

O sombreamento de curta duração durante a fase inicial do florescimento promove efeitos na distribuição do algodão produzido na planta, principalmente em consequência da redução do número de capulhos em sítios frutificação iniciais, mas não afeta a precocidade da maturidade cultural medida pela distribuição fenológica da produção colhida. A precocidade do algodoeiro é diminuída por altas doses de N em cobertura devido à maior produção acumulada (A_c) em posições de frutificação mais tardias. Essas respostas podem ter implicações para decisões de manejo em áreas produtoras de algodão. O fornecimento insuficiente de N leva à diminuição da produtividade de algodão em sítios de frutificação mais tardios, ou seja, a uma redução do poder compensatório da planta contra perdas causadas pelo sombreamento. Por outro lado, doses de N recomendadas para obtenção de altas produtividades minimizam os riscos de perdas após um período de restrição luminosa durante o florescimento.

Referências

BANGE, M. P.; LONG, R. L.; CONSTABLE, G. A.; GORDON, S. G. Minimizing immature fiber and neps in upland cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, p. 781-789, 2010.

BEDNARZ, C. W.; NICHOLS, R. L. Phenological and morphological components of cotton crop maturity. **Crop Science**, Madison, v. 45, p. 1497-1503, 2005.

BEDNARZ, C. W.; BRIDGES, D. C.; BROWN, S. M. Analysis of cotton yield stability across population densities. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 128-135, 2000.

BEDNARZ, C. W.; SHURLEY, W. D.; ANTHONY, W. S. Losses in yield, quality, and profitability of cotton from improper harvest timing. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 1004-1011, 2002.

BOQUET, D. J.; HUTCHINSON, R. L.; BREITENBECK, G. A. Long-term tillage, cover crop, and nitrogen rate effects on cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 1443-1452, 2004.

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**, Madison, v. 86, p. 20-26, 1994.

CLAWSON, E. L.; COTHREN, J. T.; BLOUIN, D. C.; SATTERWHITE, J. L. Timing of maturity in ultra-narrow and conventional row cotton as affected by nitrogen fertilizer rate. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 421-431, 2008.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2013. 910 p.

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**, Amsterdam, v. 65, p. 18-26, 2015.

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. **Applied Energy**, Oxford, v. 86, p. 299-309, 2009.

FAIRCLOTH, J. C.; EDMISTEN, K. L.; WELLS, R.; STEWART, A. M. The influence of defoliation timing on yields and quality of two cotton cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 44, p. 165-172, 2004.

FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. 3. ed. Brasília, DF: ABRAPA, 2015. 956 p.

FRY, K. E. Earliness factors in three pima cotton genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 25, p. 1020-1023, 1985.

GARDNER, B. R.; TUCKER, T. C. Nitrogen effects on cotton: I. Vegetative and fruiting characteristics. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 31, p. 780-785, 1967.

GERIK, T. J.; FAVER, K. L.; THAXTON, P. M.; EL-ZIK, K. M. 1996. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water use, and yield. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 914-921, 1996.

GERIK, T. J.; JACKSON, B. S.; STOCKLE, C. O.; ROSENTHAL, W. D. Plant nitrogen status and boll load of cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 514-518, 1994.

GUINN, G. Abscission of cotton floral buds and bolls as influenced by factors affecting photosynthesis and respiration. **Crop Science**, Madison, v. 14, p. 291-293, 1974.

GWATHMEY, C. O.; BANGE, M.P.; BRODRICK, R. Cotton crop maturity: a compendium of measures and predictors. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 191, p. 41-53, 2016.

GWATHMEY, C. O.; BRADLEY, J. F.; CHAMBERS, A. Y.; HOWARD, D. D.; TYLER, D. D. Physiological responses to tillage systems, cover crops, and residue management. In: STEWART, J. McD.; OOSTERHUIS, D. M.; HEITHOLT, J. J.; MAUNEY, J. R. (Ed.). **Physiology of cotton**. New York: Springer, 2010. chap. 22, p. 246-254.

HARRIS, C. H.; SMITH, C. W. Cotton production affected by row profile and N rates. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 919-922, 1980.

HEARN, A. B. 1969. Growth and performance of cotton in a desert environment. I. Morphological development of the crop. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 73, p. 65-74, 1969.

JENKINS, J. N.; MCCARTHY Jr., J. C.; PARROTT, W. L. Effectiveness of fruiting sites in cotton: yield. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 2, p. 365-369, 1990a.

JENKINS, J. N.; MCCARTHY Jr., J. C.; PARROTT, W. L. Fruiting efficiency in cotton: boll size and boll set percentage. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 4, p. 857-860, 1990b.

JOST, P. H.; COTHREN, J. T. Phenotypic alterations and crop maturity differences in ultra-narrow row and conventionally spaced cotton. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 1150-1159, 2001.

KERBY, T. A.; BUXTON, D. R. Competition between adjacent fruiting forms in cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, p. 867-871, 1981.

KERBY, T. A.; BOURLAND, F. M.; HAKE, K. D. Physiological rationales in plant monitoring and mapping. In: STEWART, J. McD.; OOSTERHUIS, D. M.; HEITHOLT, J. J.; MAUNEY, J. R. (Ed.). **Physiology of cotton**. New York: Springer, 2010. chap. 27, p. 304-317.

KERBY, T. A.; CASSMAN, K. G.; KEELEY, M. Genotypes and plant densities for narrow-row cotton systems. I. Height, nodes, earliness, and location of yield. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 3, p. 644-649, 1990.

LIMA, V. P.; CHIAVEGATO, E. J.; SILVA, A. V.; TISSELLI, A. C. P. C. Avaliação de perda de peso de algodão (*Gossypium hirsutum*) em caroço em diferentes épocas de colheita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 5., 2005, Salvador. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. Disponível em: <
http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/trabalhos_cba5/400.pdf>. Acesso em: 10 maio 2018.

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**, Madison, v. 53, p. 2670-2678, 2013.

MARUR, C. J.; RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 5, p. 313-317, 2001.

McCLELLAND, C. K. On the regularity of blooming in the cotton plant. **Science**, Washington D.C., v. 44, p. 578-581, 1916.

McCONNELL, J. S.; BAKER, W. H.; MILLER, D. M.; FRIZZELL, B. S.; VARVIL, J. J. Nitrogen fertilization of cotton cultivars of differing maturity. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 1151-1156, 1993.

MUNIR, M. K.; TAHIR, M.; SALEEM, M. F.; YASEEN, M. Growth, yield and earliness response of cotton to row spacing and nitrogen management. **Journal of Plant and Animal Sciences**, Lahore, v. 25, p. 729-738, 2015.

OOSTERHUIS, D. M. Growth and development of a cotton plant. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. (Ed.). **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p. 35-55.

OOSTERHUIS, D. M.; BOURLAND, F. M.; TUGWELL, N. P.; COCHRAN, M. J.; DANDORTH, D. M. Terminology and concepts related to the COTMANTM crop monitoring system. In: OOSTERHUIS, D. M.; BOURLAND, F. M. (Ed.). **COTMANTM: Crop management system**. 1. ed. Fayetteville: University of Arkansas, Agricultural Experiment Station Fayetteville, 2008. chap. 14, p. 91-98.

RAY, L. L.; RICHMOND, T. R. Morphological measures of earliness of crop maturity in cotton. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 527-531, 1966.

SCHAEFER, C.; NICHOLS, B.; COLLINS, G.; WHITAKER, J.; BEDNARZ, C.; MAIN, C.; RITCHIE, G. Cotton maturity determination through vertical mapping. **Crop Science**, Madison, v. 57, n. 1, p. 62-70, 2017.

SHARMA, B.; MILLS, C. I.; SNOWDEN, C.; RITCHIE, G. L. Contribution of boll mass and boll number to irrigated cotton yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 107, n. 5, p. 1845-1853, 2015.

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

WU, J.; JENKINS, J. N.; MCCARTHY, J. C.; WATSON, C. E. Comparisons of two statistical models for evaluating boll retention in cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 5, p. 1291-1294, 2005.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M. Cotton responses to shade at different growth stages: Nonstructural carbohydrate composition. **Crop Science**, Madison, v. 38, p. 1196-1203, 1998.

ZHOU, G.; YIN, X. Relationship of cotton nitrogen and yield with Normalized Difference Vegetation Index and plant height. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 100, p. 147-160, 2014.

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C.; SOFIATTI, V.; FARIAS, F. J. C.; CARVALHO, L. P. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 43-52, 2015.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram conduzidos experimentos em diferentes locais, cada qual com elementos próprios, incluindo, entre outros, data de semeadura, cultivares, manejo da água, controle fitossanitário e delineamentos experimentais, diferindo entre si quanto aos tratamentos testados em um dos experimentos (Chapadão do Sul). Consequentemente, houve variações de resultados entre os experimentos. Essas variações, no entanto, não impediram a constatação de fenômenos que permitiram o estabelecimento de conclusões sobre os fatores principais testados.

A restrição de luz reduziu a produção de capulhos devido à perda de estruturas reprodutivas durante sua presença. Ao mesmo tempo, o aumento da dose de N em cobertura geralmente resultou nas maiores produtividades e não foi um fator que impossibilitou a recuperação de produção perdida em plantas sombreadas em virtude de um possível aumento excessivo do número de abortos. Com relação à produtividade, prevaleceu o efeito do N em reduzir perdas causadas pelo estresse luminoso temporário no início de florescimento. Contudo, embora as demais características analisadas em *HVI* não tenham sido afetadas consistentemente pelo sombreamento e pela adubação nitrogenada, possíveis prejuízos decorrentes do aumento da dose de N foram evidenciados sobre a qualidade de fibra devido à redução do índice micronaire. Por induzir ao aborto de estruturas reprodutivas, o sombreamento de curta duração testado afeta o padrão de retenção de frutos na planta, mas não resulta, segundo a avaliação da distribuição de produção pela escala fenológica, em redução definitiva da precocidade cultural. Porém, a redução de precocidade por meio desse critério é definitiva quando se utilizam maiores doses de N. Quando os cultivares de ciclo precoce e tardio foram comparados entre si, as respostas quanto a componentes de produção, qualidade de fibra e precocidade variaram, indicando possíveis diferenças quanto à suscetibilidade e à capacidade de recuperação ao estresse luminoso na presença de diferentes doses de N em cobertura.

Os estudos propostos neste trabalho possibilitaram examinar como a presença de sombra associada à adubação nitrogenada influencia a produção e a qualidade de fibra de algodão em diferentes ambientes de produção do Brasil, podendo-se verificar os efeitos específicos de cada fator testado. Acredita-se que os resultados e

fenômenos descritos venham a ser aproveitados na elaboração de futuras pesquisas e no manejo da cultura no campo.

Finalmente, durante a condução do trabalho, duas novas perspectivas de estudo foram levantadas visando-se ao aperfeiçoamento e à complementação das informações sobre restrição de luz e manejo do nitrogênio e que são a seguir apresentadas como sugestões de pesquisa. A primeira sugestão reside na influência temporária de variados níveis de sombreamento em condições de campo, para ser analisado como fator quantitativo, possibilitando a realização de análises de regressão em função do nível de radiação incidente sobre o dossel durante sua imposição. Nesse caso, seria possível obter respostas mais precisas da relação entre a restrição luminosa e as características de crescimento, desenvolvimento, componentes de produção e qualidade da fibra. A segunda consiste, devido à grande importância do sistema em condições brasileiras, em um estudo de sombreamento e doses de N, e possíveis testes com relação ao parcelamento das aplicações, em algodoeiro de segunda safra em áreas onde se cultiva soja como cultura antecessora. Como as bactérias fixadoras de N que vivem simbioticamente com as plantas de soja introduzem muito nitrogênio no sistema solo-planta, após a colheita da soja grande quantidade de N pode estar disponível no solo para o algodoeiro em sucessão, reduzindo assim a sua resposta ao aumento da quantidade de N adicionada via adubação de semeadura ou cobertura, inclusive após o período de limitação de luz. Um estudo envolvendo esse tema, além de ampliar o número de ambientes já testados, teria possíveis implicações econômicas, pois poderia resultar em indicação de redução da dose de N a ser utilizada no algodoeiro em comparação a áreas que não utilizam soja como cultura de primeira safra.

REFERÊNCIAS

- BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. **Defasagem entre produtividade real e potencial do algodoeiro herbáceo: limitações morfológicas e ambientais.** Campina Grande: EMBRAPA – CNPA, 1993. (Documentos, 39).
- BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G.; AZEVEDO, D. M. P.; LEÃO, A. B.; CARDOSO, G. D. Fitologia do algodoeiro herbáceo: sistemática, organografia e anatomia. In: BLETRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008a. v. 1, cap. 6, p. 181-217.
- BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G.; AZEVEDO, D. M. P.; LEÃO, A. B.; CARDOSO, G. D. Fisiologia da fibra do algodoeiro herbáceo. In: BLETRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008b. v. 2, cap. 32, p. 1123-1137.
- CHIAVEGATO, E. J.; BERNARDES, M. S.; CARVALHO, H. R. Estratégias para melhorar o aproveitamento da luminosidade na cultura do algodão. In: ECHER, F. R. (Ed.). **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2014. p. 43-61.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Algodão. In: _____. **Série histórica das safras**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 15 jan. 2019.
- HEARN, A. B. Response of cotton to water and nitrogen in a tropical environment. I. Frequency of watering and method of application of nitrogen. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 84, p. 407-417, 1975.
- KITTOCK, D. L.; SELLEY, R. A.; CAIN, C. J. TAYLOR, B. B. Plant population and height effects on pima cotton lint yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, p. 534-538, 1986.
- KRIZEK, D. T. Photosynthesis, dry matter production and growth in CO₂-enriched atmospheres. In: MAUNEY, J. R.; STEWART, J. McD. **Cotton Physiology**. Memphis: The Cotton Foundation, 1986. chap. 17, p. 193-225. (The Cotton Foundation Reference Book Series, 1).
- MARTÍN, J. Avanços da pesquisa sobre o algodão ultra-adensado In: FUNDO DE APOIO À CULTURA DO ALGODÃO (Ed.). **Algodão: pesquisas e resultados para o campo**. Cuiabá: FACUAL, 2006. p. 94-117. (Publicações FACUAL, v. 2).
- McCONNELL, J. S.; BAKER, W. H.; MILLER, D. M.; FRIZZELL, B. S.; VARVIL, J. J. Nitrogen fertilization of cotton cultivars of differing maturity. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 1151-1156, 1993.

OOSTERHUIS, D. M. Growth and development of a cotton plant. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. (Ed.). **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p. 35-55.

PERCHOROWICZ, J. T.; RAYNES, D. A.; JENSEN, R. G. Light limitation of photosynthesis and activation of ribulose biphosphate carboxylase in wheat seedlings. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington D.C., v. 78, p. 2985-2989, 1981.

PERRY, S. W.; KRIEG, D. R.; HUTMACHER, R. B. Photosynthetic rate control in cotton: photorespiration. **Plant physiology**, Rockville, v. 73, p. 662-665, 1983.

REDDY, A. R.; REDDY, K. R.; PADJUNG, R.; HODGES, H. F. Nitrogen nutrition and photosynthesis in leaves of pima cotton. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 19, p. 755-780, 1996.

ROCHESTER, I. J. Nutrient uptake and export from an Australian cotton field. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 77, p. 213-223. 2007.

ROSOLEM, C. A. Ecofisiologia e manejo na cultura do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. Brasília: ABRAPA, 2007. p. 649-688.

ROSOLEM, C. A. Fenologia e ecofisiologia do algodoeiro. In: FUNDO DE APOIO À CULTURA DO ALGODÃO (Ed.). **Algodão: pesquisas e resultados para o campo**. Cuiabá: FACUAL, 2006. p. 16-35.

ROSOLEM, C. A.; BOGIANI, J. C. Nutrição e estresses nutricionais em algodoeiro. In: ECHER, F. R. (Ed.). **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2014. p. 103-121.

STEWART, J. McD. Potential for crop improvement with exotic germplasm and genetic engineering. In: CONSTABLE, G. A.; FORRESTER, N. W. (Ed.). **Challenging the Future: Proceedings of the World Cotton Research Conference-1**. Brisbane: CSIRO, 1994. p. 313-327.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. O. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E. R. Santarém. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

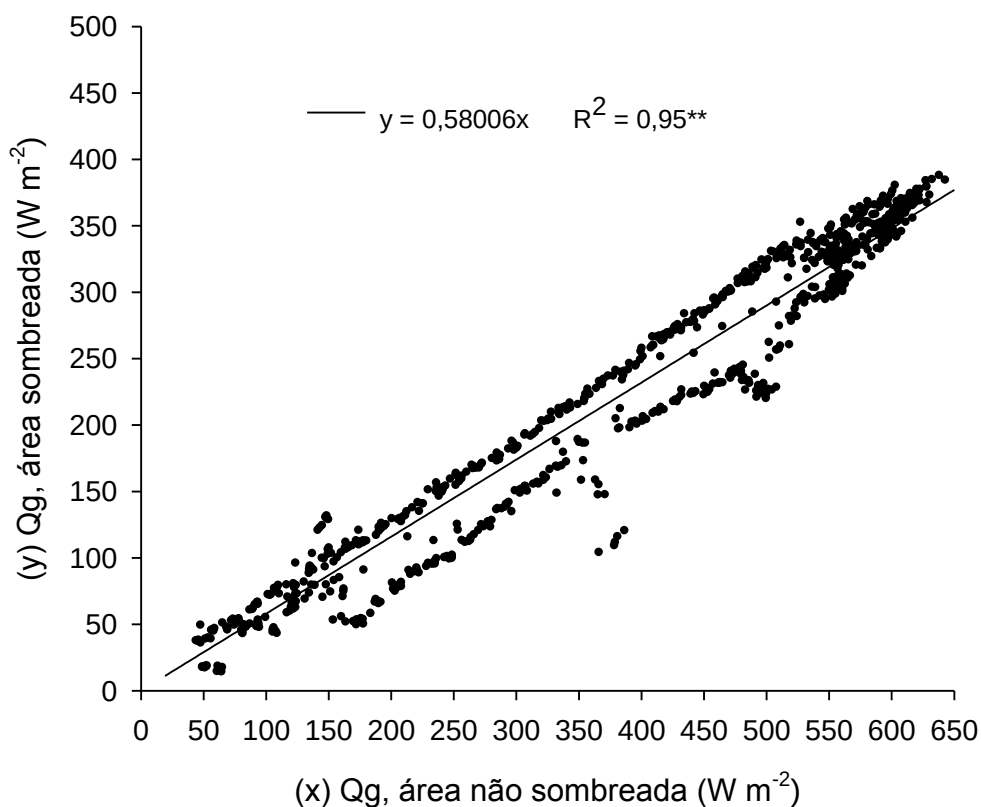
UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. FOREIGN AGRICULTURE SERVICE. **Production, supply and distribution**: PSD reports. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

WELLS, R. Light and the cotton plant. In: OOSTERHUIS, D. M. (Ed.). **Stress physiology in cotton**. Cordova: The Cotton Foundation, 2011. chap. 4, p. 73-84. (The Cotton Foundation Reference Book Series, 7).

WENDEL, J. F.; BRUBAKER, C.; ALVAREZ, I.; CRONN, R.; STEWART, J. McD. Evolution and natural history of the cotton genus. In: PARTERSON, A. H. (Ed.). **Genetics and genomics of cotton**. New York: Springer, 2009. p. 3-22.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L. C. Calagem e adubação. In: FUNDO DE APOIO À CULTURA DO ALGODÃO (Ed.). **Algodão: pesquisas e resultados para o campo**. Cuiabá: FACUAL, 2006. p. 56-80. (Publicações FACUAL, v. 2).

APÊNDICE A – Relação entre a radiação global (Qg) sob a tela de sombreamento dos experimentos e a radiação global na condição sem sombreamento artificial, determinada com pirômetros de alta precisão. Avaliações em condições de campo. Botucatu – SP (22 a 29 de junho de 2017)



** significativo ao nível de 1%

$$Qg_{\text{com sombra}} = 0,58006 \times Qg_{\text{sem sombra}}$$

Redução de radiação global resultante da tela de sombreamento:

$$1 - 0,58006 = 0,41994 \approx 42\%$$

APÊNDICE B – Fotos da área experimental de Primavera do Leste

1) Área durante o período de sombreamento



2) Área na época de colheita



APÊNDICE C – Fotos da área experimental de Itapeva (sequeiro)

1) Área durante o período de sombreamento



2) Área na época de colheita (parcela à esquerda colhida)

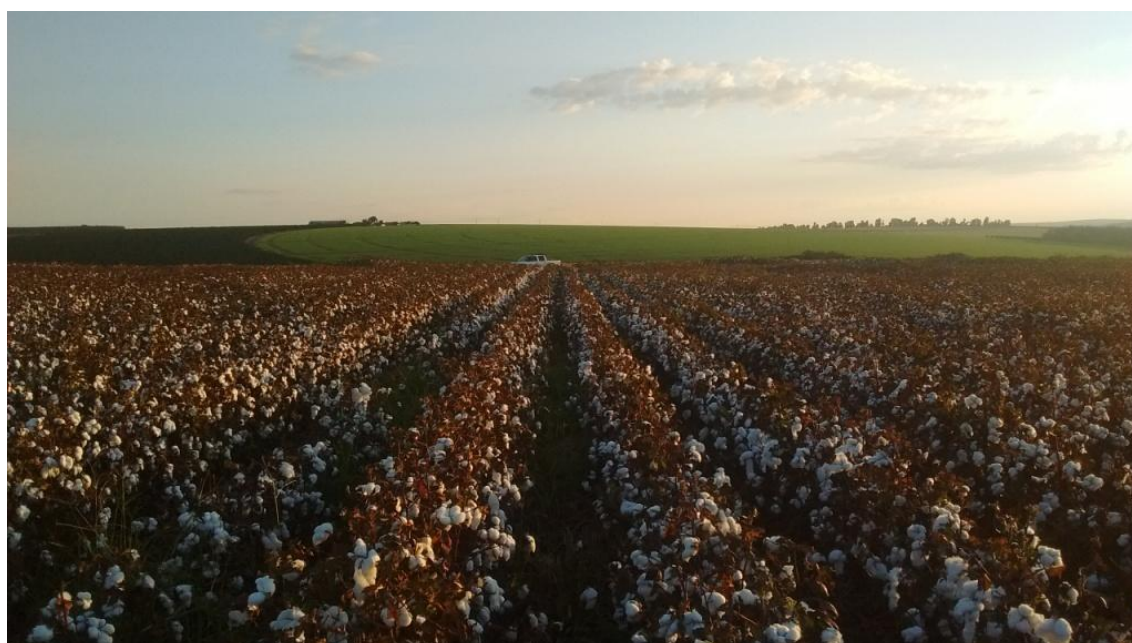


APÊNDICE D – Fotos da área experimental de Itapeva (irrigada)

1) Área durante o período de sombreamento



2) Área na época de colheita



APÊNDICE E – Fotos da área experimental de Chapadão do Sul

1) Área durante o período de sombreamento



2) Área na época de colheita



APÊNDICE F – Concentrações de nutrientes em folhas de algodoeiro – área experimental de Primavera do Leste (MT) – médias de seis repetições

Sombreamento	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Macronutrientes				
		P	K	Ca	Mg	S
		-----g kg ⁻¹ -----				
Com sombra	0	3,34	20,19	37,49	4,56	6,40
Com sombra	60	3,15	21,19	35,67	4,20	5,81
Com sombra	120	2,62	17,59	36,96	5,43	6,59
Com sombra	180	2,47	19,09	38,09	5,53	5,96
Sem sombra	0	2,36	14,68	39,38	6,17	5,62
Sem sombra	60	2,13	14,94	36,36	5,64	5,93
Sem sombra	120	2,17	15,24	37,77	5,95	5,41
Sem sombra	180	2,17	18,26	38,53	5,58	5,33

Sombreamento	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Micronutrientes				
		B	Cu	Mn	Zn	Fe
		-----mg kg ⁻¹ -----				
Com sombra	0	45,34	5,78	27,42	31,05	231,11
Com sombra	60	44,60	5,05	30,16	27,28	224,11
Com sombra	120	35,11	6,02	27,42	26,13	238,99
Com sombra	180	32,59	6,02	31,66	25,97	201,35
Sem sombra	0	40,41	4,81	35,15	25,48	178,00
Sem sombra	60	40,56	4,33	28,67	24,80	168,08
Sem sombra	120	38,28	4,33	31,16	24,17	173,33
Sem sombra	180	40,14	4,33	27,92	26,29	204,27

APÊNDICE G – Concentrações de nutrientes em folhas de algodoeiro – área experimental de Itapeva (SP) em sequeiro – médias de quatro repetições

Sombreamento	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Macronutrientes				
		P	K	Ca	Mg	S
		-----g kg ⁻¹ -----				
Com sombra	0	3,52	19,45	38,73	4,57	8,21
Com sombra	60	3,67	21,15	37,84	4,18	6,79
Com sombra	120	3,73	22,66	36,52	4,09	6,08
Com sombra	180	3,70	23,10	37,41	4,19	6,13
Sem sombra	0	3,18	16,30	35,29	4,21	6,99
Sem sombra	60	3,42	19,38	37,56	4,60	5,98
Sem sombra	120	3,40	20,77	36,28	4,70	5,33
Sem sombra	180	3,48	21,08	34,63	4,68	4,99

Sombreamento	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Micronutrientes				
		B	Cu	Mn	Zn	Fe
		-----mg kg ⁻¹ -----				
Com sombra	0	48,31	4,69	25,43	28,35	112,05
Com sombra	60	39,13	5,05	23,93	31,80	114,68
Com sombra	120	33,93	6,14	24,68	37,71	124,31
Com sombra	180	37,52	5,05	22,81	38,70	119,93
Sem sombra	0	58,02	3,97	28,42	29,33	125,19
Sem sombra	60	44,03	5,42	22,06	29,09	123,43
Sem sombra	120	44,51	4,69	24,31	33,03	116,43
Sem sombra	180	42,19	4,69	23,19	34,02	115,56

APÊNDICE H – Concentrações de nutrientes em folhas de algodoeiro – área experimental de Itapeva (SP) irrigada – médias de quatro repetições

Sombreamento	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Macronutrientes				
		P	K	Ca	Mg	S
		-----g kg ⁻¹ -----				
Com sombra	0	6,26	19,70	40,43	4,53	10,06
Com sombra	60	5,53	19,70	37,65	4,57	9,01
Com sombra	120	5,61	21,97	37,89	3,97	9,31
Com sombra	180	5,60	22,03	37,09	4,27	8,56
Sem sombra	0	5,59	17,95	37,94	4,39	9,29
Sem sombra	60	5,42	19,58	37,84	4,56	8,64
Sem sombra	120	5,31	20,96	36,28	4,43	7,96
Sem sombra	180	5,11	19,96	34,30	4,45	7,71

Sombreamento	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Micronutrientes				
		B	Cu	Mn	Zn	Fe
		-----mg kg ⁻¹ -----				
Com sombra	0	57,48	11,91	31,78	33,03	110,30
Com sombra	60	48,95	12,27	28,79	33,78	115,55
Com sombra	120	48,22	11,19	29,55	30,57	111,18
Com sombra	180	48,77	9,03	29,55	32,79	126,94
Sem sombra	0	53,72	15,53	29,92	30,08	113,81
Sem sombra	60	53,26	8,30	25,43	28,11	116,43
Sem sombra	120	57,66	10,83	29,17	28,11	110,30
Sem sombra	180	52,31	9,75	28,05	26,63	104,18

APÊNDICE I – Concentrações de nutrientes em folhas de algodoeiro – área experimental de Chapadão do sul (MS) – médias de três repetições

Cultivar	Sombreamento	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Macronutrientes				
			P	K	Ca	Mg	S
			-----g kg ⁻¹ -----				
EB1405 GLT	Com sombra	0	3,16	27,78	27,24	3,01	4,40
EB1405 GLT	Com sombra	80	3,23	28,37	27,55	2,72	5,42
EB1405 GLT	Com sombra	160	3,19	26,69	27,24	2,52	4,45
EB1405 GLT	Sem sombra	0	3,07	25,25	25,35	3,65	3,53
EB1405 GLT	Sem sombra	80	3,25	27,44	27,11	3,43	4,51
EB1405 GLT	Sem sombra	160	3,28	26,35	27,55	3,26	4,73
FM983 GLT	Com sombra	0	3,17	25,26	26,74	3,52	4,63
FM983 GLT	Com sombra	80	3,11	25,09	26,55	3,23	4,57
FM983 GLT	Com sombra	160	3,30	23,66	26,61	3,35	4,66
FM983 GLT	Sem sombra	0	2,88	22,41	24,60	4,30	3,27
FM983 GLT	Sem sombra	80	3,04	23,59	25,79	3,73	4,20
FM983 GLT	Sem sombra	160	3,10	24,09	26,17	3,70	3,81

Cultivar	Sombreamento	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Micronutrientes				
			B	Cu	Mn	Zn	Fe
			-----mg kg ⁻¹ -----				
EB1405 GLT	Com sombra	0	46,79	3,88	34,91	29,26	150,57
EB1405 GLT	Com sombra	80	46,61	5,85	35,90	26,29	130,73
EB1405 GLT	Com sombra	160	46,79	5,20	45,38	28,27	145,9
EB1405 GLT	Sem sombra	0	58,52	3,90	35,90	28,27	126,06
EB1405 GLT	Sem sombra	80	56,77	5,85	35,40	27,28	123,73
EB1405 GLT	Sem sombra	160	54,59	3,90	40,89	29,26	124,89
FM983 GLT	Com sombra	0	39,05	3,25	32,41	23,02	144,74
FM983 GLT	Com sombra	80	35,48	5,20	36,90	26,29	136,56
FM983 GLT	Com sombra	160	38,14	4,55	38,40	31,88	150,57
FM983 GLT	Sem sombra	0	46,31	4,55	28,42	21,04	143,57
FM983 GLT	Sem sombra	80	46,97	4,55	39,89	37,47	130,73
FM983 GLT	Sem sombra	160	44,67	3,25	39,39	33,53	134,23

APÊNDICE J – Representação gráfica do modelo logístico de dois parâmetros aplicado na avaliação de precocidade do algodoeiro por meio da distribuição da produção de capulhos pela escala de posições fenológicas

Na aplicação do modelo logístico $y = \frac{100}{\exp[(x_0 - x)/b] + 1}$, tem-se:

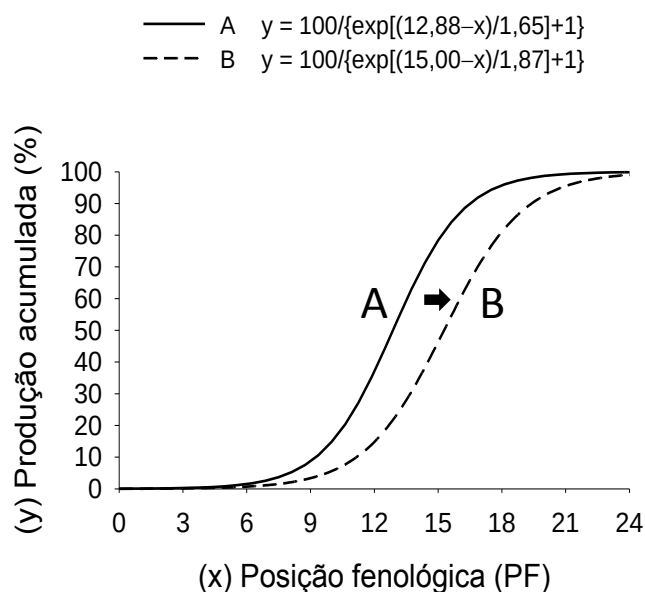
y = % de produção acumulada (variável dependente);

x = posição fenológica (variável independente);

x_0 = posição fenológica a 50% de produção acumulada (estimada pelo modelo);

b = parâmetro de declividade (estimado pelo modelo).

Observa-se na figura abaixo a representação gráfica do modelo ajustado para os dados de mapeamento de produção de duas plantas (A e B), sendo B uma planta mais tardia do que A. A curva da planta B apresenta maior valor de estimativa do parâmetro x_0 (15,00) em comparação à planta A (12,88), caracterizando-se por uma curva logística deslocada para a direita. O rápido aumento de produção percentual acumulada na escala de posições fenológicas faz com que plantas de ciclo mais precoce tenham curvas representativas mais inclinadas verticalmente. Por outro lado, as de ciclo mais tardio resultam em gráficos de menor inclinação vertical, que são vistos, então, mais à direita na escala de posições fenológicas.



ANEXO A – Manejo de reguladores de crescimento e de produtos para desfolha e abertura de frutos na área experimental de Primavera do Leste

REGULADORES DE CRESCIMENTO (RETARDADORES)

Data	DAE	Produto (Ingrediente Ativo)	Dose (Produto comercial)
09/03/2016	34	Pix HC (Cloreto de Mepiquat)	0,06 L ha ⁻¹
30/03/2016	55	Pix HC (Cloreto de Mepiquat)	0,1 L ha ⁻¹

DESFOLHANTES E PROMOTORES DE ABERTURA DE FRUTOS (MATURADORES)

Data	DAE	Produto (Ingrediente Ativo)	Dose (Produto comercial)
17/06/2016	134	Dropp Ultra (Tidiazuron + Diurom)	0,4 L ha ⁻¹
17/06/2016	134	Finish (Etefom + Ciclanilida)	2,0 L ha ⁻¹

ANEXO B – Manejo de reguladores de crescimento e de produtos para desfolha e abertura de frutos na área experimental de Itapeva – área em sequeiro

REGULADORES DE CRESCIMENTO (RETARDADORES)			
Data	DAE	Produto (Ingrediente Ativo)	Dose (Produto comercial)
07/12/2016	42	Pix HC (Cloreto de Mepiquat)	0,16 L ha ⁻¹
15/12/2016	50	Pix HC (Cloreto de Mepiquat)	0,2 L ha ⁻¹
27/12/2016	62	Pix HC (Cloreto de Mepiquat)	0,4 L ha ⁻¹
21/02/2017	118	Tuval (Cloreto de Clormequat)	2,03 L ha ⁻¹

DESFOLHANTES E PROMOTORES DE ABERTURA DE FRUTOS (MATURADORES)			
Data	DAE	Produto (Ingrediente Ativo)	Dose (Produto comercial)
10/04/2017	166	Dropp Ultra (Tidiazurom + Diurom)	0,25 L ha ⁻¹
10/04/2017	166	Finish (Etefom + Ciclanilida)	2,97 L ha ⁻¹

ANEXO C – Manejo de reguladores de crescimento e de produtos para desfolha e abertura de frutos na área experimental de Itapeva – área irrigada

REGULADORES DE CRESCIMENTO (RETARDADORES)

Data	DAE	Produto (Ingrediente Ativo)	Dose (Produto comercial)
16/12/2016	38	Pix HC (Cloreto de Mepiquat)	0,204 L ha ⁻¹
27/12/2016	49	Pix HC (Cloreto de Mepiquat)	0,32 L ha ⁻¹
02/02/2017	86	Pix HC (Cloreto de Mepiquat)	0,26 L ha ⁻¹
14/02/2017	98	Pix HC (Cloreto de Mepiquat)	0,613 L ha ⁻¹
22/02/2017	106	Tuval (Cloreto de Clormequat)	2,55 L ha ⁻¹

DESFOLHANTES E PROMOTORES DE ABERTURA DE FRUTOS (MATURADORES)

Data	DAE	Produto (Ingrediente Ativo)	Dose (Produto comercial)
24/04/2017	167	Dropp Ultra (Tidiazuron + Diurom)	0,2 L ha ⁻¹
24/04/2017	167	Finish (Etefom + Ciclanilida)	2,04 L ha ⁻¹

ANEXO D – Manejo de reguladores de crescimento e de produtos para desfolha e abertura de frutos na área experimental de Chapadão do Sul

REGULADORES DE CRESCIMENTO (RETARDADORES)

Data	DAE	Produto (Ingrediente Ativo)	Dose (Produto comercial)
08/02/2017	36	Tuval (Cloreto de Clormequat)	0,06 L ha ⁻¹
20/03/2017	76	Sponsor (Cloreto de Mepiquat)	0,08 L ha ⁻¹
06/04/2017	93	Tuval (Cloreto de Clormequat)	1,0 L ha ⁻¹

DESFOLHANTES E PROMOTORES DE ABERTURA DE FRUTOS (MATURADORES)

Data	DAE	Produto (Ingrediente Ativo)	Dose (Produto comercial)
04/07/2017	182	Dropp Ultra (Tidiazuron + Diurom)	0,4 L ha ⁻¹
04/07/2017	182	Finish (Etefom + Ciclanilida)	2,5 L ha ⁻¹