FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PAULA CAROLINE LIMA SILVA

ALGODOEIRO FERTIRRIGADO COM NITROGÊNIO VIA GOTEJAMENTO

RONDONÓPOLIS - MT

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PAULA CAROLINE LIMA SILVA

ALGODOEIRO FERTIRRIGADO COM NITROGÊNIO VIA GOTEJAMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus de Rondonópolis, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Tonny José Araújo da Silva

Rondonópolis – MT

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

L732a Lima Silva, Paula Caroline.
ALGODOEIRO FERTIRRIGADO COM NITROGÊNIO VIA GOTEJAMENTO / Paula Caroline Lima Silva. -- 2019
101 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Tonny José Araújo da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2019.
Inclui bibliografia.

1. Gossypium hirsutum L.. 2. Fertirrigação. 3. Manejo do nitrogênio. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

EA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO-GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
Avenida dos Estudantes,5055 - Cidade Universitária, - CEP: 78736-900 -Rondonópolis/MT
Tel.: (66) 3410-4121 - E-mail : spgeagri@hotmail.com

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ALGODOEIRO FERTIRRIGADO COM NITROGÊNIO VIA GOTEJAMENTO"

AUTORA: Mestranda Paula Caroline Lima Silva

Dissertação defendida e aprovada em 28 de fevereiro de 2019.

Presidente da Banca / Orientador: Doutor Tonny José Araújo da Silva
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Interno: Doutora Edna Maria Bonfim da Silva.
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Thiago Franco Duarte

Examinador Externo: Doutor Thiago Franco Duarte
Instituição: Universidade Federal do Mato Grosso

André Pereira Freire Ferraz

Examinador Externo: Doutor André Pereira Freire Ferraz
Instituição: PNPD/CAPES

Rondonópolis, 28 de fevereiro de 2019.

Aos meus pais Paulo e Maria que sempre me incentivou a estudar cada dia mais, sendo o meu alicerce para que pudesse alcançar os meus objetivos de me preparar profissionalmente,

DEDICO!

Ao meu irmão Kaique Lima pelo apoio e companheirismo em todos os anos de vida acadêmica, e ao meu companheiro Lucas dos Santos por todo amor, compreensão e incentivo nesse período importante de nossas vidas,

OFEREÇO!

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela oportunidade de vivenciar experiências enriquecedoras e pelas amizades construídas durante esses anos de estudos.

A Nossa Senhora Aparecida por sempre interceder por mim perante Deus e ser minha protetora.

Aos meus pais Paulo Roberto e Maria Lima que são os meus exemplos de vida, agradeço imensamente pelo amor e carinho que me foram dedicados sempre que precisei de apoio.

Aos parentes e amigos que compreenderam muitas vezes minha ausência devido atividades acadêmicas.

A Universidade Federal de Mato Grosso pela oportunidade de continuação dos estudos aperfeiçoando-me profissionalmente. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador prof. Dr. Tonny José Araújo da Silva e aos professores Drª Edna Maria Bonfim Silva e Dr. Thiago Duarte pela orientação, paciência, oportunidades e desafios que me ajudaram a crescer de forma pessoal e intelectual por sempre compartilhar ensinamentos para o enriquecimento do meu trabalho.

Ao professor Dr. Jefferson Vieira pela paciência e disponibilidade no auxilio com o programa R para o processamento e análise dos dados do experimento.

Ao Grupo de Pesquisa em Água e Solo (GPAS) que foi fundamental para o sucesso das atividades durante a condução do experimento com o espirito de companheirismo e união. As minhas amigas Denise, Juliane e Myllena que estão comigo desde a graduação, torcendo juntas a cada vitória. A amizade de Camilla e Wlly que começou no mestrado, mas quero levar para toda a vida.

Ao Pedro Lopes pela disponibilidade em realizar e processar as imagens aéreas da área experimental. Ao Renato, Igor, John, Lucas e Rodolfo que me ajudaram com as aplicações. Em especial ao Renato e ao John que foram meu braço direito na condução do experimento, me auxiliando em todas as etapas do experimento, desde a instalação, limpeza da área, manutenção do sistema, avaliações, colheita e pós-colheita.

Ao Instituto Mato-grossense do Algodão (IMA), representado pelo Engenheiro Agrônomo Álvaro Salles, através do Engenheiro Agrônomo Élio

Fabio Machado que sempre esteve acessível para as recomendações técnicas que foram de grande importância para o experimento e ao Agrônomo Diego dos Anjos pela disponibilidade em beneficiar as amostras de algodão do experimento.

Por fim, a todos as pessoas que contribuíram de forma direto ou indireta para a realização deste trabalho.

A todos meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

A produção de algodão no Brasil possui grande destaque mundial com predominância de cultivo em sequeiro, em poucos estudos sobre o algodoeiro irrigado. Objetivou-se avaliar o desempenho do algodoeiro fertirrigado com nitrogênio via gotejamento. O estudo foi realizado em campo, na área experimental do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Rondonópolis, no período de junho a novembro de 2017 e maio a outubro de 2018. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 3 com base no composto central com 9 tratamentos, sendo três níveis de irrigação (50, 100 e 150 % da ETc) via gotejamento e três níveis de adubação nitrogenada (20, 110 e 200 % de 155 kg ha^{-1}) via fertirrigação. As variáveis analisadas foram características fitométricas, produtivas e qualidade da pluma do algodoeiro. As variáveis foram submetidas à análise estatística em superfície de resposta utilizando o software R, até o nível de 5 % de probabilidade. Não atendendo aos critérios de seleção do modelo de superfície de resposta, foram estudados os efeitos isolados e interação dos fatores mediante a análise de regressão polinomial. No ano de 2017, não se observou diferença significativa para o modelo de superfície de resposta para a altura de planta aos 67,82 e 97 DAE, índice de clorofila SPAD aos 67,82, 112, 127 e 142 DAE, produtividade do algodão em caroço, produtividade do algodão em pluma e rendimento de fibra. De forma isolada, a adubação nitrogenada de 200% N (310 kg ha^{-1}) proporcionou maior altura de planta (53,63 cm) aos 67 DAE, índice de clorofila SPAD (54,06) aos 97 DAE, produtividade do algodão em caroço (514,14 kg ha^{-1}), produtividade do algodão em pluma (241,13 kg ha^{-1}) e eficiência no uso da água (2,30 kg ha^{-1} mm^{-1}). A irrigação de 110% ETc proporcionou maior produtividade de algodão em caroço (469,34 kg ha^{-1}) e em pluma (234,00 kg ha^{-1}). No ano de 2018, todas as variáveis ajustaram-se ao modelo de superfície de respostas, exceto o diâmetro de caule aos 55 DAE, índice de clorofila SPAD aos 70 DAE e rendimento da fibra nos dois anos de cultivo. A adubação nitrogenada e irrigação influenciam de forma positiva na produção do algodoeiro herbáceo com ganhos significativos na sua produção.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L.; Fertirrigação; Manejo do nitrogênio.

SUMMARY

The production of cotton in Brazil has a great worldwide prominence with the predominance of dry crop, in few studies on the irrigated cotton. The objective of this study was to evaluate the performance of cotton fertigation with nitrogen via drip irrigation. The study was carried out in the experimental area of the Graduate Program in Agricultural Engineering of the Federal University of Mato Grosso, University Campus of Rondonópolis, from June to November 2017 and May to October 2018. The experimental design was in a randomized complete block design with four replications, in a 3 x 3 factorial scheme based on the central compound with 9 treatments, with three levels of irrigation (50, 100 and 150% ETc) via drip irrigation and three levels of nitrogen fertilization (20, 110 and 200% of 155 kg ha^{-1}) via fertigation. The analyzed variables were phytometric, productive characteristics and quality of the cotton plume. The variables were submitted to statistical analysis on the response surface using software R, up to the 5% probability level. Not meeting the selection criteria of the response surface model, we studied the isolated effects and interaction of the factors through the polynomial regression analysis. In the year 2017, no significant difference was observed for the surface response model for plant height at 67.82 and 97 DAE, SPAD chlorophyll index at 67.82, 112, 127 and 142 DAE, cotton yield at cotton seed yield and fiber yield. Nitrogen fertilization of 200% N (310 kg ha^{-1}) provided higher plant height (53.63 cm) at 67 DAE, SPAD chlorophyll index (54.06) at 97 DAE, cotton yield at (514.14 kg ha^{-1}), cotton yield in feather (241.13 kg ha^{-1}) and water use efficiency (2.30 kg ha^{-1} mm $^{-1}$). The irrigation of 110% ETc provided higher cotton seed yield (469.34 kg ha^{-1}) and feather (234.00 kg ha^{-1}). In the year 2018, all variables were adjusted to the surface model of responses, except stem diameter at 55 DAE, SPAD chlorophyll index at 70 DAE and fiber yield in the two years of cultivation. Nitrogen fertilization and irrigation have a positive influence on herbaceous cotton production with significant gains in its production.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L.; Fertigation; Nitrogen management

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área experimental, reservatório de água para a irrigação e estação agrometeorológica. Fonte: Google Maps, 2018. 25
Figura 2. Valores médios decêndios de temperatura e umidade relativa do ar referente aos anos de 2017 (A) e 2018 (B). Fonte: Estação agrometeorológica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Rondonópolis, localizada a 260 m da área experimental do algodoeiro fertirrigado com nitrogênio via gotejamento. 27
Figura 3. Imagem aérea da área experimental com algodoeiro aos 57 DAE. Imagem: Pedro Lopes, Rondonópolis – MT 2018 (A). Croqui da área experimental (B). 29
Figura 4.Solução de nitrogênio das doses 20%, 110% e 200% do N recomendado (A), aplicação do nitrogênio (200% N) via fertirrigação com o auxílio do dosador Dosmatic (B). 32
Figura 5. Vista geral da estação agrometeorológica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – UFMT/Roo. 32
Figura 6. Preparo da área com grade pesada antes da instalação do experimento..... 34
Figura 7. Vista das parcelas com as linhas de derivação montadas (A). Montagem da linha lateral na parcela (B). 35
Figura 8. Sistema de bombeamento – motobomba..... 35
Figura 9. Vista frontal do cabeçal de controle do sistema de irrigação por gotejamento do experimento com algodoeiro fertirrigado, Rondonópolis – MT. 36
Figura 10. Linha principal do sistema de irrigação por gotejamento. 37
Figura 11. Linha de derivação e linha principal do sistema de irrigação por gotejamento..... 37
Figura 12. Vista frontal da parcela e linha lateral do sistema de irrigação por gotejamento, aos 105 DAE, ano de 2018. 38
Figura 13. Vista geral da área experimental durante a aplicação de defensivo agrícola aos 62 DAE, ano de 2018. 39
Figura 14. Vista geral da parcela experimental evidenciando a marcação dos três conjuntos com três plantas por parcela (A). Avaliação de diâmetro de caule em planta de algodão marcada (B). 39

Figura 15. Avaliação do número de folhas (A), altura de planta (B), índice SPAD e número de capulhos por planta (D) do experimento com algodoeiro, no ano de 2017. 40
Figura 16. Avaliação do diâmetro de caule no experimento com algodoeiro herbáceo fertirrigado com nitrogênio via gotejamento..... 41
Figura 17. Colheita dos capulhos de algodão com auxílio de tesoura de poda. 41
Figura 18. Pesagem de 30 capulhos em balança semi analítica..... 42
Figura 19. Algodão em caroço e cápsulas deiscentes (A) e algodão em pluma e sementes (B), ambos separados manualmente. 42
Figura 20. Leitura da área foliar do algodoeiro..... 43
Figura 21. Altura de planta do algodoeiro herbáceo apresentada pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET) aos 112(A), 127 (B) e 142 DAE (C) em função da adubação nitrogenada e irrigação. AP – altura de planta, 2017. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo. 46
Figura 22. Altura de planta do algodoeiro herbáceo apresentada pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET) aos 55 (A), 70 (B), 100 (C) e 115 DAE em função da adubação nitrogenada e irrigação. AP – altura de planta, ET – irrigação e N – adubação nitrogenada no ano de 2018. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo. ... 47
Figura 23. Altura de planta do algodoeiro herbáceo aos 67(A), 82 (B) e 97 DAE (C) em função da adubação nitrogenada. AP – altura de planta, ET – lâminas de irrigação e N – doses de nitrogênio para o algodoeiro cultivado no ano de 2017. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo..... 48
Figura 24. Diâmetro de caule do algodoeiro herbáceo apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET) aos 70 (A), 100 (B) e 115 (C) DAE. DC – diâmetro de caule, 2018. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo..... 50
Figura 25. Índice de clorofila SPAD do algodoeiro herbáceo apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET) aos 55 (A) e 100 (B) e 115 (C) DAE, no

ano de 2018. IC – índice de clorofila. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 52
Figura 26. Índice de clorofila SPAD em função da adubação nitrogenada e irrigação aos 82 (A) e 97 (B) DAE, no ano de 2017. IC – índice de clorofila. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 53
Figura 27. Índice de clorofila em função das lâminas de irrigação dentro das doses de nitrogênio no cultivo de 2017. SPAD – índice de clorofila, ET – lâminas de irrigação e N – doses de nitrogênio no ano de 2017. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 53
Figura 28. Sintomas visuais de deficiência de nitrogênio no algodoeiro herbáceo cultivado no ano de 2018, aos 58 DAE no tratamento de irrigação de 150% da ETc e adubação nitrogenada de 20% de N (31 kg ha^{-1})..... 54
Figura 29. Número de capulhos por planta apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), no ano de 2017. NC – número de capulhos por planta. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 58
Figura 30. Peso do capulho apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), no ano de 2018. PC – peso do capulhos. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 59
Figura 31. Peso do capulho para a irrigação x2 (ET). PC – peso do capulho, ET – irrigação e N – doses de nitrogênio no ano de 2017. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 60
Figura 32. Produtividade de algodão em caroço apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), no ano de 2018. PAC – produtividade de algodão em caroço. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 61
Figura 33. Produtividade do algodão em caroço adubação nitrogenada x1 (N) (A) e irrigação x2 (ET) (B), no ano de 2017. PAC – produtividade do algodão em

caroço. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 62
Figura 34. Produtividade de algodão em pluma apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), no ano de 2018. PAP – produtividade de algodão em pluma. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 64
Figura 35. Produtividade do algodão em função da adubação nitrogenada (x1) N e irrigação (x2) ET. PAP – produtividade do algodão em caroço, ET – irrigação e N – adubação nitrogênada no ano de 2017. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 65
Figura 36. Rendimento da fibra em função da irrigação e adubação nitrogenada. 66
Figura 37. Massa seca da parte aérea do algodoeiro herbáceo apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), no ano de cultivo de 2017 (A) e 2018 (B). MSPA – massa seca da parte aérea. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 67
Figura 38. Área foliar apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), ano de 2018. AF – área foliar. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 69
Figura 39. Eficiência no uso da água apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), no ano de 2018. EUA – eficiência no uso da água. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo. 70
Figura 40. Eficiência no uso da água em função da adubação nitrogenada (x1) N. EUA – eficiência no uso da água e N – adubação nitrogenada no ano de 2017. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01)..... 71

Lista de tabelas

Tabela 1. Níveis dos fatores nitrogênio e irrigação na escala codificada e real em delineamento Composto Central do experimento com algodoeiro fertirrigado . 28
Tabela 2. Análise química e granulométrica do Latossolo Vermelho distrófico anterior a cada semeadura, nos anos de 2017 e 2018. Rondonópolis, Mato Grosso 30
Tabela 3. Quantidade de nitrogênio aplicado durante a condução do experimento com algodoeiro fertirrigado, conforme cada tratamento nos anos de cultivo de 2017 e 2018, em Rondonópolis – MT 31
Tabela 4. Coeficientes de cultivo (Kc) para a cultura do algodão..... 33
Tabela 5. Volume de água aplicado durante a condução do experimento 34
Tabela 6. Produtos comerciais aplicados no tratamento de sementes nos anos de 2017 e 2018. 38

Sumário

RESUMO 8

1 INTRODUÇÃO 17

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19

2.1 Origem, história e utilização do algodão 19

2.2 A água e nitrogênio no algodoeiro 20

2.3 Agricultura irrigada no Brasil e no mundo 23

3 MATERIAL E MÉTODOS 25

3.1 Localização da área experimental 25

3.2 Delineamento experimental 27

3.3 Correção e adubação do solo 30

3.4 Cultivar e Manejo da adubação 30

3.5 Manejo da irrigação 32

3.6 Sistema de irrigação por gotejamento 34

3.6.1 Preparo da área experimental para instalação do sistema de irrigação 34

3.6.2 Reservatório de água para a irrigação 35

3.6.3 Sistema de bombeamento 35

3.6.4. Cabeçal de controle 36

3.6.5. Linha principal 36

3.6.6 Linha de derivação 37

3.6.7 Linha lateral 37

3.7 Manejo fitossanitário do algodoeiro 38

3.8 Variáveis analisadas 39

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 45

4.1 Variáveis obtidas a campo 45

4.1.1 Altura de planta 45

4.1.2 Diâmetro de caule..... 49

4.1.3 Índice de clorofila SPAD 51

4.2 Variáveis de pós-colheita 55

4.2.1 Número de capulhos por planta..... 57

4.2.2 Peso do capulho..... 59

4.2.3 Produtividade do algodão em caroço..... 61

4.2.4 Produtividade do algodão em pluma..... 63

4.2.5 Rendimento de fibra..... 65

4.2.6 Massa seca da parte aérea 67

4.2.7 Área foliar..... 68

4.2.8 Eficiência no uso da água 70

4.2.9 Variáveis industriais HVI..... 72

5 CONCLUSÃO 74

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75

ANEXO 1..... 89

ANEXO 2..... 92

ANEXO 3..... 96

ANEXO 4..... 99

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gosssypium hirsutum* L.) é a fibra natural mais importante e produzida no mundo, sendo que 45% da humanidade tem sua fibra como grande parte do vestuário. Devido ao seu grande consumo, tem-se a necessidade do cultivo na mesma escala para suprir a demanda pelo produto (BELTRÃO et al., 2008).

A nível mundial, os maiores produtores de algodão atualmente são a Índia, China, Estados Unidos e Brasil. No Brasil, a safra de 2018/2019 foi estimada em 6,6 milhões de toneladas de algodão em caroço, sendo o estado de Mato Grosso o principal produtor, que teve produção estimada de 4,4 milhões de toneladas de algodão em caroço produzindo aproximadamente 67% da produção brasileira da fibra (CONAB, 2019).

A produção de algodão tem grande importância econômica, sendo cultivado em várias partes do mundo. Porém, o seu cultivo concentra-se em regiões com baixa disponibilidade de água e precipitação irregular, sendo necessário o uso de técnicas que melhor utilizem a água disponível para produção da cultura nessas regiões (FEIKE et al., 2017; BEZERRA et al., 2014).

A otimização dos recursos hídrico, principalmente para a produção agrícola, é de grande importância para a sustentabilidade da agricultura mundial, visto que atualmente a preocupação com os recursos hídricos é realidade em todo o mundo. O crescente consumo global de água a taxas a mais que o dobro do crescimento populacional, traz o questionamento sobre práticas que possibilitam o melhor manejo de água na agricultura (FAO, 2018A).

Além do manejo adequado da água o uso racional de nutrientes é essencial para o melhor desenvolvimento da cultura e viabilidade da produção. Vários estudos relatam a importância do manejo adequado de água e nutrientes para o melhor desenvolvimento do algodoeiro (ZURWELLER et al., 2019; MUHARAM et al., 2014; DEVKOTA et al., 2013).

Entre os nutrientes aplicados no sistema de produção do algodoeiro, o nitrogênio é o nutriente mais dispendioso com maior extração do solo e em maior quantidade, onde é utilizado em vários processos metabólicos, proporcionando maior atividade fotossintética, o que acarreta em aumento no rendimento de algodão e qualidade da fibra (ZURWELLER et al., 2019; LUO et al., 2018; DU et al., 2016; MUHARAM et al., 2014).

No entanto, há necessidade do manejo adequado do nitrogênio evitando-se a adubação de N em déficit que pode acarretar em deficiência nutricional e a adubação química em excesso, o que pode levar a problemas ambientais e acidificação do solo, além da perda do nutriente por volatilização ou lixiviação, aumentando o custo de produção da cultura devido a aplicação do fertilizante que não será absorvido pela cultura (ZURWELLER et al., 2019; DU et al., 2016; VITOUSEK et al., 2009).

A irrigação localizada pelo sistema de gotejamento é uma alternativa para a sustentabilidade do cultivo do algodoeiro irrigado em regiões com baixa disponibilidade hídrica e precipitação irregular. Esse sistema permite a irrigação na região próxima as raízes da planta evitando o uso em excesso da água ou sua perda por escoamento ou percolação. Além de possibilitar a automação e eficiência no uso de nutrientes através da fertirrigação (GOEBEL & LASCANO, 2019; LUO et al., 2018; FAO, 2018B; MANTOVANI et al., 2009).

A fertirrigação é uma técnica que permite a aplicação de nutrientes solúveis em solução aquosa e em quantidade precisas conforme cada fase da cultura. Desse modo, possibilidade a eficiência no uso de nitrogênio por evitando perdas no sistema produtivo e melhorar a absorção do nitrogênio devido o nutriente ser transportado por fluxo de massa, ou seja, com o movimento da massa de água até as raízes do algodoeiro (MA et al., 2018; CHEN et al., 2018; ROSOLEM & BOGIANI, 2014).

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as características fitométricas, produtividade e qualidade da pluma do algodoeiro herbáceo cultivado em Latossolo Vermelho, fertirrigado com nitrogênio via gotejamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Origem, história e utilização do algodão

O algodão é uma das culturas mais antigas do mundo. A sua domesticação ocorreu no sul da Arábia Saudita a mais de 4000 anos. Atualmente, as espécies mais cultivas no mundo são *Gossypium hirsutum* e *Gossypium barbadense*, sendo que no Brasil predomina o cultivo da espécie *G. hirsutum*. O centro de origem do gênero *Gossypium* contempla todos os continentes, exceto o Europeu (IMA, 2018; AMPA, 2012; FREIRE, 2000).

Após a sua domesticação pelos Árabes que primeiramente cultivaram, teceram e fiaram a sua fibra, o algodão tornou-se difundido pelo mundo. As rotas marítimas foram precursoras dessa disseminação que tiveram as Índias como primeiro destino. A partir de então, a fibra passou a ter importância na Europa, que deixou de utilizar tecidos de lã e passaram a usar predominantemente os tecidos de fibra de algodão (LUNARDON, 2007).

No Brasil, desde antes da colonização do país, os índios já produziam o algodão e teciam suas fibras fabricando fios e tecidos simples. O cultivo no país intensificou-se com a Revolução Industrial no século XVIII, possibilitando que a fibra brasileira passasse a ser fonte de matéria-prima em indústrias de tecelagem na Inglaterra. Nessa época o cultivo comercial da cultura iniciou-se na região Nordeste em 1750, com o Maranhão exportando as primeiras sacas de algodão para a Europa (ABRAPA, 2017; IMA, 2015; AMPA, 2012; LUNARDON, 2007; ALVES, 1999).

Na região Nordeste, plantava-se o algodão perene de fibras longas, porém com baixa produtividade. Durante esse período, a produção brasileira de algodão foi aumentando gradativamente até o aparecimento da praga *Anthonomus grandis* (bicudo-do-algodoeiro) na década de 1980, provocando um decréscimo drástico na produção de algodão, devido seu grande potencial de danos à cultura. Essa praga possui como hábito alimentar as estruturas reprodutivas da planta de algodão que é de principal interesse econômico para o cotonicultor, por isso o grande impacto na produção nacional da cultura na época (AMPA, 2012;).

Após o aparecimento do bicudo-do-algodoeiro no Nordeste, os produtores de algodão buscaram outras áreas de cultivo no país, seguindo para o Estado de São Paulo no século XX, onde os cotonicultores passaram a cultivar o algodão herbáceo

de fibras curtas e alta produtividade. O cultivo do algodão no Estado não perdurou por longo período devido à concorrência com o cultivo da cana-de-açúcar e soja, e o alto valor econômico das propriedades que levaram os produtores a buscarem outras regiões para o cultivo da cultura (ABRAPA, 2013; AMPA, 2012).

A região Centro-Oeste foi uma alternativa para os cotonicultores continuarem o plantio do algodão de forma rentável. Em Mato Grosso, o cultivo se deu a partir da década de 1960, primeiramente na região de Pedra Preta e Rondonópolis, em seguida estendeu-se para a região de Mirassol do Oeste e Cáceres que cultivaram inicialmente o algodão de forma rudimentar, com colheita manual e pouco uso de insumos. A partir da década de 1990 houve a inserção do cultivo mecanizado e a rotação de cultura com a soja em Itamarati Norte, perdurando esse sistema atualmente (TACHINARDI, 2015).

A cada ano, cultiva-se em média 35 milhões de hectares de algodão em todo o mundo, movimentando cerca de US$ 12 bilhões, gerando empregos para mais de 350 milhões de pessoas em todas as fases de produção, desde as lavouras até as indústrias têxtis, de ração e outras (ABRAPA, 2017; BELTRÃO et al., 2008).

O algodão apresenta vasta variedade de produtos e subprodutos que se diferenciam em fibras de algodão e caroço. Com as fibras de algodão pode-se obter pluma, línter e fibrilhas que são utilizados desde a indústria de fios nobres até a fabricação de fios para tapetes (ABRAPA, 2013).

O caroço de algodão pode ser utilizado para produção de torta e farelo que são destinados para alimentação animal e o óleo extraído do caroço destinado para a produção do biodiesel, na indústria de bioenergia (ABRAPA, 2013; MOREIRA, 2008).

Mesmo tendo vasta utilidade dos subprodutos do algodão, a produção da cultura no mundo atualmente é destinada a atender a demanda da indústria têxtil que é o principal foco dos cotonicultores (ABRAPA, 2013).

2.2 A água e nitrogênio no algodoeiro

O algodoeiro (Gossypium hirsutum L.) pertence à família das malváceas e apresenta como característica o desenvolvimento de estruturas vegetativas e reprodutivas de forma simultânea, competindo pelos fotoassimilados. Desenvolve bem em solos com alta fertilidade, profundos e bem drenados (SOUZA, et al. 2000).

A água é um importante regulador térmico, 95% da água absorvida pelo algodão é utilizada para regular a temperatura da planta, principalmente da folha, que apresenta faixa de temperatura ideal 23,5 a 30ºC. Fora dessa faixa ocorre a redução da atividade fotossintética diminuindo o acúmulo de fotoassimilados refletindo em menor produção (YEATES, 2014).

Shao et al. (2019) relataram que a temperatura do dossel é um importante indicador do estado da água na planta, podendo ser utilizado em cronogramas de irrigação do algodoeiro.

Além da manutenção da temperatura do dossel, a água é importante para a turgescência da planta, como solvente de solutos onde os nutrientes do solo são dissolvidos na água e carreados pela planta através do xilema e floema, sendo essenciais para que ocorra os processos metabólicos (TAIZ et al., 2017; YEATES, 2014).

Zahoor et al. (2017) abordam que a disponibilidade de água afeta as atividades fotossintéticas, que é um dos principais processos metabólicos da planta, devido o estresse hídrico reduzir a taxa de assimilação de CO_2 ocasionando diminuição na síntese de fotoassimilados.

Um dos mecanismos de defesa ao déficit hídrico é o abortamento de frutos mais jovens para manter o fornecimento de carboidratos aos frutos mais velhos (maçãs). SHAREEF et al. (2018) observaram abortamento de frutos jovens em estudos com déficit hídrico no algodoeiro, em que a irrigação de 40% da capacidade de campo acarretou em redução de 45% da produção devido aumento de queda dos frutos na fase do botão floral (YEATES, 2014;).

Além do abortamento de frutos, o déficit hídrico acarreta em redução da expansão celular, o que reduz de forma significativa o crescimento das folhas novas e do caule. Porém, as maçãs já formadas são pouco afetadas pela redução da expansão celular, mantendo seu desenvolvimento mesmo após as folhas e o caule cessarem seu crescimento. Isso ocorre devido a continuação dos processos de fotossíntese e respiração (TAIZ et al., 2017; YEATES, 2014).

Mesmo não afetando o fruto do algodoeiro, o déficit de água proporciona plantas de menor altura, com menos pontos de frutificação afetando diretamente a produção da cultura (ROSOLEM, 2001). Conforme observado por Batista et al. (2010) o suprimento adequado com água proporcionou maior produtividade da cultura, em

que a irrigação aumentou a altura de planta, número de estruturas reprodutivas e produtividade do algodão em caroço.

Ünlü et al. (2011) também observaram que a irrigação proporcionou maior produtividade do algodoeiro irrigado ao avaliarem o efeito do déficit hídrico por gotejamento na região do Mediterrâneo. As maiores produtividades do algodão foram obtidas com a maior lâmina (100% da ETc).

Com relação ao excesso de água quando a oxigenação da raiz não é afetada pela alta umidade do solo, o algodoeiro pode apresentar crescimento vegetativo acima do adequado (YEATES, 2014).

O crescimento vegetativo excessivo proporciona maior competição de assimilados com estruturas reprodutivas. Em resposta, ocorre maior queda das estruturas reprodutivas cessando a fonte de dreno dos assimilados, proporcionando aumento ainda maior no desenvolvimento vegetativo do algodoeiro diminuindo a produtividade da cultura (YEATES, 2014; EVETT et al., 2012).

Outra situação ocorre com água em excesso no solo. O encharcamento reduz o espaço poroso e influencia a aeração do solo, a atividade e crescimento da raiz. Com a diminuição da atividade da raiz a absorção de nutrientes é afetada, refletindo em menor produção e desenvolvimento da planta (YEATES, 2014).

A cultura do algodoeiro necessita, em média, de 700 a 1300 mm de precipitação para completar seu ciclo, sendo que a grande parte da água é consumida no período reprodutivo, onde há grande acúmulo de fotoassimilados para a formação do capulho (BELTRÃO et al., 2008).

O algodão apresenta certa resistência ao déficit hídrico devido seu sistema radicular pivotante, porém o cultivo sob essa situação não expressará o máximo de sua produção, principalmente na qualidade da fibra que será determinada com base nos fatores hereditários e no volume de água distribuído em cada fase da cultura (ALMEIDA et al., 2017; IMA, 2007).

Além do manejo correto da irrigação, com adequada distribuição e frequência, o manejo da adubação, aliado a outros fatores como temperatura, vento e luminosidade, proporcionam o máximo potencial de produção da cultura (ECHER, 2014).

O nitrogênio é um nutriente que apresenta maior absorção pela cultura do algodoeiro. Por ser um nutriente que facilmente se perde, recomenda-se que sua aplicação seja de forma parcelada (IMA, 2015; KANEKO et al., 2013).

O nitrogênio participa do processo de formação de órgãos vegetativos, sendo que a aplicação de doses adequadas é responsável por manter o equilíbrio entre as estruturas vegetativas e reprodutivas. O suprimento excessivo do nutriente pode estimular o incremento das estruturas vegetativas, prejudicando a assimilação de nutrientes pelas estruturas reprodutivas, atrasando sua formação, devido os fotoassimilados nutrirem preferencialmente a parte vegetativa, competindo com os fotoassimilados para o desenvolvimento das estruturas reprodutivas (STAUT et al., 2002).

A absorção de nitrogênio até o aparecimento dos botões florais que ocorre nos primeiros 45 dias é baixa. A maior absorção do nutriente se dá no pico do florescimento podendo chegar a valores de 5,5 kg ha^{-1} por dia, ocorrendo cerca de 80 dias após a emergência. Nessa fase, aproximadamente 2/3 da quantidade de nutriente que é necessário para o florescimento já se encontra na planta, não sendo mais tão absorvido pelas raízes, mas sim transportado dentro da planta (STAUT et al., 2002; ROSOLEM, 2001).

Camacho et al. (2013), em estudos sobre a absorção do nitrogênio pelo algodoeiro herbáceo em dois sistemas de cultivo, observaram que no período do florescimento e aparecimento de maçãs, o algodoeiro apresentou pico de absorção de nitrogênio, porém após esse período ocorreu o decréscimo no teor do nutriente na planta.

2.3 Agricultura irrigada no Brasil e no mundo

A irrigação é uma técnica milenar que surgiu na região da Mesopotâmia e Egito, de grande importância para o estabelecimento e desenvolvimento das antigas civilizações, que para garantia do alimento durante o ano era necessário um adequado manejo da água (RODRIGUES & IRIAS, 2004; ANA, 2017).

No Brasil, a irrigação é relativamente recente com relação aos demais países. Com o aumento da demanda por alimentos, fibras e bioenergia, houve a expansão da agricultura para novas áreas com precipitação irregular ou limitação de água, sendo necessária a implantação da irrigação no país (ANA, 2017).

Dados disponibilizados pela ANA (2017) mostram que a produção do cultivo irrigado pode ser de 2 a 3 vezes maior que numa mesma área de cultivo em sequeiro,

proporcionando benefícios potenciais, como a otimização do uso do solo, o cultivo de culturas com maior valor agregado, o manejo correto da água e a quimigação com o uso de fertilizantes e pesticidas via irrigação (AMORIM et al., 2008; BRITO & PINTO 2008).

A otimização no uso do solo com a irrigação é observada em estudos, como o de Aquino et al. (2011), em que observaram que a exportação de nutrientes com a irrigação refletiu no aumento da produtividade devido a maior retenção das estruturas reprodutivas do algodoeiro, sendo que, segundo os autores, a irrigação proporcionou melhor suprimento de nutrientes condicionando o aumento da produtividade.

No mundo, as áreas irrigadas correspondem a 20% das áreas de cultivo, contribuindo com 40% da produção de alimentos. No último levantamento realizado pela FAO (2016), o Brasil estava entre os dez países com maior área irrigada no mundo, especificamente na nona posição, com 6,1 milhões de hectares irrigados (ANA & EMBRAPA, 2016; FAO 2016).

A China e Índia são aos países com as maiores áreas irrigadas. Juntos ocupam 70 milhões de hectares. No mundo, a irrigação localizada e por aspersão são as mais utilizadas, correspondendo a 14% das áreas equipadas com sistema de irrigação (ANA, 2017; ANA & EMBRAPA, 2016; FAO 2016).

Com relação ao Brasil, historicamente a região Centro-Oeste é a maior produtora nacional, e teve crescimento expressivo na década de 1970, com incorporação de áreas irrigadas em 1990 passando de aproximadamente 300 mil hectares cultivados, com irrigação, para 1,2 milhões de hectares em 20 anos (ANA, 2017).

A respeito das culturas e métodos de irrigação no país, o algodão herbáceo e outras fibras apresentaram 42,8 mil ha irrigados por pivô central, segundo o Censo Agropecuário (2006) em todo o país (IBGE, 2009).

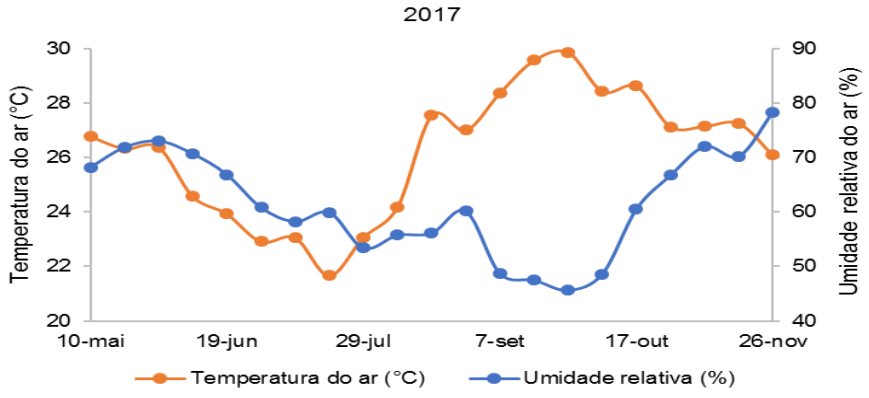
3 MATERIAL E MÉTODOS

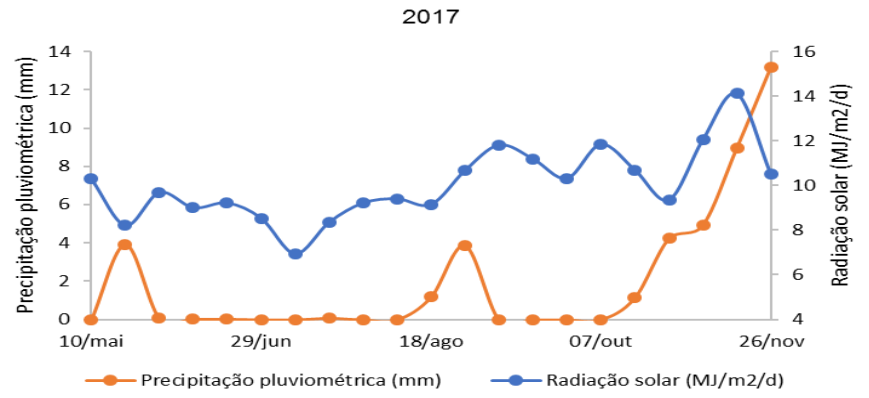
3.1 Localização da área experimental

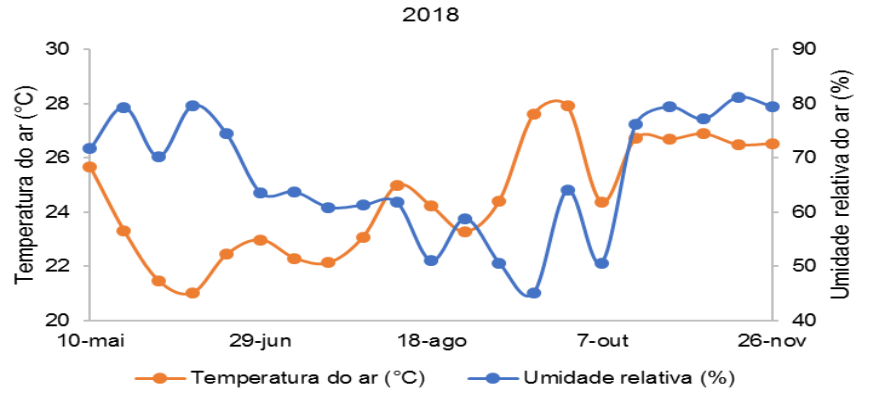
O experimento foi conduzido durante dois anos consecutivos (2017 e 2018). O primeiro cultivo foi realizado com semeadura no dia 22 de junho de 2017 e colheita dia 27 de novembro. No segundo cultivo a semeadura foi realizada no dia 09 de maio e colheita 25 de outubro de 2018. Ambos os experimentos foram realizados a campo, localizados na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* de Rondonópolis, região Sul de Mato Grosso, com coordenadas geográficas de 16°46’43” latitude Sul, 54°58’88” longitude Oeste e altitude de 290 m (Figura 1).

Figura 1. Localização da área experimental, reservatório de água para a irrigação e estação agrometeorológica da Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Rondonópolis. Fonte: Google Maps, 2018.

O clima da região é Aw, segundo a classificação de Koppen, sendo característico como tropical chuvoso, com duas estações bem definidas, ocorrendo estação seca de maio a setembro e chuvosa de outubro a abril. Encontram-se os dados coletados no período experimental para temperatura e umidade relativa do ar (Figura 2).


2017
Temperatura do ar (°C)
Umidade relativa do ar (%)
30
28
26
24
22
20
90
80
70
60
50
40
10-mai
19-jun
29-jul
7-set
17-out
26-nov
Temperatura do ar (°C)
Umidade relativa (%)


2017
Precipitação pluviométrica (mm)
Radiação solar (MJ/m2/d)
14
12
10
8
6
4
2
0
16
14
12
10
8
6
4
10/mai
29/jun
18/ago
07/out
26/nov
Precipitação pluviométrica (mm)
Radiação solar (MJ/m2/d)


2018
Temperatura do ar (°C)
Umidade relativa do ar (%)
30
28
26
24
22
20
90
80
70
60
50
40
10-mai
29-jun
18-ago
7-out
26-nov
Temperatura do ar (°C)
Umidade relativa (%)

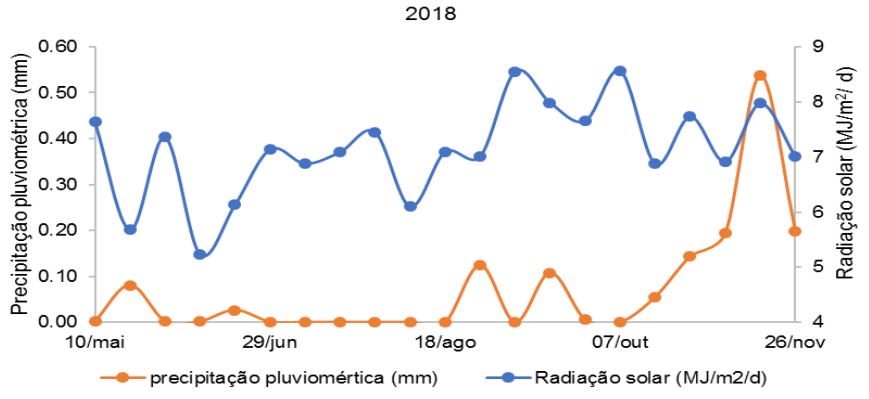

2018
Precipitação pluviométrica (mm)
Radiação solar (MJ/m2/ d)
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
9
8
7
6
5
4
10/mai
29/jun
18/ago
07/out
26/nov
precipitação pluviomértica (mm)
Radiação solar (MJ/m2/d)

Figura 2. Valores médios decêndios de temperatura e umidade relativa do ar referente aos anos de 2017 (A) e 2018 (B). Fonte: Estação agrometeorológica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Rondonópolis, localizada a 260 m da área experimental do algodoeiro fertirrigado com nitrogênio via gotejamento.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 3, com base no composto central com 9 tratamentos, sendo três níveis de irrigação (50, 100 e 150 % da ETc), via gotejamento, e três níveis de adubação nitrogenada (20, 110 e 200 % de 155 kg ha^{-1}) via fertirrigação.

Sousa (2015), em estudos na mesma área experimental com doses de adubação nitrogenada, lâminas de água e espaçamentos de plantio encontrou melhores resultados com adubação nitrogenada e irrigação acima do recomendado para o espaçamento de cultivo convencional (0,70 m).

Para facilitar os cálculos e a interpretação dos dados submetidos a análise de superfície de resposta, foi realizada a codificação dos fatores numa mesma escala (SILVA, 2014) (Tabela 1). A determinação da escala codificada foi feita através das equações 1 e 2:

$$x1 = \frac{N - 110}{5} \tag{1}$$

Onde,

x1: adubação nitrogenada em escala codificada; e

N: adubação nitrogenada em escala real (%);

$$x2 = \frac{ET - 100}{5} \tag{2}$$

Onde,

x2: irrigação em escala codificada; e

ET: irrigação em escala real (%).

Tabela 1. Níveis dos fatores nitrogênio e irrigação na escala codificada e real em delineamento Composto Central do experimento com algodoeiro fertirrigado

Escala Codificada		**Escala Real**	
Nitrogênio	Irrigação	Nitrogênio (%)	Irrigação (%)
x1	x2	N	ET
-18	-10	20	50
0	0	110	100
18	10	200	150

x1: adubação nitrogenada em escala codificada, x2: irrigação em escala codificada.

A parcela experimental apresentou dimensões de 5 m de largura por 6 m de comprimento, com área total de 30 m^2. A área útil e total do experimento foi de 1200 e 1440 m^2, respectivamente (Figura 3).

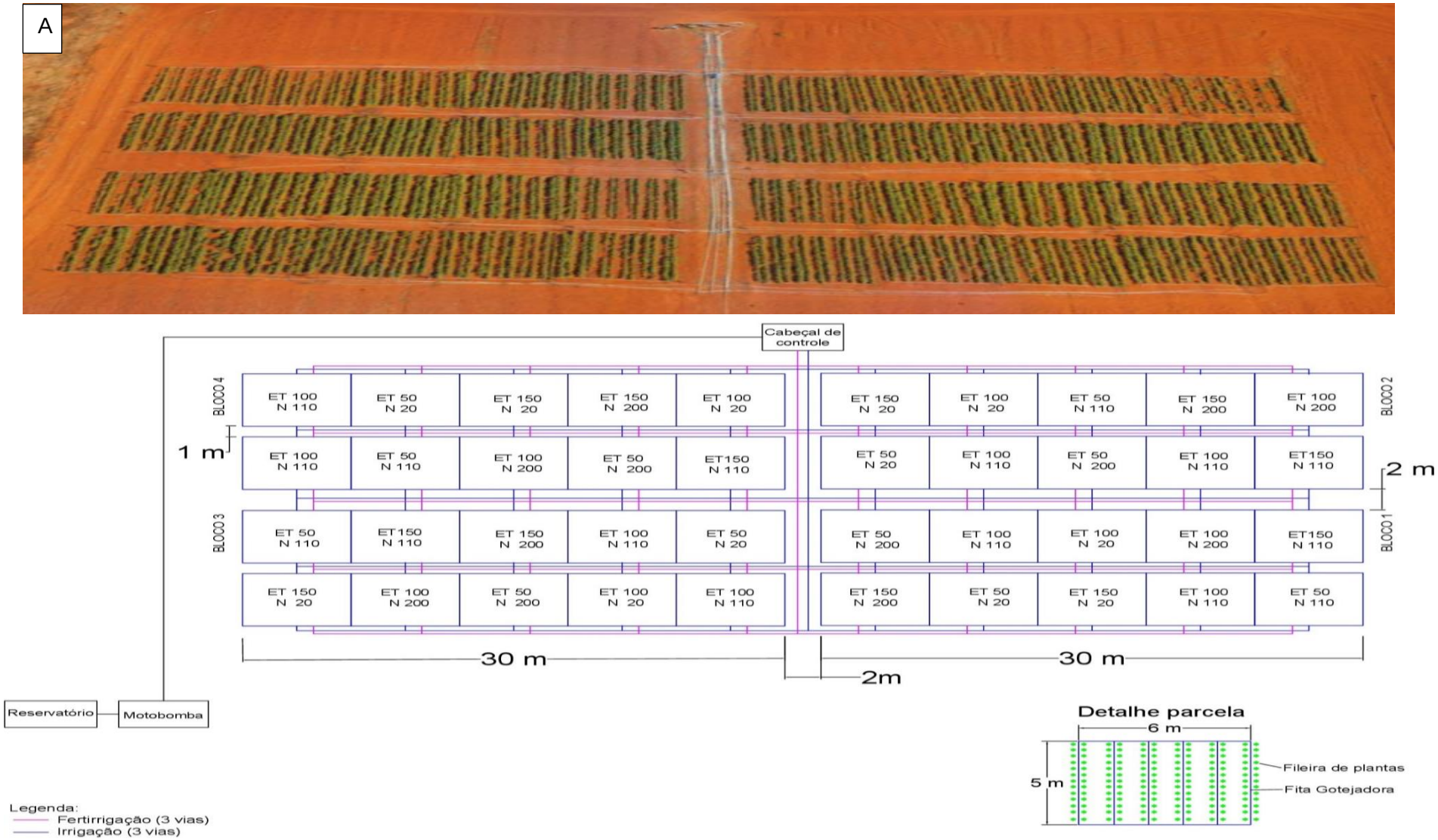


Figura 3. Imagem aérea da área experimental com algodoeiro aos 57 DAE. Imagem: Pedro Lopes, Rondonópolis – MT 2018 (A). Croqui da área experimental (B).

3.3 Correção e adubação do solo

Para a recomendação da calagem e adubação foi realizado a análise química do solo da área experimental, onde foram retiradas 12 amostras simples para formar amostra composta da camada de 0-0,20 m, em 2017 e 2018. Em seguida a amostra foi encaminhada para o laboratório de análises do solo (Tabela 2).

Tabela 2. Análise química e granulométrica do Latossolo Vermelho distrófico anterior a cada semeadura, nos anos de 2017 e 2018. Rondonópolis, Mato Grosso

2017													
Amostra	pH	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	V	M	M. O.	Areia	Silte	Argila
	$CaCl_2$	mg dm^{-3}		-------$cmol_c$ dm^{-3}-------				-----%-----		g dm^{-3}	-------g kg^{-1}-------		
0,0-0,2 m	5,0	3,7	40,9	1,05	0,41	0,0	3,57	43,98	0,0	10,2	390	133	477
2018													
Amostra	pH	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	V	M	M. O.	Areia	Silte	Argila
	$CaCl_2$	mg dm^{-3}		--------$cmol_c$ dm^{-3}-------				----%----		g dm^{-3}	-------g kg^{-1}-------		
0,0-0,2 m	5,1	2,4	54	1,4	0,8	0,0	5,0	46,4	0,0	17,5	390	133	477

pH: potencial hidrogeniônico, CTC: capacidade de troca de cátions, V%: saturação por bases, M%: saturação em alumínio. Método P: Mehlich 1.

Com base na análise do solo, pode-se observar que a saturação por bases se encontra em faixa aceitável para o desenvolvimento do algodoeiro que é de 50%. Devido a baixa quantidade de calcário que deveria ser aplicado para a saturação por bases se elevar para 50% não foi realizada a calagem na area experimental para os dois anos de cultivo (SOUSA & LOBATO).

3.4 Cultivar e Manejo da adubação

Para a semeadura foi utilizada a cultivar TMG 47 B2 RF, produzida pela Tropical Melhoramento & Genética (TMG). A cultivar apresenta como característica ciclo médio-tardio (140-150 dias) e espaçamento de cultivo de 0,7-0,9 m. Com tecnologia Bollgard II RRFlex resistente a insetos-pragas, glifosato RF e tolerância a algumas

doenças importante da cultura como a ramulária. A cultivar também apresenta como característica stand de 8 a 10 plantas m^{-1}, peso de capulho em média de 3,98 g e rendimento de fibra de 43,5% (TMG, 2019).

A adubação de semeadura foi realizada com fósforo, potássio e micronutrientes. A recomendação da adubação foi com base em Sousa e Lobato (2004), com 100 kg ha^{-1} de potássio, 120 kg ha^{-1} de fósforo e 40 kg ha^{-1} de micronutrientes, sendo as fontes cloreto de potássio (KCl), superfosfato simples (P_2O_5) e FTE (3,9% de enxofre, 1,8% de boro; 0,85% de cobre; 2,0% de manganês; e 9,0% de zinco), respectivamente.

A adubação nitrogenada não foi realizada na ocasião da semeadura, devido a prática da fertirrigação. A adubação com nitrogênio, tanto a de semeadura como a de cobertura, foi feita de acordo com cada tratamento, em que a recomendação foi de 25 kg ha^{-1} por semeadura e 130 kg ha^{-1} por cobertura. A adubação de cobertura foi parcelada em 5 vezes em 2017 e 2018. A fonte de N utilizada foi a ureia para os dois anos de cultivo (Tabela 3).

Tabela 3. Quantidade de nitrogênio aplicado durante a condução do experimento com algodoeiro fertirrigado, conforme cada tratamento nos anos de cultivo de 2017 e 2018, em Rondonópolis – MT

Ocasião	**Nitrogênio (kg ha^{-1})**		
	20%	110%	200%
Semeadura	5,00	27,50	50,00
Cobertura	26,00	143,00	260,00
Total	31,00	170,50	310,00

Para a adubação nitrogenada foi realizada a pesagem e diluição do nitrogênio em água, para facilitar o processo da fertirrigação. A aplicação do nitrogênio foi via fertirrigação com o auxílio de um dosador portátil marca Dosmatic modelo MiniDos 1% BSD, onde foi acoplado aos registros *bypass* do cabeçal de controle (Figura 4).

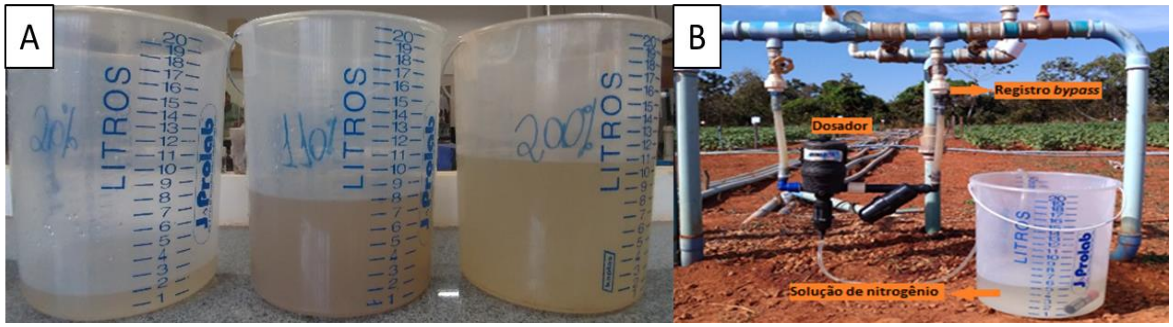


Figura 4.Solução de nitrogênio das doses 20%, 110% e 200% do N recomendado (A), aplicação do nitrogênio (200% N) via fertirrigação com o auxílio do dosador Dosmatic (B).

3.5 Manejo da irrigação

A irrigação foi realizada pelo sistema de gotejamento, onde o manejo foi determinado a partir da evapotranspiração da cultura (ETc). Para isso, foi determinada a evapotranspiração de referência (ETo) pelo método de Penman-Monteith recomendado pelo boletim FAO 56 (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) que leva em consideração importantes fatores agrometeorológicos (Allen et al., 1998).

Os dados para o cálculo ETo foram obtidos por meio da estação agrometeorológica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus de Rondonópolis localizada a 295 m da área experimental em estudo (Figura 5).

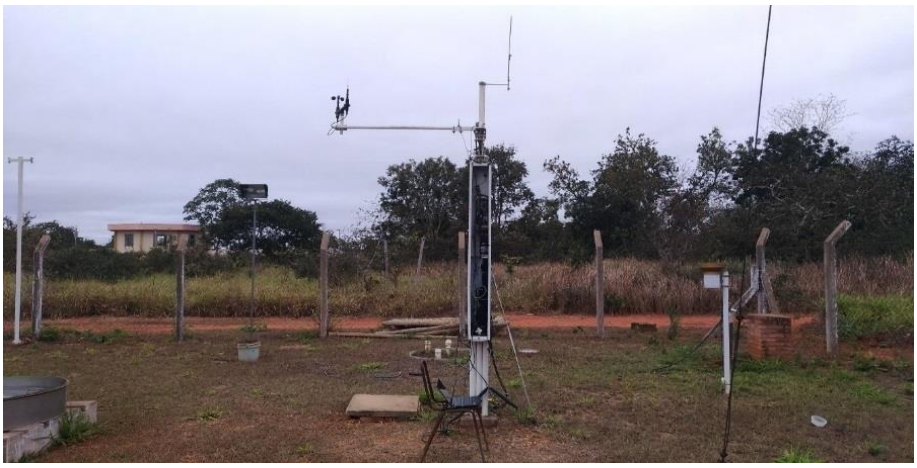


Figura 5. Vista geral da estação agrometeorológica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Rondonópolis.

Para o manejo da irrigação foi utilizado a evapotranspiração de referência obtida pelo metodo proposto Allen et al. (1998):

$$\mathrm{ETo} = \frac{0{,}408(\mathrm{Rn}-\mathrm{G})+\gamma\frac{900}{\mathrm{T}+273}U_2\,(\mathrm{e_s}-\mathrm{e_a})}{\Delta+\gamma\,(1+0{,}34\,\mathrm{U_2})} \qquad (3)$$

Em que: ETo – evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); Rn – radiação solar líquida disponível (MJ m^{-2} d^{-1}); G – fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} d^{-1}); γ – constante psicométrica (kPa $^{o}C^{-1}$); T – temperatura média diária do ar (^{o}C); U_2 – velocidade do vento a 2 m (m s^{-1}); e_s – pressão de saturação do vapor de água atmosférico (kPa); e_a – pressão atual do vapor de água atmosférico (kPa); Δ .- Curva de pressão de vapor (kPa °C^{-1}).

No ciclo das culturas, em geral, há a necessidade de suprimento com água conforme as fases de desenvolvimento. Dessa forma, foram utilizados os coeficientes de cultivo (Kc) para as quatro fases da cultura do algodão que foram determinados com base no Boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1998) (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficientes de cultivo (Kc) para a cultura do algodão

Estágio de fenológico	**Fase**	**Kc**
I	Inicial (0-25 dias)	0,45
II	Desenvolvimento (26-70 dias)	0,75
III	Desenvolvimento (71-120 dias)	1,15
IV	Estádio de maturação (121-colheita)	0,70

Assim, a evapotranspiração da cultura (ETc) foi calculada conforme a Equação 4:

$$\mathrm{ETc} = \mathrm{ETo} \times \mathrm{Kc} \qquad (4)$$

Devido a diferenciação das lâminas de irrigação, cada tratamento recebeu o volume de água ajustado ao sistema de gotejamento (90%) calculado com base na ETc (Tabela 5).

Tabela 5. Volume de água aplicado durante a condução do experimento

Ano de cultivo	Lâminas de irrigação (mm)		
	50% ETc	100% ETc	150% ETc
2017	506,00	628,54	765,47
2018	349,17	488,58	640,14

3.6 Sistema de irrigação por gotejamento

3.6.1 Preparo da área experimental para instalação do sistema de irrigação

Antes da instalação do experimento foi realizado o preparo do solo com duas gradagens pesadas para o revolvimento do solo e retirada dos restos culturais, e uma gradagem leve para o nivelamento do solo. As operações com maquinários foram realizadas no mês de abril para os dois anos de cultivo (Figura 6).

Figura 6. Preparo da área com grade pesada antes da instalação do experimento a campo na Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Universitário de Rondonópolis.

Após a limpeza da área, foi realizada a montagem do sistema de irrigação (Figura 7).

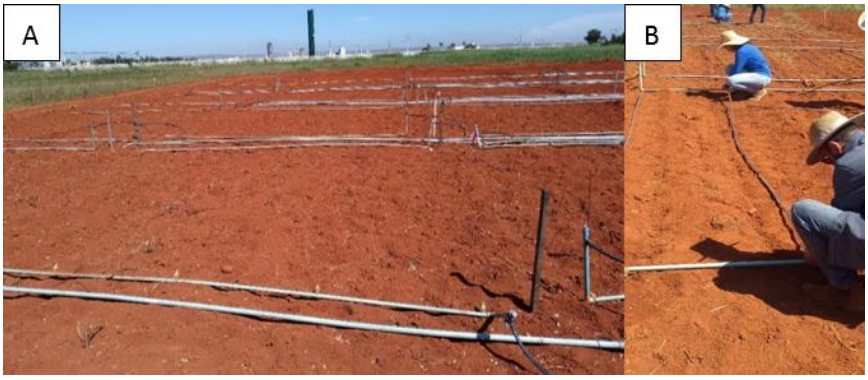


Figura 7. Vista das parcelas com as linhas de derivação montadas (A) e montagem da linha lateral na parcela (B) do experimento na Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Universitário de Rondonópolis.

3.6.2 Reservatório de água para a irrigação

A água para irrigação foi armazenada num reservatório localizado a 195 m de distância da área experimental com capacidade de 80 m^3 de água.

3.6.3 Sistema de bombeamento

O sistema de bombeamento foi composto pela motobomba Marca Branco, modelo B4T-5.5H, com potência máxima de 5,5 cv. Acoplada a motobomba estava a tubulação de sucção de 75 mm de diâmetro (Figura 8).

Figura 8. Sistema de bombeamento – motobomba.

3.6.4. Cabeçal de controle

O controle da quantidade da água irrigada foi realizado por meio do cabeçal de controle, sendo composto por três cavaletes. Cada cavalete teve um registro de gaveta, um manômetro para o controle da pressão, uma válvula de escape, dois hidrômetros, dois registros de gaveta para abertura e fechamento da irrigação e fertirrigação e dois registros *bypass* onde foi acoplado o dosador que auxiliava na aplicação da fertirrigação (Figura 9).

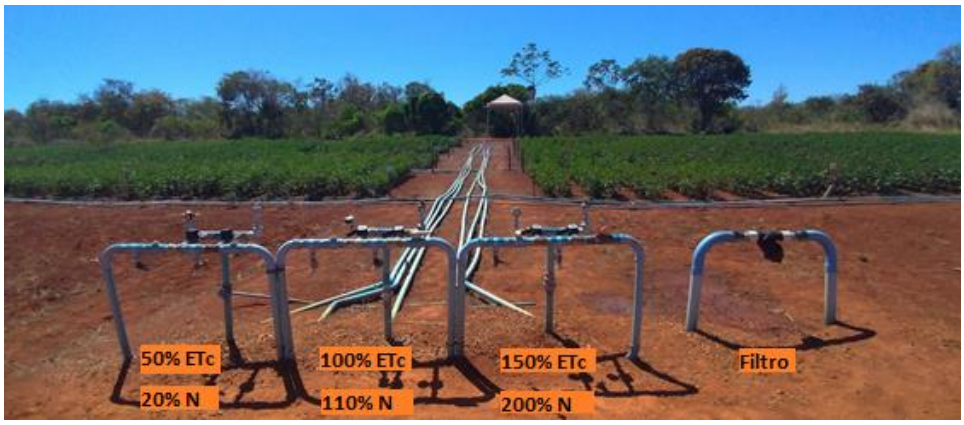


Figura 9. Vista frontal do cabeçal de controle do sistema de irrigação por gotejamento do experimento com algodoeiro fertirrigado, Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Universitário de Rondonópolis.

3.6.5. Linha principal

As linhas principais foram formadas por tubos de PVC de 50 mm com PN de 40 m.c.a., sendo conectados ao cabeçal de controle por 6 conexões, três para a irrigação (50%, 100% e 150% da ETc) e três para a fertirrigação (20%, 110% e 200% da recomendação de nitrogênio) (Figura 10).

Figura 10. Linha principal do sistema de irrigação por gotejamento, Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Universitário de Rondonópolis.

3.6.6 Linha de derivação

As linhas de derivação foram compostas por três tubos de PVC de 30 e 45 mm e PN de 60 m.c.a., que foram perfurados e acoplados a conexões de início de linha e uma mangueira de polietileno ligada ao conector com registro, sendo este acoplado ao tubo de PVC soldável de 30 mm e 50 cm de comprimento com uma válvula de escape de pressão na extremidade superior (Figura 11).

Figura 11. Linha de derivação e linha principal do sistema de irrigação por gotejamento, Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Universitário de Rondonópolis.

3.6.7 Linha lateral

As linhas laterais foram compostas por fitas gotejadoras de polietileno marca Naan Dan Jain – Jain Irrigation Company, modelo Top Drip PC AS de 16 mm. A parcela experimental foi formada por 6 fitas gotejadoras com 16 emissores *in line* com vazão média de 1,6 L h^{-1} e pressão máxima de 1,4 bar, espaçados em 0,3 m cada, conectadas em tubos de PVC (Policloreto de Vinil) soldável de 25 mm e PN (pressão nominal) de 60 m.c.a. Cada parcela foi formada por dois tubos, sendo um para irrigação e outro para a fertirrigação (Figura 12).

Figura 12. Vista frontal da parcela e linha lateral do sistema de irrigação por gotejamento, aos 105 DAE, ano de 2018. Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Universitário de Rondonópolis.

3.7 Manejo fitossanitário do algodoeiro

O manejo de pragas e doenças iniciou-se com o tratamento das sementes do algodão com inseticidas e fungicidas, a fim de garantir o estabelecimento da cultura com menos influência desses fatores (Tabela 6).

Tabela 6. Produtos comerciais aplicados no tratamento de sementes nos anos de 2017 e 2018.

Produto comercial	**Recomendação** mL 100 kg $semente^{-1}$	**Classe**
Vitavax - Thiram 200 SC	500	Fungicida sistêmico
Standak Top	500	Fungicida/inseticida sistêmico
Certeza	500	Fungicida sistêmico

O manejo de pragas e doenças na área experimental foi realizado com inseticidas, fungicidas e acaricidas, além do controle de plantas daninhas com aplicações de herbicidas (Anexo 1 e 2). Para a aplicação foi utilizado EPI's (Equipamento de Proteção Individual) e como equipamento de aplicação foi utilizado uma bomba costal manual com capacidade de armazenamento de 20 litros (Figura 13).

Figura 13. Vista geral da área experimental durante a aplicação de defensivo agrícola aos 62 DAE, ano de 2018, Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Universitário de Rondonópolis.

3.8 Variáveis analisadas

As variáveis foram obtidas nas avaliações realizadas a campo e na pós colheita. Para as avaliações de campo foram separadas 9 plantas na área útil de cada parcela, em três conjuntos com três plantas (Figura 14).

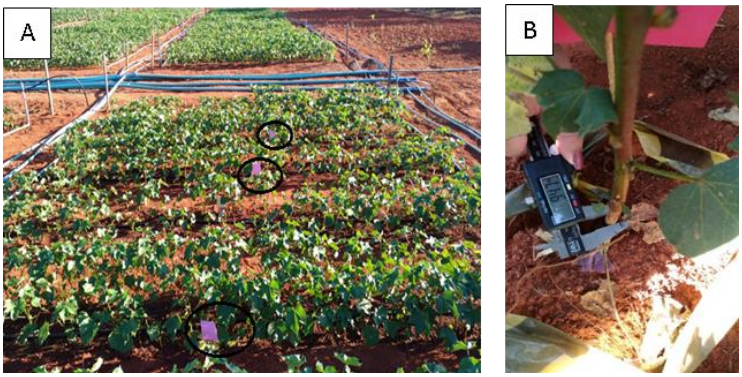


Figura 14. Vista geral da parcela experimental evidenciando a marcação dos três conjuntos com três plantas por parcela (A). Avaliação de diâmetro de caule em planta de algodão marcada (B).

No ano de cultivo de 2017, as avaliações foram realizadas 45 dias após a diferenciação dos níveis de irrigação, com intervalos de 15 dias aos 67, 82, 97, 112, 127 e 142 dias após a emergência (DAE). No ano de cultivo de 2018, as avaliações foram realizadas 24 dias após a diferenciação dos níveis de irrigação com intervalos de 15 dias aos 55, 70, 85, 100 e 115 DAE.

Para o cultivo do algodoeiro nos anos de 2017 e 2018 as variáveis avaliadas a campo foram o número de folhas por planta, através da contagem manual das folhas em cada planta; altura de planta, com auxílio de uma régua graduada medindo-se da superfície do solo ao ápice da planta; índice de clorofila, com o auxílio do clorofilomêtro Minolta Inc. SPAD 502 Plus realizando-se a leitura numa folha no terço de cada planta; e número de capulhos por planta por meio de contagem manual dos capulhos em cada planta antes da colheita, obtendo-se uma média geral (Figura 15).

Figura 15. Avaliação do número de folhas (A), altura de planta (B), índice SPAD e número de capulhos por planta (D) do experimento com algodoeiro, no ano de 2017.

O cultivo do algodoeiro no ano de 2018, acrescentaram-se as variáveis diâmetro de caule, que foi obtido com auxílio de um paquímetro digital, medindo-se o caule a distância de dois centímetros da superfície do solo (Figura 16).

Figura 16. Avaliação do diâmetro de caule no experimento com algodoeiro herbáceo fertirrigado com nitrogênio via gotejamento.

Na ocasião da colheita, foram coletados, com o auxílio de tesouras de poda, os capulhos da área útil da parcela e a parte aérea das plantas separadas para a avaliação. Após a colheita os capulhos e a parte aérea das plantas foram armazenados em sacos de papel e secos em estufa de circulação de ar forçado a 65 Cº por 72 horas (Figura 17).

Figura 17. Colheita dos capulhos de algodão com auxílio de tesoura de poda.

Após a secagem foram determinadas as variáveis massa seca da parte aérea e peso médio de capulho, obtido através da pesagem de 30 capulhos. Todas essas variáveis foram obtidas por meio de pesagem em balança semi analítica (Figura 18).

Figura 18. Pesagem de 30 capulhos em balança semi analítica.

A produtividade do algodão em caroço foi obtida após a separação das capsulas deiscentes e algodão em caroço. A produtividade do algodão em pluma foi obtida após a separação da fibra e da semente (Figura 19), em seguida realizou-se a pesagem em balança semi analítica. A produtividade do algodão em caroço e em pluma foi expressa em kg ha^{-1}.

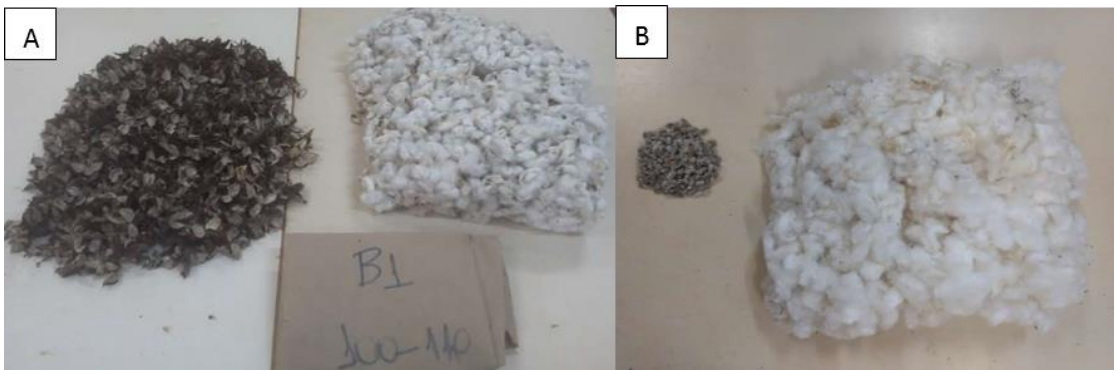


Figura 19. Algodão em caroço e cápsulas deiscentes (A) e algodão em pluma e sementes (B), ambos separados manualmente.

Avaliou-se também o rendimento de fibra (%) que é a razão entre o peso da fibra e a produtividade do algodão em caroço (Equação 3):

$$RF = \frac{PF}{PAC} X\ 100 \qquad (3)$$

Em que: RF – rendimento da fibra (%); PF – peso da fibra (kg ha^{-1}) e PAC – produtividade do algodão em caroço (kg ha^{-1}).

A eficiência no uso da água é a quantidade de algodão em caroço em função da lâmina aplicada, sendo que essa variável foi obtida através da equação 4:

$$EUA = \frac{PAC}{LA} \quad (4)$$

Onde: EUA – eficiência no uso da água (kg ha^{-1} mm^{-1}); PAC – produtividade do algodão em caroço (kg ha^{-1}) e LA – lâmina de água aplicada pela irrigação (mm).

A variável área foliar foi determinada com o auxílio do medidor de área foliar LI 3100 C, onde foram separadas as folhas de 3 plantas de algodão de cada parcela (Figura 20).

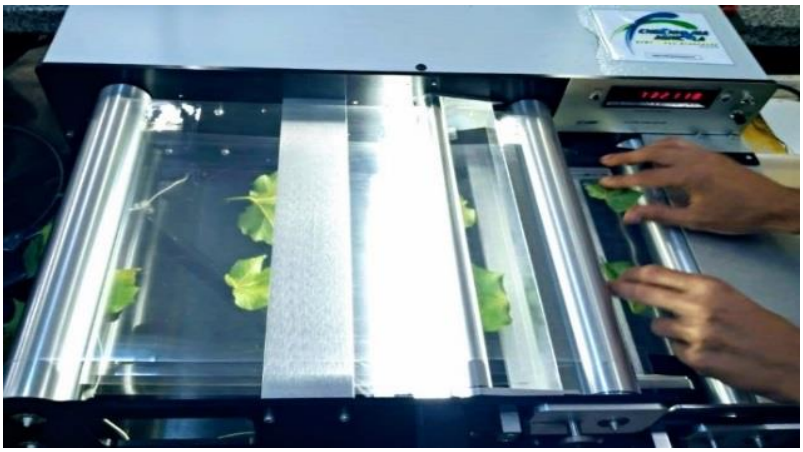


Figura 20. Leitura da área foliar do algodoeiro.

Para obtenção das variáveis industriais (qualidade da fibra) foram enviadas amostras de 200 g de algodão em caroço de cada parcela, para o Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMA) onde foram determinados o comprimento da fibra, uniformidade de comprimento, resistência específica, alongamento a rotura, micronaire, grau de reflectância, grau de amarelecimento, índice de maturidade, índice de resistência a fiação, e índice de fibras curtas.

Para a determinação das variáveis industriais foi utilizado o instrumento do tipo HVI, que é o método padrão utilizado para a qualificação da fibra de forma rápida e precisa (LIMA, 2018).

3.9 Análise estatística

O modelo de superfície de resposta e os termos (linear, quadrático e interação) foram verificados pela análise de variância e pela falta de ajuste ("Lack of fit"), sendo determinada pelo teste F ($p<0,05$). Quando os critérios de seleção do modelo de superfície de resposta não foram atendidos, foram estudados os efeitos isolados e a interação dos fatores mediante a análise de regressão polinomial, observando os resultados do teste F ($p<0,05$) da análise de variância e do teste t de Student ($p<0,05$). No caso em que não foi possível ajuste de regressão polinomial, a variável resposta foi discutida por meio da estatística descritiva com o uso do gráfico box-plot.

Nas análises dos dados, foi utilizado o software livre R 3.4.2 (R Core Team, 2018). Para o modelo de superfície de resposta foi utilizado o pacote RSM (Russell & Lenth, 2009) e análise de variância foi implementada utilizando funções disponíveis no pacote ExpDes.pt (Ferreira, Cavalcanti e Nogueira, 2013). Para encontrar a transformação mais adequada para alcançar o comportamento aproximadamente gaussiano utilizou-se a família de transformações Box-Cox por meio do pacote MASS (Venables E Ripley, 2002). A construção dos gráficos foi realizada pelo pacote ggplot2 (Wickham, 2009) e Lattice (Sarkar, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis obtidas a campo

O modelo de superfície de resposta foi significativo para a variável altura de planta, diâmetro de caule e índice de clorofila SPAD, sendo que a falta de ajuste ("Lack of fit") não apresentou diferença significativa ($p<0,05$), indicando que o modelo de superfície de resposta com efeitos linear e quadrático pode ser utilizado para explicar o comportamento da variável (Anexo 3).

Para as variáveis que não foram atendidas pelos critérios de seleção do modelo de superfície de resposta, foram estudados os efeitos isolados e a interação dos fatores mediante ANOVA da análise de regressão (Anexo 4).

4.1.1 Altura de planta

A diferença significativa para o modelo de superfície de resposta pode ser observada nas avaliações aos 112, 127 e 142 dias após a emergência (DAE) no algodoeiro cultivado no ano de 2017, apresentando comportamento com efeito linear. As maiores alturas de planta foram obtidas no maior nível de adubação nitrogenada 200% de N (310 kg ha^{-1}) e irrigação de 150 % da ETc. As alturas máximas de 82,26; 79,83; e 82,03 cm foram obtidas nas avaliações aos 112, 127 e 142 DAE, respectivamente (Figura 21).

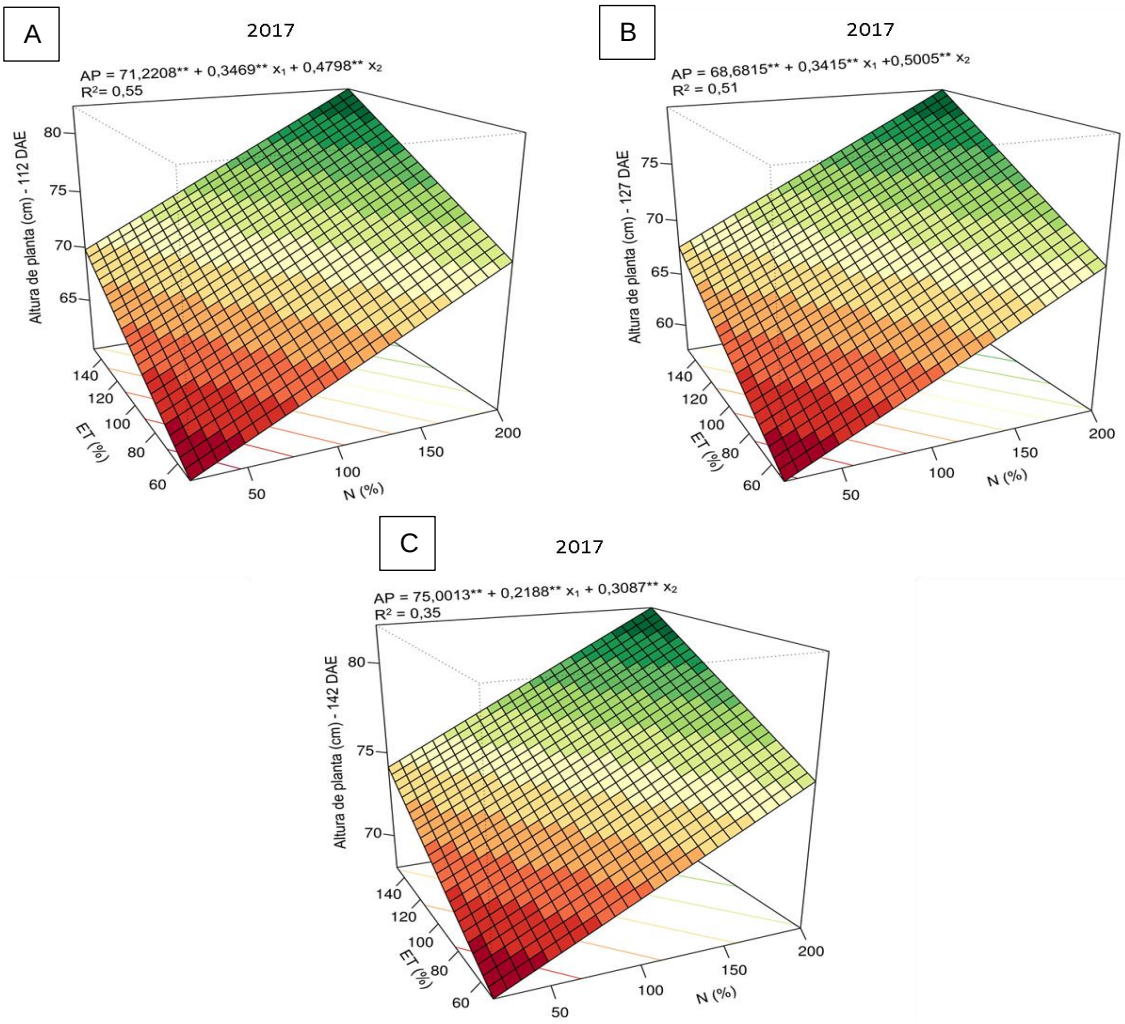


Figura 21. Altura de planta do algodoeiro herbáceo apresentada pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET) aos 112(A), 127 (B) e 142 DAE (C) em função da adubação nitrogenada e irrigação. AP – altura de planta, 2017. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

Para a altura de planta do algodoeiro cultivado no ano de 2018, as avaliações aos 55, 70 e 100 DAE ajustaram-se ao modelo de superfície de resposta com comportamento linear e aos 115 DAE ajustaram-se ao modelo de superfície de resposta apresentando efeito quadrático.

A variável altura de planta cultivado no ano de 2018, verificou-se que a superfície de resposta teve um ponto de máxima, devido os autovalores apresentarem sinal negativo. A irrigação e a adubação nitrogenada influenciaram de forma positiva nessa variável. O ponto de máxima foi encontrado no maior nível de adubação

nitrogenada 200% de N (310 kg ha^{-1}) e irrigação de 150% da ETc, proporcionando a maior altura de planta de 41,38 cm aos 55 DAE; 50,60 cm aos 70 DAE; 74,81 cm aos 100 DAE e 68,81 aos 115 DAE (Figura 22).

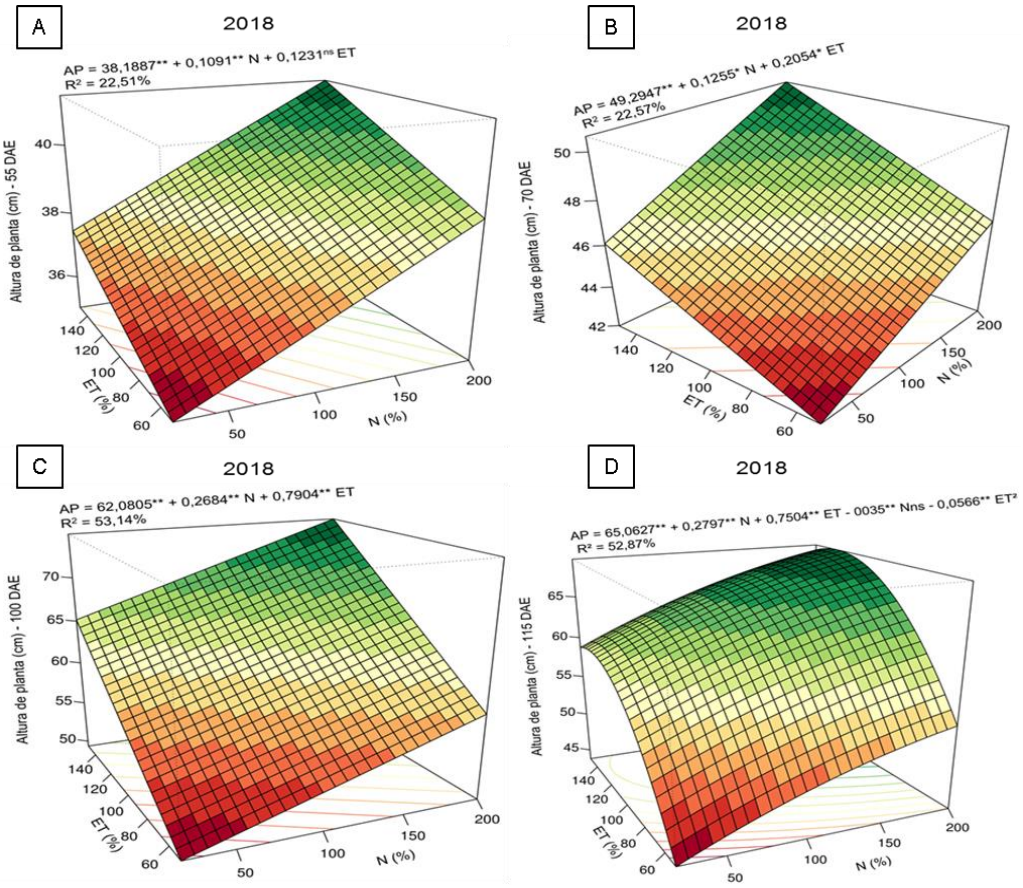


Figura 22. Altura de planta do algodoeiro herbáceo apresentada pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET) aos 55 (A), 70 (B), 100 (C) e 115 DAE em função da adubação nitrogenada e irrigação. AP – altura de planta, ET – irrigação e N – adubação nitrogenada no ano de 2018. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

Devido à falta de ajuste ao modelo de superfície de resposta, para a altura de planta aos 67 DAE, foi analisada a regressão, podendo-se observar efeito significativo ($p<0,05$) da adubação nitrogenada de forma isolada, para o algodoeiro cultivado no ano de 2017 (Anexo 4). Não analisando-a de forma isolado em 2018, devido a variável atender os critérios de seleção do modelo de superfície de resposta em todas as avaliações (Anexo 3).

Na avaliação aos 67 DAE, para o algodoeiro cultivado no ano de 2017, a variável altura de planta ajustou-se ao modelo linear crescente. A máxima altura de planta de 53,63 cm foi obtida na maior adubação nitrogenada 200% de N (310 kg ha^{-1}). As avaliações aos 82 e 97 DAE não apresentaram diferença significativa para o modelo de superfície de resposta e regressão para os fatores adubação nitrogenada e irrigação (Figura 23).

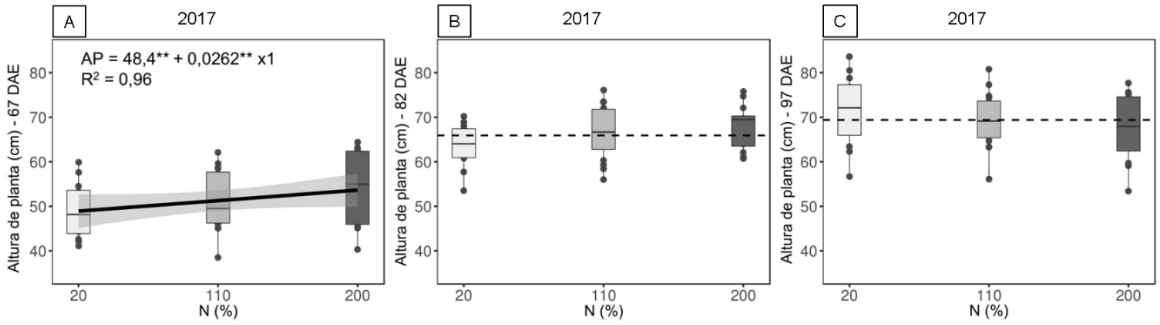


Figura 23. Altura de planta do algodoeiro herbáceo aos 67(A), 82 (B) e 97 DAE (C) em função da adubação nitrogenada. AP – altura de planta, ET – lâminas de irrigação e N – doses de nitrogênio para o algodoeiro cultivado no ano de 2017. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

O desenvolvimento inicial da parte aérea do algodoeiro é lento, devido seu investimento no rápido desenvolvimento do sistema radicular para facilitar a absorção de nutrientes (BELTRÃO et al., 2008).

Para o estabelecimento da cultura foram feitas aplicações de irrigação sem diferenciação durante um período que correspondeu a 40 DAE, contudo já havia iniciando-se os tratamentos com fertirrigação, justificando a diferença significativa para a adubação nitrogenada de forma isolada para a altura de planta, no ano de 2017.

O suprimento de água e nitrogênio proporcionam maior altura de planta principalmente devido o suprimento adequado de água não afetar a divisão celular, o alongamento internodal e o crescimento vertical da cultura. Estudos realizados na Índia com algodão irrigado, observaram que a maior altura de planta foi obtida com maior nível de irrigação (100% da ETc). Os autores afirmaram que para obtenção de

plantas de maior porte é necessário ótima disponibilidade de água no solo (Sampathkumar et al., 2013).

Rao et al. (2016) observaram que a altura de planta do algodoeiro irrigado por gotejamento a 100% ETc produziu plantas de maior altura, em comparação com os tratamentos de 80 e 60% ETc, em estudos na Índia.

Muharam et al. (2014) observaram que a aplicação de nitrogênio proporcionou plantas de maior altura para o mesmo nível de irrigação, em algodoeiro cultivado no Texas, respondendo positivamente a aplicação do nitrogênio na avaliação aos 68 DAP (dias após o plantio), corroborando o presente trabalho.

A associação da adubação nitrogenada e irrigação acarreta em melhor suprimento de nitrogênio para as plantas. Por ser um nutriente que se movimenta no solo por fluxo de massa, a adubação nitrogenada aliada a irrigação adequada proporciona o melhor suprimento de nitrogênio para a planta acarretando em maior desenvolvimento vegetativo e produção (ROSOLEM & BOGIANI, 2014).

Watts et al. (2017) observaram que os anos que obtiveram maior volume de precipitação houve melhor resposta do algodoeiro a adubação nitrogenada, ocasionando plantas de maior altura, em estudos no Alabama – Estados Unidos.

4.1.2 Diâmetro de caule

No cultivo do algodoeiro no ano de 2018, as avaliações aos 70, 100 e 115 DAE, atenderam aos critérios de seleção do modelo de superfície de resposta, observando-se efeitos linear e quadrático.

Para a variável diâmetro de caule observou-se ponto estacionário em 200% de N (310 kg ha^{-1}) e 150 % da ETc, correspondendo ao maior diâmetro de caule de 9,10 cm aos 70 DAE; 10,35 cm aos 100 DAE; e 10,14 cm aos 115 DAE (Figura 24).

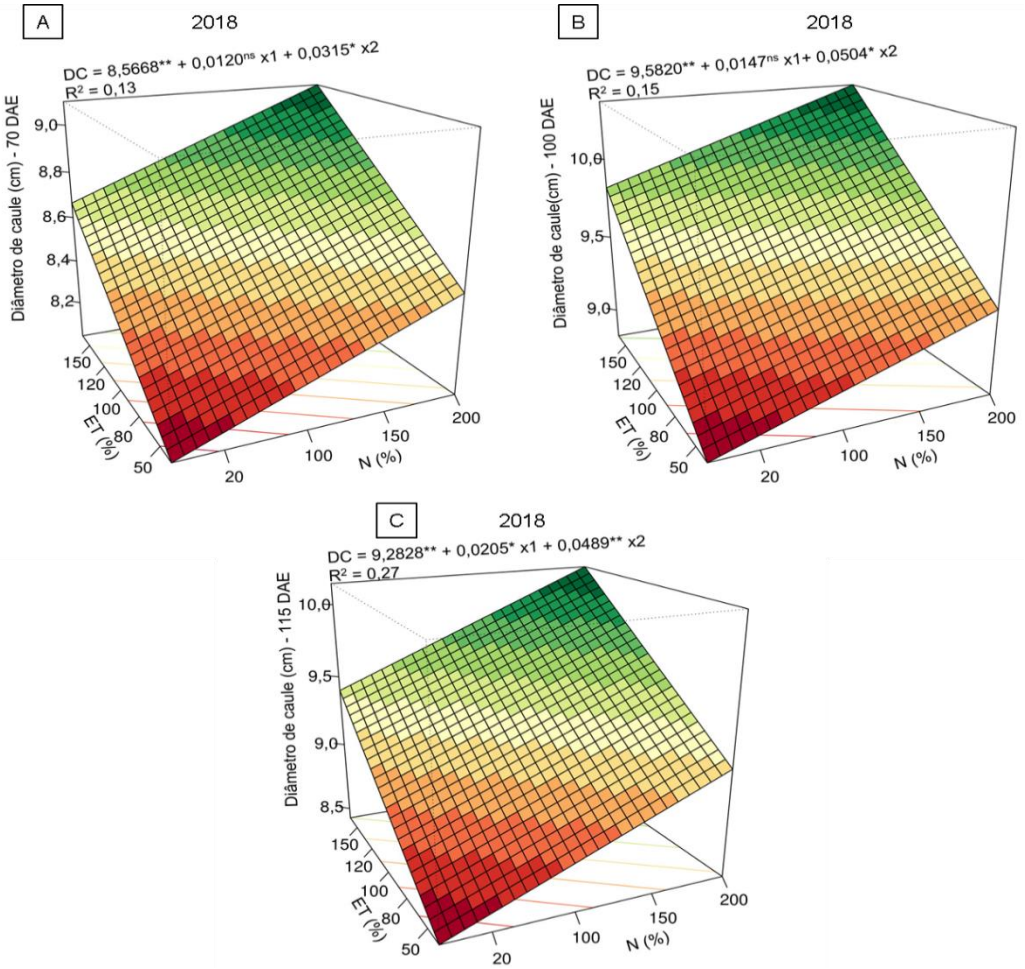


Figura 24. Diâmetro de caule do algodoeiro herbáceo apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET) aos 70 (A), 100 (B) e 115 (C) DAE. DC – diâmetro de caule, 2018. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

O suprimento de água e nitrogênio estimula o desenvolvimento de estruturas vegetativas. O caule é um importante estrutura vegetativa devido a função de sustentar os demais orgãos vegetativos que exercem funções como a fotossíntese que é fundamental para o desenvolvimento da planta e os reprodutivos (fruto) que é de maior importância para o produtor (WINTER, 1986).

Kang et al. (2012), em estudos na China com algodoeiro irrigado por gotejamento, observaram que o tratamento de maior disponibilidade hídrica proporcionou maior diâmetro de caule, com relação aos demais tratamentos.

Fernandez & Cuevas (2010) em estudos sobre o diâmetro de caule como indicador do estresse hidríco, observaram que o diâmetro de caule pode ser um

importante indicador do suprimento de água pelas plantas, onde plantas cultivadas com alto nível de disponibilidade de água proporcionaram aumento no diâmetro de caule com relação a plantas submetidas a irrigação deficitária. Corroborando o presente trabalho, em que o maior nível de irrigação (150% da ETc) proporcionou o maior diâmetro de caule, com incremento de 16,95% na útima avaliação aos 115 DAE, no ano de 2018.

Chen et al. (2018) observaram que o houve aumento no diâmetro de caule e comprimento de raiz com a irrigação e a fertirrigação superficial, provavelmente devido a necessidade do algodoeiro em absorver água para completar o ciclo da cultura.

4.1.3 Índice de clorofila SPAD

As avaliações aos 55, 100 e 115 DAE apresentaram diferença significativa com comportamento linear crescente, onde a maior adubação nitrogenada de 200% de N (310 kg ha^{-1}) e irrigação de 150% da ETc proporcionaram os maiores valores de índice de clorofila SPAD de 47,38; 57,91; e 53,88 na avaliação aos 55, 100 e 115 DAE, respectivamente, para o algodoeiro no ano de 2018 (Figura 25).

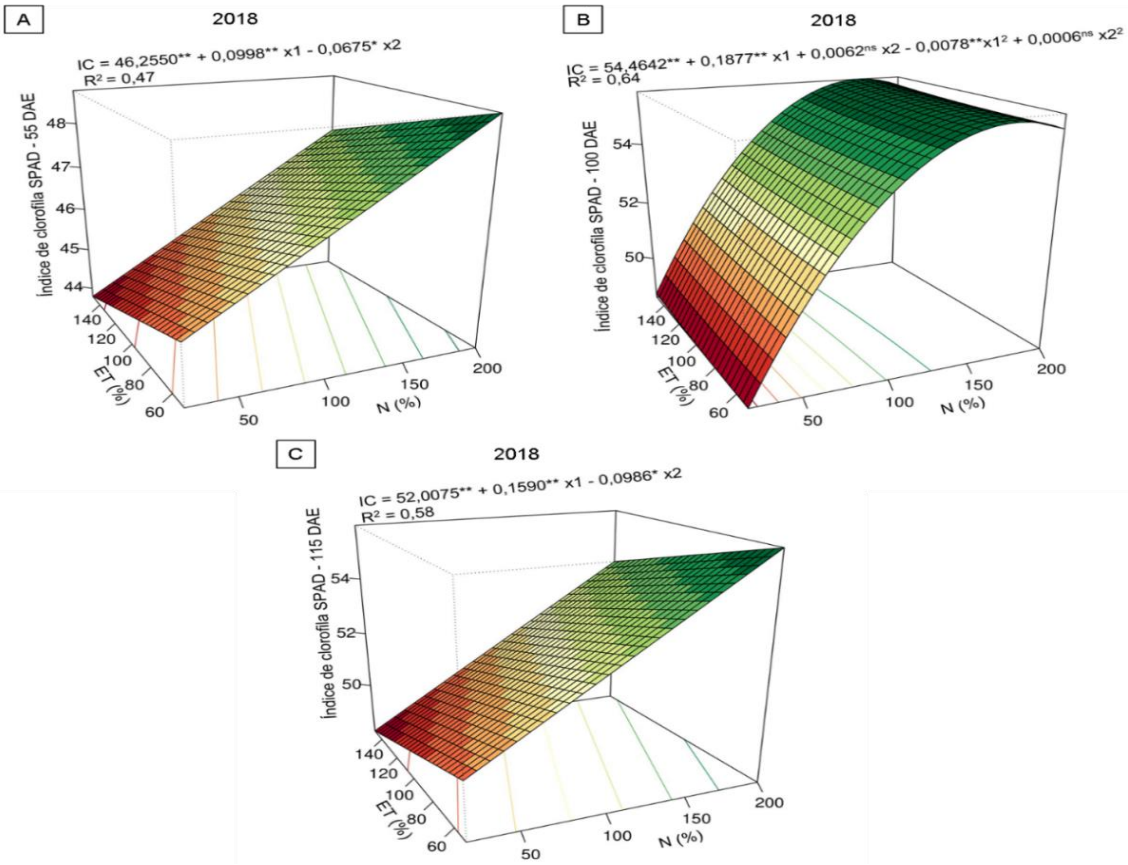


Figura 25. Índice de clorofila SPAD do algodoeiro herbáceo apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET) aos 55 (A) e 100 (B) e 115 (C) DAE, no ano de 2018. IC – índice de clorofila. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

Devido a variável não atender aos critérios de seleção do modelo de superfície de resposta foi estudada a análise de regressão para as avaliação aos 82 e 97 DAE, onde apresentaram diferença significativa, no cultivo do algodoeiro no ano de 2017(Anexo 3).

A avaliação aos 82 DAE apresentou diferença significativa de forma isolada para a irrigação, com comportamento linear decrescente, sendo que a irrigação de 50% da ETc proporcionou o maior índice de clorofila de 54,49 (Figura 27 A).

Na avaliação aos 97 DAE, pode-se observar diferença significativa para a adubação nitrogenada com efeito linear crescente, onde a adubação de 200% de N (310 kg ha^{-1}) proporcionou o maior índice de clorofila (54,06). Nas demais avaliações

não foram observadas diferença significativa para os fatores de forma isolada e interação entre os fatores, para o cultivo do algodoeiro no ano de 2017 (Figura 26).

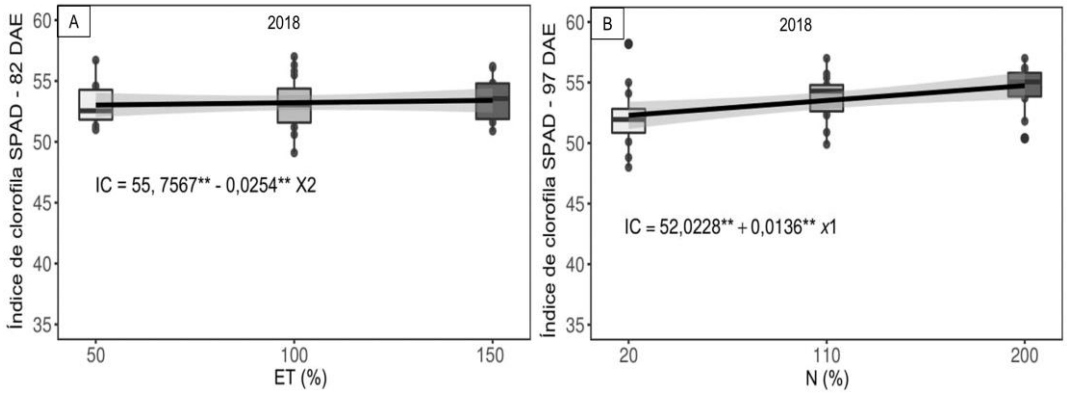


Figura 26. Índice de clorofila SPAD em função da adubação nitrogenada e irrigação aos 82 (A) e 97 (B) DAE, no ano de 2017. IC – índice de clorofila. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

Na avaliação aos 142 DAE, pode-se observar interação significativa para a irrigação e adubação nitrogenada apresentando efeito quadrático, em que a irrigação de 100% da ETc em combinação da adubação de 20% de N (31 kg ha^{-1}) proporcionou o menor índice de clorofila SPAD (39,67), não apresentando diferença significativa para os demais irrigações em combinação com a adubação nitrogenada (Figura 27).

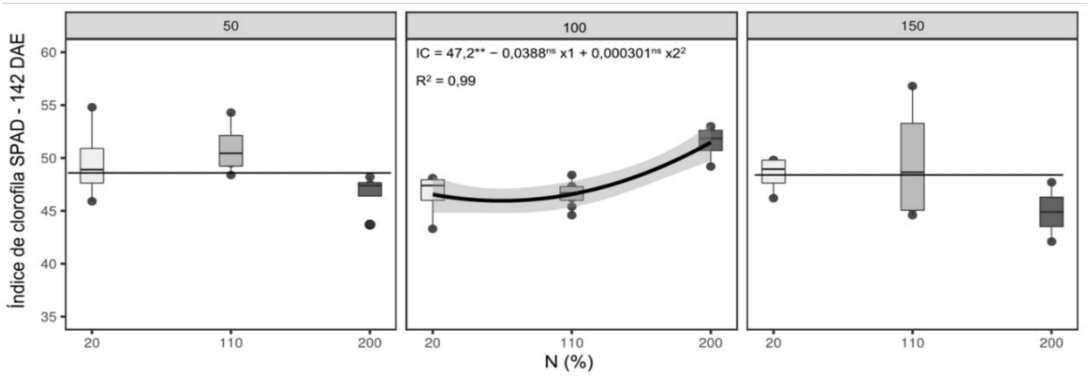


Figura 27. Índice de clorofila em função das lâminas de irrigação dentro das doses de nitrogênio no cultivo de 2017. SPAD – índice de clorofila, ET – lâminas de irrigação e N – doses de nitrogênio no ano de 2017. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

O nitrogênio participa da formação de vários compostos celulares vegetais, como aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofila. A sua deficiência inibe o crescimento vegetal e provoca clorose nas plantas, inicialmente nas folhas velhas podendo provocar clorose em toda a planta. No presente estudo pode-se observar que o baixo suprimento de N (20% N) provocou o amarelecimento das folhas velhas do algodoeiro (Figura 28).

Figura 28. Sintomas visuais de deficiência de nitrogênio no algodoeiro herbáceo cultivado no ano de 2018, aos 58 DAE no tratamento de irrigação de 150% da ETc e adubação nitrogenada de 20% de N (31 kg ha^{-1}).

O índice de clorofila SPAD é obtido através da leitura do estado nutricional da planta com auxílio de um clorofilomêtro portátil, determinando o teor de clorofila de forma indireta através dos comprimentos de onda obtidos pela luz transmitida pela folha, apresentando como vantagem a não destruição da folha (MINOLTA 1989; FEIBO et al., 1998).

Pode-se observar que os maiores valores de índice SPAD foram obtidos nos maiores níveis de irrigação (100 e 150% da ETc) isso porque o estresse hídrico pode afetar as taxas fotossintéticas de forma negativa por meio de dois mecanismos. O primeiro é através do fechamento dos estômatos diminuindo as atividades foliares relacionadas. A segunda é a redução da área foliar e antecipação da senescência das folhas devido ao baixo suprimento de água (STEWART et al., 2010).

A água e o nitrogênio apresentam estreita relação, devido o nutriente ser transportado por fluxo de massa. Assim, se houver baixa disponibilidade hídrica a absorção do nitrogênio será prejudicada (ROSOLEM 2001e BOGIANI et al., 2014), conforme mostrado em estudos realizados por Li e Lascano (2011) no Texas, onde

comprovaram que a irrigação por déficit de 50% ETc proporcionou diminuição na absorção de nitrogênio influenciando na diminuição de biomassa e rendimento de pluma de algodão em comparação com a irrigação de 75% ETc.

Li e Lascano (2011) também relataram que a baixa disponibilidade hídrica de 50% da ETc no estádio vegetativo inicial proporcionou alto valor de refletância das folhas do algodoeiro devido a menor retenção de água resultar em alta reflexão das bandas de água.

Corroborando o efeito de diluição das plantas que foi observado no presente estudo, aos 82 DAE, onde o maior índice clorofila SPAD foi encontrado no nível de irrigação de 50% da ETc. Esse fato se deu devido ao desenvolvimento reduzido da planta por ocasião do déficit hídrico, prejudicando a expansão celular, ocorrendo concentração do teor de nutriente na planta. Esse fato pode ter contribuído para o aumento do índice de clorofila SPAD em baixo suprimento hídrico.

Motomiya et al. (2014) também observaram efeito de diluição no algodoeiro aos 80 DAE inversamente proporcional ao encontrado no presente estudos, sendo que a maior dose de N (150 kg ha^{-1}) proporcionou menor teor de nitrogênio na folha, devido ao maior crescimento da planta nessa dose.

Muharam et al. (2014) observaram que, no ano de estudo que houve maior precipitação, a resposta do algodoeiro à adubação nitrogenada foi maior, e o índice de clorofila SPAD foi considerado um bom indiciador de nitrogênio na planta, não diferindo dos outros indicadores.

4.2 Variáveis de pós-colheita

As variáveis de produção apresentaram diferença significativa para o modelo de superfície de resposta, não apresentando diferença significativa para a falta de ajuste (“Lack of fit"), confirmando que o modelo de superfície de resposta pode ser usado para explicar o comportamento da variáveis de pós colheita, exceto para o rendimento de fibra, que não apresentou diferença significativa tanto para o modelo de superfície de resposta como para a análise de regressão.

Não houve diferença significativa para a interação entre os fatores adubação nitrogenada e irrigação para as variáveis estudadas. Porém, pode-se observar ajuste ao modelo de superfície de resposta com efeitos quadrático e linear (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância do modelo de superfície de resposta para as variáveis de pós-colheita, no ano de 2017 e 2018. NC = número de capulhos por planta; PC = peso do capulho em g; PAC = produtividade do algodão em caroço em kg ha^{-1}; PAP = produtividade do algodão em pluma em kg ha^{-1}; RF = rendimento da fibra (%); MSPA = massa seca da parte aérea em kg ha^{-1}; EUA = eficiência no uso da água em kg ha^{-1} mm^{-1}; AF = área foliar.

Ano de cultivo	Variável	Fontes de variação (Quadrados médios)			
		FO	TWI	PQ	Lack of fit
2017	NC	5,19**	$0,12^{ns}$	1,99*	$0,55^{ns}$
	PC	0,83**	$0,07^{ns}$	$0,16^{ns}$	$0,03^{ns}$
	PAC	211223**	2013^{ns}	32751^{ns}	28612^{ns}
	PAP	200,96*	$0,23^{ns}$	$57,27^{ns}$	8978*
	RF	$74,76^{ns}$	$124,50^{ns}$	$26,94^{ns}$	$25,19^{ns}$
	MSPA	217650**	443^{ns}	36775^{ns}	26686^{ns}
	EUA	2,93**	$0,01^{ns}$	$0,11^{ns}$	$0,39^{ns}$
2018	PC	0,57**	$0,04^{ns}$	0,43**	$0,09^{ns}$
	PAC	2531605**	18108^{ns}	283512^{ns}	196319^{ns}
	PAP	506343**	28094^{ns}	28094^{ns}	36606^{ns}
	RF	$3,09^{ns}$	$0,04^{ns}$	$1,79^{ns}$	$0,66^{ns}$
	MSPA	14883175^{ns}	3009509^{ns}	2519870^{ns}	5539307^{ns}
	EUA	$0,01^{ns}$	$0,02^{ns}$	$0,02^{ns}$	$0,02^{ns}$
	AF	395753**	26190^{ns}	38523**	11981^{ns}

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; * significativa a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo a 5% de probabilidade de erro. DAE: dias após a emergência; FO: primeira ordem; TW: interação; PQ: puramente quadrático.

A variável produtividade de algodão em caroço, produtividade de algodão em pluma, massa seca da parte aérea e eficiência no uso da água não atenderam aos critérios de seleção do modelo que superfície de resposta, sendo estudado analise da

regressão de forma isolada e interação, para o algodoeiro cultivado no ano de 2017 (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância da regressão de variáveis pós-colheita produtividade do algodão em caroço e pluma, peso de capulho, eficiência no uso da água, no ano de cultivo de 2017.

Ano de cultivo	Variáveis	Fontes de variação (Quadrados médios)		
		I	N	I x N
2017	Produtividade do algodão em caroço	108702**	135272**	21962^{ns}
	Produtividade do algodão em pluma	34901**	26131**	7630^{ns}
	Peso de capulho	0,99478*	0,0001^{ns}	0,03803^{ns}
	Eficiência no uso da água	0,10312^{ns}	2,9384**	0,29802^{ns}

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; * significativa a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo a 5% de probabilidade de erro. DAE: dias após a emergência; I: irrigação; N: adubação nitrogenada; I x N: interação.

4.2.1 Número de capulhos por planta

Com relação ao número de capulhos por planta, pode-se observar comportamento linear crescente, com ponto estacionário de 150% da ETc para a irrigação e 200% de N (310 kg ha^{-1}) para a adubação que proporcionaram 5,15 capulhos por planta, com incremento de 31,80%, no ano de 2017 (Figura 29).

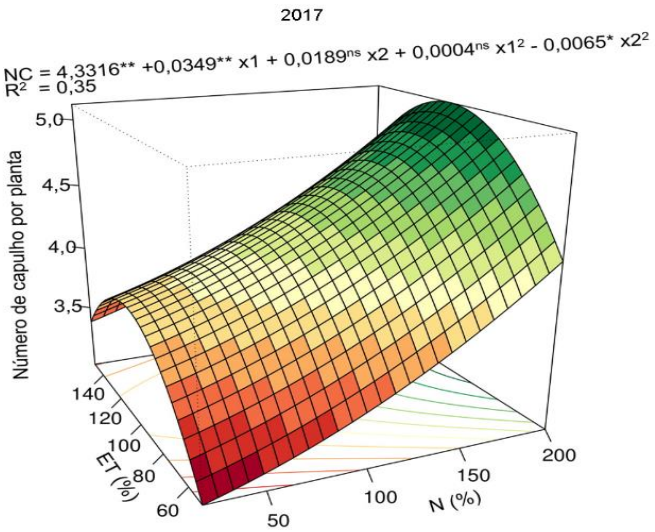


Figura 29. Número de capulhos por planta apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), no ano de 2017. NC – número de capulhos por planta. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

A autorregulação de plantas de algodoeiro proporciona condições para que a planta possa ajustar a quantidade e peso dos capulhos conforme a disponibilidade hídrica e adubação (ZHANG et al., 2016). Dong et al. (2010) ao estudarem o comportamento do algodoeiro irrigado sob densidade de planta, adubação nitrogenada e potássica, observaram que a adubação nitrogenada aumentou o número e peso de capulho, independente da adubação potássica e densidade de planta.

Singh et al. (2010), em estudos na Índia sobre os efeitos da adubação nitrogenada e irrigação no algodoeiro, observaram que o maior nível de adubação nitrogenada (200 kg ha^{-1}) e de irrigação (100% ETc) produziram capulhos de maior quantidade e peso de capulho por planta.

Ertek e Kanber (2003) em estudos com algodão irrigado por gotejamento na Turquia observaram que com o aumento da disponibilidade de água através da irrigação, houve um aumento no número de capulhos por planta.

Cetin e Bilgel (2002) em estudos com algodoeiro irrigado por diferentes métodos na Turquia, observaram que a irrigação por gotejamento proporcionou maior número de capulhos por planta de 12 a 23 capulhos.

4.2.2 Peso do capulho

O peso de capulho foi influenciado pelos fatores irrigação e adubação nitrogenada, apresentando ponto estacionário o nível de irrigação de 150% da ETc e adubação nitrogenada de 200% de N (310 kg ha^{-1}), proporcionando maior peso de capulho de 5,13 g, no cultivo do ano de 2018(Figura 30).

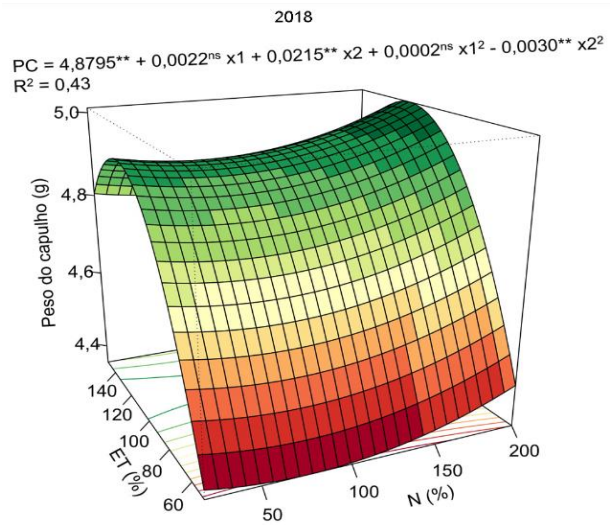


Figura 30. Peso do capulho apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), no ano de 2018. PC – peso do capulhos. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

A variável peso do capulho, não atendendo aos critérios para a aceitação do modelo de superfície de resposta, sendo estudada a análise da regressão no cultivo do ano de 2017, apresentando diferença significativa de forma isolada para irrigação, com comportamento linear crescente onde o maior peso do capulho de 3,56 g foi obtido com irrigação de 150% da ETc (Figura 31).

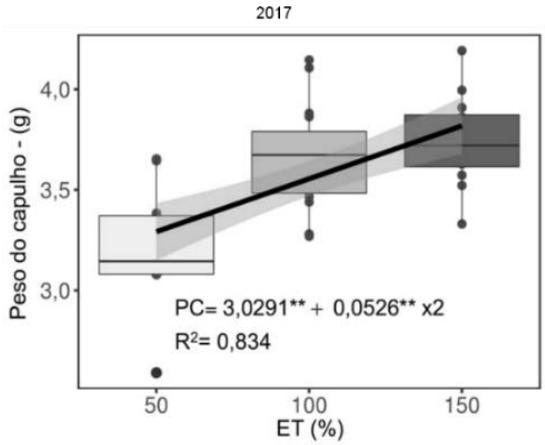


Figura 31. Peso do capulho para a irrigação x2 (ET). PC – peso do capulho, ET – irrigação e N – doses de nitrogênio no ano de 2017. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

No cultivo do algodoeiro no ano de 2017, foi registrado um severo ataque de pragas na área experimental do estudo, com alto índice de infestação de pragas conhecidas como trípes (*Frankliniella schultzei*) e mosca branca (*Bemisia tabaci*) na fase inicial da cultura, prejudicando seu desenvolvimento. Além das pragas de início de ciclo, houve também alta taxa de ataque do bicudo-do-algodoeiro. Esse fato refletiu principalmente nas variáveis de produção que apresentaram índices relativamente menores com relação aos observados no cultivo do ano de 2018.

De acordo com Rosolem (2001) os eventos climáticos, ataques de pragas ou até mesmo doenças podem afetar o desenvolvimento da planta, refletindo na diminuição do seu potencial produtivo. Santos (2018) relatou que o bicudo-do-algodoeiro é a principal praga da cultura, chegando a alcançar prejuízos de 10% da produção total do algodão.

A adubação nitrogenada proporcionou aumento no peso do capulho devido o maior nível de nitrogênio aumentarem as taxas fotossintéticas, levando ao maior acúmulo de assimilados, resultando em maior peso de capulho em comparação aos tratamentos com menor adubação nitrogenada. Estudos com efeitos do manejo de fertilizantes em algodão irrigado no noroeste da China, observaram que o tratamento com 250 kg ha^{-1} de N proporcionou um incremento de 15% no peso de capulho (Devkota et al., 2013).

Jayakumart et al. (2015) em estudos na Índia com fertirrigação por gotejamento no algodoeiro, observaram que o tratamento de fertirrigação de 150% de NPK da dose recomendada (90-45-45 kg ha^{-1}) proporcionou maior peso de capulho de 4,94 g, com relação aos demais tratamentos.

Zonta et al. (2016), em estudos no semiárido brasileiro com adubação nitrogenada e irrigação por gotejamento, observaram que o maior nível de adubação (210 kg ha^{-1}) e irrigação (130% ETc) proporcionaram maior peso de capulho.

Cetin e Bilgel (2002) relatam que as condições com maior disponibilidade de água, nutrientes e insolação proporcionam maior quantidade de assimilados influenciando na produção do algodão, como maior número e peso de capulhos.

4.2.3 Produtividade do algodão em caroço

A produtividade do algodão em caroço apresentou comportamento com efeito linear crescente, em que a maior produtividade do algodão em caroço de 2176,30 kg ha^{-1} com ponto estacionário de 200% de N (310 kg ha^{-1}) e 150% da ETc, para o algodoeiro cultivado no ano de 2018 (Figura 32).

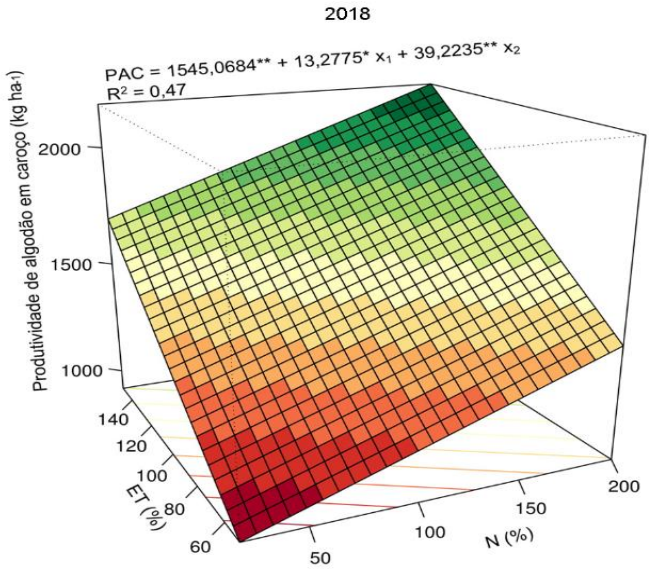


Figura 32. Produtividade de algodão em caroço apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), no ano de 2018. PAC – produtividade de algodão em caroço. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

A produtividade do algodão em caroço cultivado no ano de 2017 apresentou diferença significativa de forma isolada para a irrigação e adubação nitrogenada. A irrigação apresentou comportamento quadrátrico onde o nível de 110% da ETc proporcionou maior produtividade de 469,34 kg ha^{-1}. Para a adubação nitrogenada pode-se observar comportamento lineare crescente, em que a maior adubação 200% de N (310 kg ha^{-1}) proporcionou maior produtividade de 514,14 kg ha^{-1} (Figura 33).

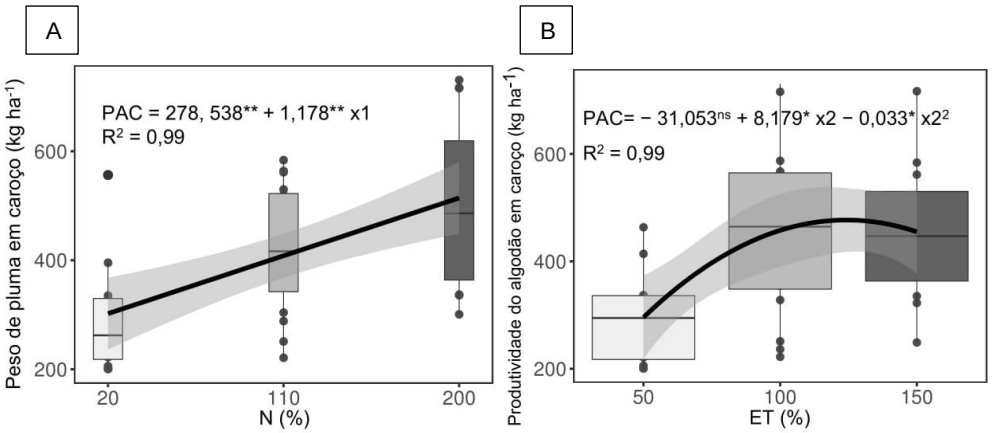


Figura 33. Produtividade do algodão em caroço adubação nitrogenada x1 (N) (A) e irrigação x2 (ET) (B), no ano de 2017. PAC – produtividade do algodão em caroço. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

A produtividade do algodão em caroço nos dois anos de cultivo foram abaixo da estimativa da safra de 2017/2018 para o estado de Mato Grosso (4147,00 kg ha^{-1}) e do Brasil (4267,00 kg ha^{-1}) (CONAB, 2019). Essa baixa produtividade pode ser associada ao alto ataque de pragas na fase inicial de desenvolvimento e na fase reprodutiva no cultivo do ano de 2017, e aos dias nublados no mês de julho coincidindo com o período de floração, no cultivo do ano de 2018.

A baixa luminosidade no período de floração acarreta em menor atividade fotossintética em consequência ocorre a redução na produção de carboidratos levando ao abortamento das estruturas reprodutivas que é regulado pelo relação entre o conteúdo de auxina e ácido abscísico (ECHER & ROSOLEM, 2014).

Além da luminosidade, a água e o nitrogênio participam de processos fundamentais para o desenvolvimento da planta, influenciando diretamente de forma positiva no rendimento da cultura quando disponibilizados em quantidades adequadas (SOUZA et al., 2008). A irrigação e a adubação nitrogenada aumentaram a

produtividade do algodão em caroço de forma expressiva, apresentando incremento de 58,01% para o ano de 2018 em comparação ao algodoeiro cultivado no ano de 2017.

Singh et al. (2010), em estudos realizados na Índia, também encontraram diferença significativa para a interação dos fatores adubação nitrogenada e irrigação, onde os tratamentos com maior irrigação (100% ETc) e adubação nitrogenada (200 kg ha^{-1} de N) obteve a produção máxima de 3686 kg ha^{-1} de algodão em caroço.

Wang et al. (2018) em estudos com algodão fertirrigado na China, observaram que a maior produtividade de algodão em caroço foi obtido no tratamento com maior nível de irrigação de 100% ETc e adubação 300-120-60 kg ha^{-1} de N-P_2O_5-K_2O.

Oweis et al. (2011) em estudos na Síria com algodoeiro sob níveis de irrigação e adubação nitrogenada, observaram que a máxima produtividade de algodão em caroço foi obtida no maior nível de irrigação de 100% da ETc e 200 kg ha^{-1} de nitrogênio.

Zonta et al. (2016) em estudos no semiárido brasileiro com adubação nitrogenada e irrigação por gotejamento no algodoeiro herbáceo observaram que o maior nível de adubação nitrogenada (210 kg ha^{-1}) e irrigação (130% da ETc) proporcionaram maior produtividade de algodão em caroço de 5707 kg ha^{-1}.

4.2.4 Produtividade do algodão em pluma

A produtividade do algodão em pluma apresentou comportamento linear crescente com ponto estacionário de 200% de N (310 kg ha^{-1}) e 150% da ETc, correspondendo a 995,43 kg ha^{-1} de produtividade do algodão em pluma, para o algodoeiro cultivado no ano de 2018 (Figura 34).

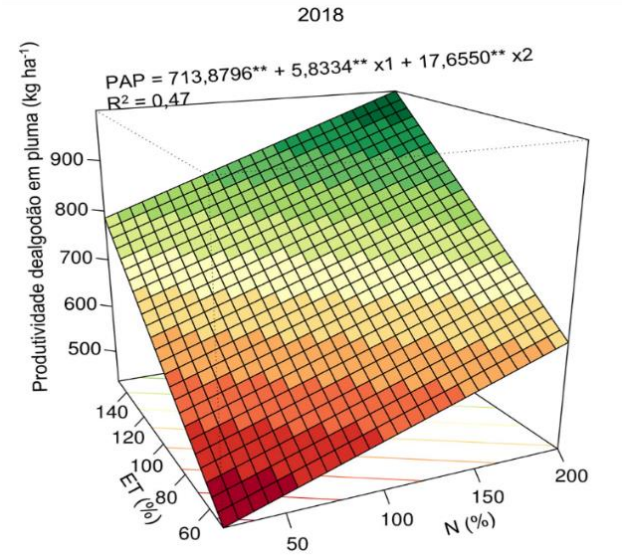


Figura 34. Produtividade de algodão em pluma apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), no ano de 2018. PAP – produtividade de algodão em pluma. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

Devido a produtividade do algodão em pluma não atender aos critérios de aceitação do modelo de superfície de resposta para os dados obtidos no cultivo do algodoeiro no ano de 2017, foi analisado a ANOVA da regressão e seus efeitos de forma isolada e interação (Anexo 4).

A variável apresentou diferença significativa de forma isolada para a adubação nitrogenada e irrigação, no ano de 2017. A adubação nitrogenada ajustou-se ao modelo linear com maior produtividade de algodão em pluma de 241,13 kg ha^{-1} para a adubação de 200% de N (310 kg ha^{-1}). A irrigação ajustou-se ao modelo quadrático, com produtividade de 234 kg ha^{-1} para a irrigação de 110% da ETc (Figura 35).

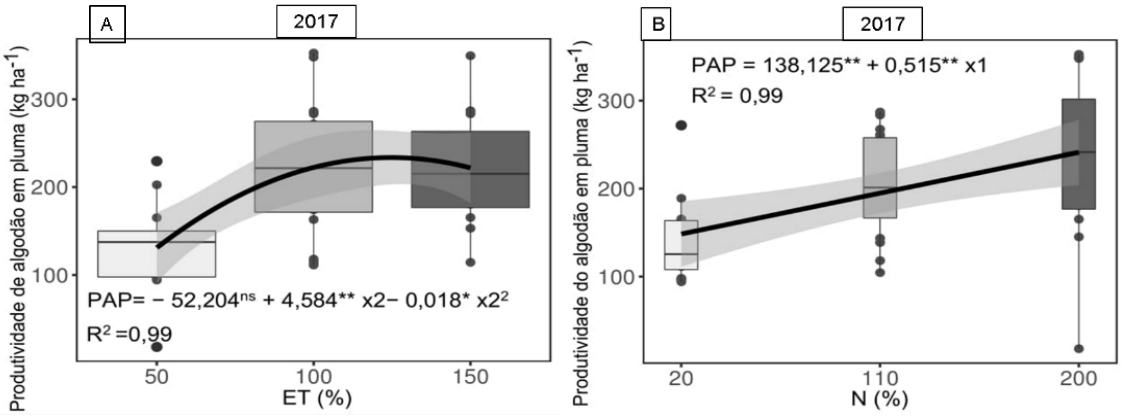


Figura 35. Produtividade do algodão em função da adubação nitrogenada (x1) N e irrigação (x2) ET. PAP – produtividade do algodão em caroço, ET – irrigação e N – adubação nitrogênada no ano de 2017. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

Estudos mostram que a absorção de nitrogênio e disponibilidade hídrica possuem alta relação com a produtividade do algodão. Li et al. (2010) encontram que a maior produção de algodão em pluma foi obtida com a adubação nitrogenada de 240 kg ha^{-1}, abaixo do encontrado no presente estudo, que foi de 310 kg ha^{-1}.

Stamatiadis et al. (2016), em estudos na Grécia com adubação nitrogenada e irrigação no algodoeiro, observaram que a maior disponibilidade de irrigação (40 cm) e adubação nitrogenada de 200 kg ha^{-1} proporcionaram 1600 kg ha^{-1} de algodão em pluma. Rochester (2011), ao estudar a eficiência do uso do nitrogênio em algodoeiro irrigado na Austrália chegou a valor de 247 kg ha^{-1}de N produzindo 2273 kg ha^{-1} de algodão em pluma.

4.2.5 Rendimento de fibra

O rendimento da fibra não atendeu aos critérios para aceitação do modelo de superfície de resposta como forma de explicar o comportamento da variável e não apresentou diferença significativa para a análise de regressão polinomial nos dois anos de cultivo (Figura 36).

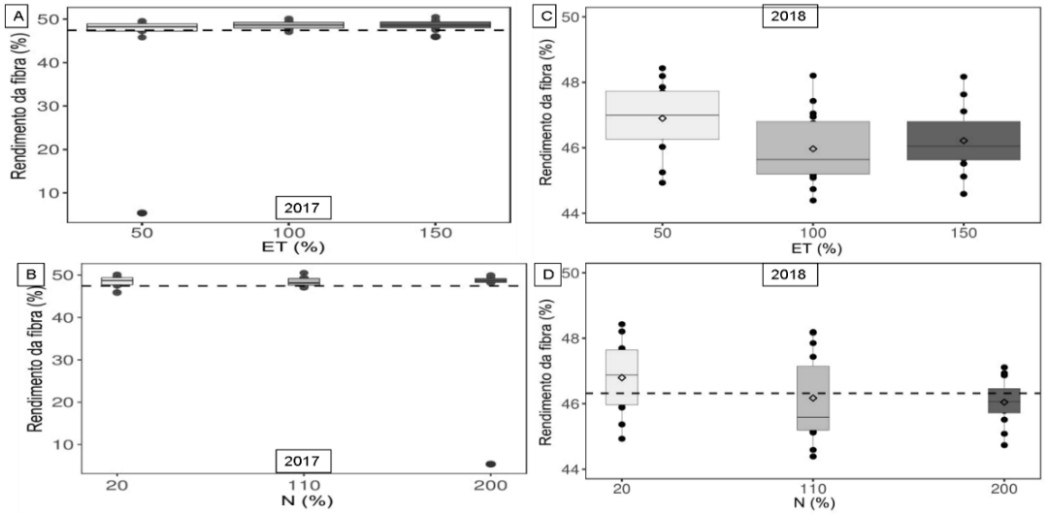


Figura 36. Rendimento da fibra em função da irrigação e adubação nitrogenada.

Rosolem (2001) relata que o rendimento da fibra de algodão pode ser afetado pelos fatores climáticos, ataques de pragas e doenças, prejudicando o desenvolvimento do algodoeiro o que pode levar a baixa produtividade. Esses fatos podem estar relacionado a não diferença significativa do rendimento da fibra nos dois anos de cultivo, em que no ano de 2017 houve alto índice de ataques de pragas e em 2018 registrou-se períodos de baixa temperatura no mês de julho coincidindo com o período de floração.

Porém mesmo o rendimento de fibra não apresentando diferença significativa para os tratamentos, pode-se observar que os tratamentos com irrigação e adubação nitrogenada proporcionaram rendimento de fibra médio de 46%, valor esse acima do indicado pelo fornecedor que é de 43,5%.

Esse resultado evidência que a adequada disponibilidade de água e nitrogênio, no decorrer do ciclo da cultura, acarreta em ganhos no rendimento da fibra, pois mesmo no tratamento com baixa disponibilidade hídrica (50% ETc) não houve períodos de restrição hídrica, por ser um experimento irrigado, ou seja, mesmo o baixo fornecimento de água sem que haja períodos de seca, com o os veranicos, pode proporcionar aumento no rendimento da fibra.

Ao contrário do cultivo em sequeiro, onde a disponibilidade hídrica depende da precipitação pluviométrica, podendo coincidir os veranicos com períodos críticos de demanda por água afetando a produção e rendimento da fibra.

Wang et al. (2016) em estudos sobre o efeito da seca com relação a qualidade e rendimento de fibra do algodoeiro observaram que a disponibilidade hídrica a 5% da capacidade de campo proporcionou redução no rendimento e qualidade da fibra.

Chastain et al. (2014) em estudos com algodoeiro irrigado e sequeiro em dois anos de cultivos, observaram que no ano em que houve maior precipitação pluviométrica não houve diferença significativa para o rendimento da fibra entre o cultivo de sequeiro e irrigado. Já no ano que houve menor precipitação observaram que o cultivo irrigado apresentou maior rendimento de fibra.

4.2.6 Massa seca da parte aérea

A variável massa seca de parte aérea apresentou comportamento linear crescente para os dois anos de cultivo do algodoeiro. A adubação de 200% de N (310 kg ha^{-1}) e irrigação de 150% da ETc, correspondeu a massa seca da parte aérea do algodoeiro herbáceo de 698,92 kg ha^{-1} e 6823,91 kg ha^{-1}, respectivamente no cultivo no ano de 2017 e 2018 (Figura 37).

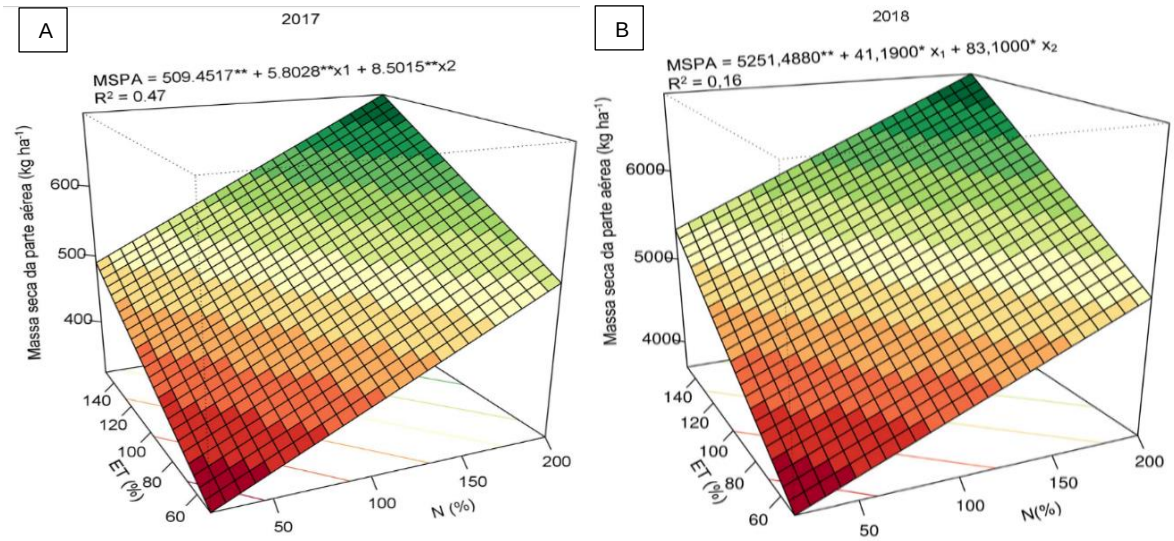


Figura 37. Massa seca da parte aérea do algodoeiro herbáceo apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), no ano de cultivo de 2017 (A) e 2018 (B). MSPA – massa seca da parte aérea. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

A alta disponibilidade de irrigação e nitrogênio para o algodoeiro pode estimular o crescimento vegetativo, acarretando em maior biomassa (ROSOLEM e BOGIANI, 2014).

Stamatiadis et al. (2016) também observaram que houve aumento de biomassa seca no maior nível de irrigação, ressaltando que a medida que ocorre redução na disponibilidade hídrica há uma diminuição linear na biomassa seca do algodoeiro, conforme observado no presente estudo.

Wang et al. (2018) também encontraram efeito significativo para a interação entre a irrigação e a adubação nitrogenada no acúmulo de matéria seca do algodoeiro, onde o maior nível de irrigação de 100% ETc e adubação de 300 kg ha^{-1} N proporcionaram o maior acúmulo de matéria seca, com decréscimo a medida que diminuem ou aumentam o nível dos fatores.

Thind et al. (2008) observaram que a adubação nitrogenada em algodoeiro irrigado proporcionou acréscimo na biomassa seca, onde com a diminuição da adubação houve decréscimo no acúmulo de biomassa.

Yang et al. (2012) relatam que com a medida que a planta de algodão cresce um houve acúmulo de biomassa, mesmo com diferença entre os tratamentos com nitrogênio, variando o máximo acúmulo de biomassa conforme a aplicação do nutriente em razão das fases da cultura.

4.2.7 Área foliar

A variável área foliar ajustou-se ao modelo quadrático, onde o ponto estacionário foi de 198% de N para a adubação nitrogenada e 148% ETc para a irrigação proporcionou maior área foliar de 942,45 cm^2 $planta^{-1}$ de algodoeiro herbáceo (Figura 38).

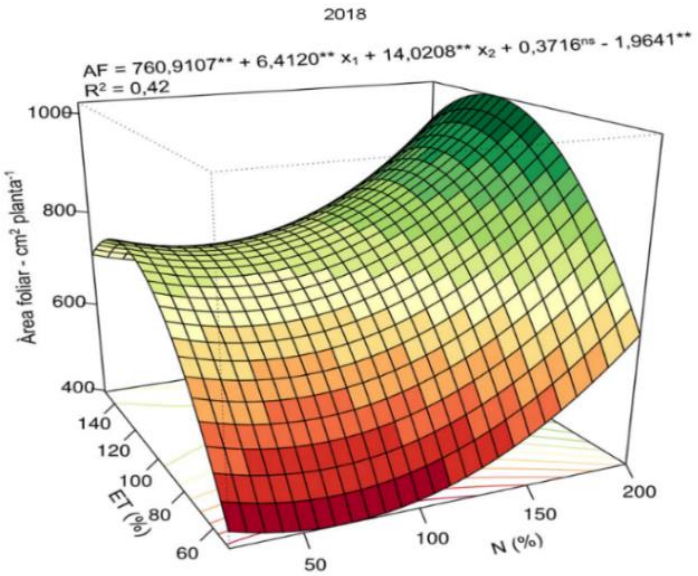


Figura 38. Área foliar apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), ano de 2018. AF – área foliar. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

Taiz et al. (2017) relatam que a disponibilidade hídrica é um dos fatores limitantes que afetam a área foliar, onde a baixa umidade disponível no solo para as plantas acarretará em menor divisão e expansão celular ocasionando menor área foliar. Stewart et al. (2010) também relatam que a área foliar diminui conforme a diminuição da disponibilidade de água.

Zhang et al. (2016) observaram incremento de 10,9% na área foliar do algodoeiro em irrigação por saturação. Papastylianou e Argyrokastritis (2014) observaram efeitos da irrigação na área foliar do algodoeiro relatando reduções de 38% com déficit de irrigação.

Além da disponibilidade hídrica, o nitrogênio também exerce papel importante no comportamento da área foliar. Stewart et al. (2010) relatam que a deficiência de nitrogênio pode influenciar na área foliar, sendo que a deficiência de nitrogênio diminui a expansão do caule e folhas, obtendo uma planta de menor tamanho ocasionando em menor atividade fotossintética devido a menor área de captação de luz.

Lemaire et al. (2007) em estudos sobre a relação da absorção de nitrogênio com a área foliar e biomassa, observaram que o girassol e canola apresentaram aumento na taxa de absorção de nitrogênio com a expansão da área foliar.

Chen et al. (2018) em estudos com algodão irrigado e adubado com nitrogênio observaram que a irrigação proporcionou um aumento na área foliar quando comparado com o tratamento sem irrigação no mesmo nível de adubação nitrogenada.

4.2.8 Eficiência no uso da água

A eficiência no uso da água (EUA) apresentou comportamento linear crescente com ponto estacionário da adubação nitrogenada de 200% de N (310 kg ha^{-1}) e irrigação de 150% da ETc, proporcionando EUA de 10,70 kg ha^{-1} mm^{-1}, para o cultivo do algodoeiro no ano de 2018 (Figura 39). Essa adubação e irrigação seria recomendada para obter-se a maior eficiência no uso da água para o algodoeiro herbáceo.

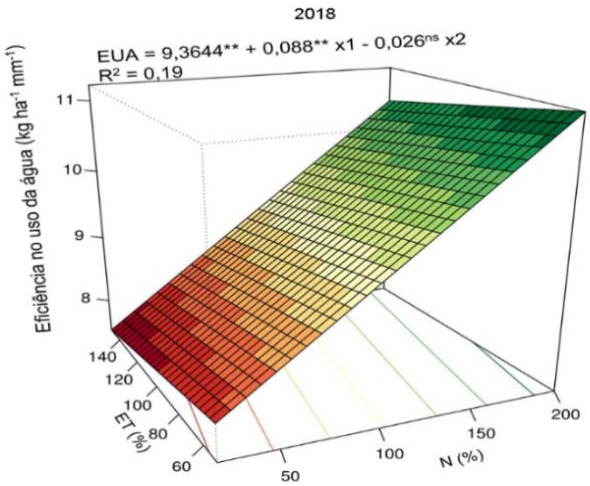


Figura 39. Eficiência no uso da água apresentado pelo modelo de superfície de resposta em escala modificada para adubação nitrogenada x1 (N) e irrigação x2 (ET), no ano de 2018. EUA – eficiência no uso da água. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

Para a eficiência no uso da água do algodoeiro cultivado no ano de 2017, foi analisada regressão polinomial, devido a variável não atender aos critérios de seleção do modelo de superfície de resposta (Anexo 4). A eficiência no uso da água apresentou diferença significativa de forma isolada para a adubação nitrogenada,

ajustando-se ao modelo linear crescente, com adubação de 200% de N (310 kg ha^{-1}) correspondendo a eficiência no uso da água de 2,30 kg ha^{-1} mm^{-1} (Figura 40).

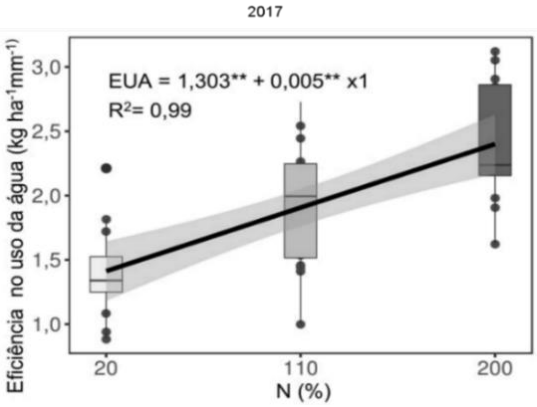


Figura 40. Eficiência no uso da água em função da adubação nitrogenada (x1) N. EUA – eficiência no uso da água e N – adubação nitrogenada no ano de 2017. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Janat (2008) estudando o comportamento do algodão em resposta a adubação nitrogenada e métodos de irrigação na Síria, observaram que a fertirrigação por gotejamento proporcionou maior eficiência no uso da água com relação a irrigação por sulco. A adubação nitrogênio não influenciou na eficiência no uso da água, ao contrário do presente trabalho que a adubação de 200% de N recomendado (310 kg ha^{-1}) proporcionou maior eficiência no uso da água.

Thind et al. (2012) em estudos sobre a adubação nitrogenada e métodos de semeadura com algodoeiro fertirrigado na Índia, observaram que a semeadura com espaçamento normal de fileira dupla e adubação nitrogenada de 100% N recomendado (150 kg ha^{-1}) via fertirrigação por gotejamento proporcionou aumento de 3,78 e 7,24 kg ha^{-1} mm^{-1} em dois anos de estudo, em comparação ao método de irrigação por superfície.

Ünlü et al. (2008) encontraram maiores valores de eficiência no uso da água de 6,6 e 6,5 kg $ha^{-1}mm^{-1}$ para irrigação de 50 e 70% da ETc, no experimento com algodão irrigado por gotejamento no Peru.

4.2.9 Variáveis industriais HVI

O algodão é um produto de origem vegetal que apresenta caraterísticas multiformes, sendo necessário à sua padronização e classificação para obterem melhores requisitos para determinar sua qualidade auxiliando no processo de comercialização. Assim, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento através da legislação de produtos vegetais apresentam normas de padronização e classificação da fibra a serem seguidas antes da comercialização do produto (LIMA, 2018).

As características de qualidade da fibra do presente estudo não foram influenciadas pela irrigação e adubação nitrogenada. Na tabela 10 estão apresentados os valores médios referentes as características de HVI obtidos pela variedade TMG 47 B2 RF cultivada em área experimental e obtidos no Estado de Mato Grosso na safra de 2015/2016 (Tabela 10).

Tabela 10. Resultados médios das características HVI da área experimental cultivado com algodoeiro herbáceo sob irrigação e adubação nitrogenada na UFMT, *Campus* Rondonópolis. LEN = comprimento da fibra (mm); UNF= uniformidade de comprimento (%); STR = resistência específica (gf/tex); ELG = alongamento a rotura (%); MIC = micronaire; RD = grau de reflectância (valor de luminosidade e da cor branca refletida pelas fibras de algodão em %); +B = grau de amarelecimento; MAT = índice de maturidade; SCI= índice de consistência da fiação; SFI = índice de fibras curtas (%).

ETc (%)	LEN	UNF	STR	ELG	MIC	RD	+B	MAT	SCI	SFI
50	27,3	81,8	25,2	5,6	4,1	82,7	9,1	86	117,6	9,9
100	27,7	82	25,6	5,4	4,1	82,7	8,9	86	121,1	9,6
150	27,9	81,9	25,7	5,3	4	83	8,9	85,9	121,6	9,5
AN (%)										
20	28	82,2	25,7	5,6	4,2	82,8	8,8	86,3	120,3	9,1
110	27,9	82,2	25,8	5,5	3,9	83,2	8,9	85,7	124,3	9,5
200	28,1	82,2	25,8	5,5	3,9	82,8	9	85,7	124,8	9,3
Safra 2015/2016										
Mato Grosso(1)	29,58	82,71	31,54	6,93	4,05	75,96	7,98	-	141	9,11

(1) Fonte: Belot et al. (2017). ETc: nível de irrigação; AN: adubação nitrogenada.

Os resultados médios de qualidade da fibra do presente trabalho ficaram a baixo dos resultados médios obtidos por Belot et al. (2017), com exceção do micronaire (MIC), grau de reflectância (RD), grau de amarelecimento (+B) e índice de fibras curtas (SFI).

Durante a condução do experimento nos dois anos de cultivo, foram registrados dias nublados e baixas temperaturas nos meses de junho e julho, coincidindo com a fase de floração. Esse fato provavelmente influenciou na faixa adequada de luminosidade e temperatura para o melhor desenvolvimento do algodoeiro, refletindo na qualidade da fibra.

As baixas temperaturas principalmente as noturnas, influenciam na deposição da celulose de forma irregular devido à redução da atividade enzimática ou aumento da respiração noturna prejudicando o enchimento da fibra, devido ao processo de respiração consumir carboidratos que seriam destinados para o desenvolvimento da fibra, acarretando em fibra de menor qualidade (ECHER et al, 2018).

5 CONCLUSÃO

A adubação nitrogenada e irrigação influenciaram nas características vegetativas e reprodutivas do algodoeiro herbáceo, cultivado a campo em Latossolo Vermelho, com exceção das variáveis industriais que não foram influenciadas pelos fatores.

A adubação nitrogenada e irrigação proporcionaram rendimento de fibra maior que o valor médio esperado para a cultivar TMG 47 B2 RF.

A adubação nitrogenada recomendada (155 kg ha^{-1}) é indicado para o cultivo do algodoeiro, devido o aumento adubação não proporcionar maior qualidade de fibra.

A irrigação de 100% da ETc é recomendada para o cultivo do algodoeiro, devido o aumento da irrigação não proporcionar ganhos na qualidade da pluma, evitando-se a irrigação excedente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPA, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE ALGODÃO. **A cadeia produtiva do algodão brasileiro:** Desafios e Estratégias. Organizadores: Marcos Fava Neves e Mairun Junqueira Alves Pinto. Brasília. 2013.

ABRAPA, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE ALGODÃO. **Algodão no mundo**. Disponível em: <http://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>. Acesso: 10 de dez 2017.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. FAO – Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy. 1998, 297 p.

ALMEIDA, E. S. A. B.; PEREIRA, J. R; AZEVEDO, C. A. V.; ARAÚJO, W. P.; ZONTA, J. H.; LIMA, R. F. Algodoeiro herbáceo submetido a déficit hídrico: Qualidade da fibra. **Revista Agropecuária Cientifica no Semiárido**, Campina Grande, p. 251-257.

ALVES, J. F. **Uma perspectiva histórica da indústria têxtil a partir do vale do Ava**. 1999. Disponível em:< http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/1188.pdf>. Acesso em 06 de dez 2017.

AMORIM, J. R. A.; RESENDE, R. S.; HOLANDA, J. S.; FERNANDES, P. D. **Uso e manejo da irrigação**. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica. 2008.

AMPA - ASSOCIAÇÃO MATOGROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. **História do Algodão**, 2012. Disponível em:< http://www.ampa.com.br/site/qs_historia.php>. Acesso em 09 de nov 2017.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2017.

ANA & EMBRAPA. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil – 2014**: Relatório síntese. Brasília: ANA, 2016. 33 p.

AQUINO, L. A.; BERGER, P. G.; OLVEIRA, R. A.; NEVES, J. C. L.; LIMA, T. C.; BATISTA, C. H. Parcelamento do fertilizante fosfatado no algodoeiro em sistema de cultivo irrigado e de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 463-470, 2011.

BATISTA, C. H.; AQUINO, L. A.; SILVA, T. R. Crescimento e produtividade da cultura do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 4, p. 197-206, 2010.

BELOT, J.L; VILELA, P. M. C. A.; GALBIERI, R.; DUTRA, S. **Variedades comerciais e pré-comerciais de algodão para o Mato Grosso: síntese de resultados agronômicos e de qualidade de fibra obtidos pelo IMAmt até a safra 2015/16**. Cuiabá, MT: Instituto Mato-grossense do Algodão, 2017. 24p. 2017. (IMAmt, Circular Técnico, 28).

BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P.; BRITO, G. G.; CARDOSO, G. D. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 569p., 2008.

BOGIANI, J. C.; ROSOLEM, C. A. Nutrição e estresses nutricionais em algodoeiro. . In: ROSOLEM, C. A.; KAWAKAMI, E. M.; CHIAVEGATO, E. J.; ECHER, F. R.; BRITO, G. G.; CARVALHO, H. DA R.; SNIDER, J. L.; BOGIANI, J. C.; BERNARDES, M. S.; YEATES, S. **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. Embrapa Agropecuária Oeste. Cuiabá-MT, p. 103-121, 2014.

BRANDÃO, Z. N; INAMASU, R.; RESENDE, A. V. Agricultura de precisão e cultivo algodoeiro. **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. Editor técnico: Jean-Louis Belot. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2015. p 66-79.

BRITO, G. G. Parâmetros fisiológicos para seleção de cultivares tolerantes ao déficit hídrico. In: ECHER, F. R. **O algodoeiro e os estresses abióticos**: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá: IMAmt, 2014.

BRITO, R. A. L; PINTO, J. M. Aplicação de produtos químicos via irrigação (quimigação). **Uso e manejo de irrigação**. Editores técnicos: Paulo Emílio Pereira de Albuquerque e Frederico Ozanan Machado Durães. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p 423-447.

CAMACHO, M. A.; MARCANTE, N. C.; SANTOS, R. C. RUIZ, J. G. C. L.; ECCO, M.; PAREDES JÚNIOR, F. P.; SCHIAVO, J. A. Absorção de nitrogênio pelo algodoeiro em dois sistemas de cultivo**. Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 51-58, 2013.

CARVALHO. L. P. Contribuição do melhoramento ao cultivo do algodão. **O agronegócio do Algodão no Brasil**. Editores técnicos: Napoleão Esberard de Macedo Beltrão e Demostenes Marcos Pedrosa de Azevedo. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p 271-297.

CETIN O.; BILGEL, L. Effects of different irrigation methods on shedding and yield of cotton. **Agricultural Water Management**, v. 54, i. 1, p. 1-15, 2002.

CHASTAIN, D. R.; SNIDER, J. L.; COLLINS, G. D.; PERRY, C. D.; WHITAKER, J.; BYRD, S. A. Water deficit in field-grown Gossypium hirsutum primarily limits net photosynthesis by decreasing stomatal conductance, increasing photorespiration, and increasing the ratio of dark respiration to gross **photosynthesis. Journal of Plant Physiology**, v. 171, i. 17, p. 1576-1585, 2014.

CHEN, Z.; XIA, J.; MA, H.; WANG, Y.; GAO, H.; KONG, X.; LUO, H. Presowing fertigation effects on soil moisture absorption and consumption of cotton in arid regions. **Agricultural Water Management**, v. 210, p. 130-139, 2018.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: v. 5 – safra 2017/18 – n. 1 – Primeiro levantamento, outubro 2017. Brasília, p. 119.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: v. 6 – safra 2018/19 – n. 7 – Sétimo levantamento, abril 2019. Brasília, p. 150.

DEVKOTA, M.; MATIUS, C.; LAMERS, J. P. A.; SAYRE, K. D.; DEVKOTA K. P.; VLEK, P. L. G. Tillage and nitrogen fertilization effects on yield and nitrogen use efficiency of irrigated cotton. **Soil and Tillage Research**, v. 134, p. 72-82, 2013.

DJUMAEVA, D.; LAMERS, J. P. A.; MARTIUS, C.; VLEK, P. L. G. Chlorophyll meters for monitoring foliar nitrogen in three tree species from arid Central Asia. **Journal of Arid Environment**, v. 85, p. 41-45, 2012.

DONG, H.; KONG, X.; LI, W.; TANG, W.; ZHANG, D. Effects of plant density and nitrogen and potassium fertilization on cotton yield and uptake of major nutrients in two fields with varying fertility. **Field Crops Research**, v. 119, i. 1, p. 106-113, 2010.

DU, X.; CHEN, B.; ZHANG, Y.; ZHAO, W.; SHEN, T.; ZHOU, Z.; MENG, Y. Nitrogen use efficiency of cotton (Gossypium hirsutum L.) as influenced by wheat–cotton cropping systems. **European Journal of Agronomy**, v. 75, p. 72-79, 2016.

ECHER, F. R. **O algodoeiro e os estresses abióticos**: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá: IMAmt, 2014.

ECHER, F.; ROSOLEM, C. A.; RAPHAEL, J. P. A. Desenvolvimento da planta e qualidade da fibra. In: BELOT, J. L. **Manual de qualidade da fibra da AMPA**. Instituto Mato-grossense do Algodão, Cuiabá/MT, p. 206-237.

ERTEK, A.; KANBER, R. Effects of different drip irrigation programs on the boll number and shedding percentage and yield of cotton**. Agricultural Water Management**, v. 60, i. 1, p. 1-11, 2003.

EVETT, S. R. BAUMHARDT, R. L.; IBRAGIMOV, N. M. Algodón. In: STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. (Ed.). **Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua**. Roma: Estudio FAO: Riego y drenaje 66, 2012. p. 161-168.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Irrigation, areas, irrigated crops, enveronment**. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/didyouknow/index3.stm#top>. Acesso em 09 set 2018.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Water scarcity**. Disponivel em:< http://www.fao.org/land-water/water/water-scarcity/en/>. Acesso em 22 ago 2018 A.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **WASAG - The Global Framework on Water Scarcity in Agriculture**. Disponivel em:< http://www.fao.org/land-water/overview/WASAG/en/>. Acesso em 22 ago 2018 B.

FEIBO, W.; LIANGHUAN, W.; FUHUA, X. Chlorophyll meter to predict nitrogen sidedress requirements for short-season cotton (Gossypium hirsutum L.). **Field Crops Research**, v. 56, p. 309-314, 1998.

FERNANDEZ, J. E.; CUEVAS, M. V. Irrigation scheduling from stem diameter variations: A review. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, i. 2, p. 135-151, 2010.

FERREIRA, A. C. B., LAMAS. F. M. **Manejo e instalação da cultura do algodão**. Campina Grande: EMBRAPA. Documento, 91. 2006.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P.P.; NOGUEIRA, D. A.; (2018). **ExpDes.pt**: Pacote Experimental Designs (Portuguese). R package version 1.2.0. https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt.

FREIRE, E. C. **Distribuição, coleta, uso e prevenção das espécies silvestres de algodão no Brasil**. Campina Grande: EMBRAPA Algodão. Documento, 78. 2000.

FREIRE, R. M. M. **Cultura do algodão herbáceo na agricultura familiar: Coprodutos do algodão**. Embrapa Sistema de produção. 3ª ed. 2014.

HUNSAKER, D. J.; FRANCÊS, A. N.; WALLER, P. M.; BAUTISTA, K. R.; BRONSON, K. F.; ANDRADE-SANCHEZ, P. Comparison of traditional and ET-based irrigation scheduling of surface-irrigated cotton in the arid southwestern USA. **Agricultural Water Management**, v. 159, p. 209-224, 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2006**. Rio de Janeiro, RJ. 2009.

IMAmt – INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO. **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. Editor técnico: Jena-Louis Belot. Cuiabá. 2015.

IMAmt – INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO. **O IMAmt**. 2018. Disponível em:< http://www.imamt.com.br/home/paginas/1/>. Acesso em 21 mar 2018.

JANAT, M. Response of Cotton to Irrigation Methods and Nitrogen Fertilization: Yield Components, Water-Use Efficiency, Nitrogen Uptake, and Recovery. **Communications in Sil Science and Plant Analysis**, v. 39, p. 2238-2302, 2008.

JAYAKUMART, M.; SURENDRAN, U.; MANICKASUNDARAM, P. Drip Fertigation Program on Growth, Crop Productivity, Water, and Fertilizer-Use Efficiency of Bt Cotton in Semi-arid Tropical Region of India. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, i. 3, p. 293-304, 2015.

KANEKO, F. H.; LEAL, A. J. F.; ANSELMO, J. L.; BUZETTI, S.; TOSTA, F. S. Fontes e manejo de adubação nitrogenada em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 57-63. 2013.

KANG, Y.; WANG, R.; WAN, S.; HU, W.; JIANG, S.; LUI, S. Effects of different water levels on cotton growth and water use through drip irrigation in an arid region with saline ground water of Northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 109, p. 117-126, 2012.

LEMAIRE, G.; OOSTEROM, E.; SHEEHY, JEUFFROY, M. H.; MASSIGNAM, A.; ROSSATO, L. Is crop N demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth? **Field Crops Research**, v. 100, p. 91-106, 2007.

LI, H.; LASCANO, R. J. Deficit irrigation for enhancing sustainable water use: Comparison of cotton nitrogen uptake and prediction of lint yield in a multivariate autoregressive state-space model. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, p. 224-231, 2011.

LIMA, J. J. Classificação do algodão em pluma. In: BELOT, J. L. **Manual de qualidade da fibra da AMPA**. Instituto Mato-grossense do Algodão -IMAmt. Cuiabá/MT, p 58-115, 2018.

LUNARDON, M. T. **Análise de conjuntura agropecuária safra 2007/08: Algodão**. 2007. Disponível em:< http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/algodao_2007_08.pdf>. Acesso 06 de dez 2017.

LUO, Z.; LUI, W.; ZHAO, Q.; DAI, J.; TIAN, L.; DONG, H. Effects of reduced nitrogen rate on cotton yield and nitrogen use efficiency as mediated by application mode or plant density. **Field Crops Research**, v. 218, p. 150-157, 2018.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 3. ed. Lavras: UFV, 2009.

MIN, W.; GUO, H.; ZHOU, G.; ZHANG, W.; MA, L.; YE, J.; HOU, Z. Root distribution and growth of cotton as affected by drip irrigation with saline water. **Field Crops Research**, v. 169, p. 1-10, 2014.

MINOLTA, C. Manual for chlorophyll meter SPAD-502. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions, 1989. 22 p.

MOREIRA, F. B. **Subprodutos do algodão na alimentação de ruminantes**. PUBVET, v. 2, n. 36, 2008.

MOTOMIYA, A. V. A.; VALENTE, I. M. Q.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BISCARO, G. A.; JORDAN, R. A. Índice de vegetação no algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e regulador de crescimento. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v. 35, n. 1, p. 169-178, 2014.

MUHARAM, F. M.; BRONSON, K. F.; MAAS, S. J.; RITCHIE, G. L. Inter-relationships of cotton plant height, canopy width, ground cover and plant nitrogen status indicators. **Field Crops Research**. v.169, p. 58-69, 2014.

NASCIMENTO, A. F.; SILVA, J. C. Melhoramento genético do algodoeiro no Brasil: breves considerações. **Centro Científico Conhecer**. v. 6, n. 11, p. 12, 2010.

OWEIS, T. Y.; FARAHANI, H. J.; HACHUM, A. Y. Evapotranspiration and water use of full and deficit irrigated cotton in the Mediterranean environment in northern Syria. **Agricultural Water Management**. v. 98, i. 8, p. 1239-1248, 2011.

PAPASTYLIANOU, P. T.; ARGYROKASTRITIS, I. G. Effect of limited drip irrigation regime on yield, yield components, and fiber quality of cotton under Mediterranean conditions**. Agricultural Water Management**, v. 142, p. 127-134, 2014.

R Core Team (2018). **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em:< https://www.R-project.org/.>. Acesso em 18 nov 2018.

RAO, S. S.; TANWAR, S. P. S.; REGAR, P. L. Effect of deficit irrigation, phosphorous inoculation and cycocel spray on root growth, seed cotton yield and water productivity of drip irrigated cotton in arid environment. **Agricultural Water Management**. v.169, p. 14-25, 2016.

ROCHESTER, I. J. Assessing internal crop nitrogen use efficiency in highyielding irrigated cotton. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 90, p. 147-156, 2011.

RODRIGUES, G. S.; IRIAIS, L. J. M. **Consideração sobre os impactos ambientais da agricultura irrigada**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 7 p. (Embrapa Meio Ambiente. Circular técnico, 7).

ROSOLEM, C. A. **Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro**. POTAFOS: Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 95, p. 24, 2001.

ROSOLEM, C. A.; BOGIANI, J. C. Estresse nutricional: Nutrição e estresses nutricionais em algodoeiro. In: ROSOLEM, C. A.; KAWAKAMI, E. M.; CHIAVEGATO, E. J.; ECHER, F. R.; BRITO, G. G.; CARVALHO, H. DA R.; SNIDER, J. L.; BOGIANI, J. C.; BERNARDES, M. S.; YEATES, S. **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. Embrapa Agropecuária Oeste. Cuiabá-MT, p. 103-121, 2014.

SAMPATHKUMAR, T.; PANDIAN, B. J.; RANGASWAMY, M. V.; MANICKASUNDARAM, P.; JEYAKUMAR, P. Influence of deficit irrigation on growth, yield and yield parameters of cotton–maize cropping sequence. **Agricultural Water Managemente**. v.130, p. 90–102, 2013.

SANTILI, J. A Lei de Sementes brasileiras e os seus impactos sobre a agrobiodiversidade e os sistemas agrícolas locais e tradicionais. Boletim do Museu Paranaense Emílio Geldi. **Ciências Humanas**, v. 7, n. 2, p. 457-475. 2012.

SANTOS, E. O **tamanho do prejuízo do bicudo e a necessidade do monitoramento**. Disponível em: < https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/37767331/artigo---o-tamanho-do-prejuizo-do-bicudo-e-a-necessidade-do-monitoramento>. Acesso 22 de dez/ 2018.

SARKAR, D. (2008) **Lattice**: Multivariate Data Visualization with R. Springer, New York. ISBN 978-0-387-75968-5.

SHAO, Q.; BANGE, M.; MAHAN, J.; JIN, H.; JAMALI, H.; ZHENG, B.; CHAPMANS, S. C. A new probabilistic forecasting model for canopy temperature with consideration of periodicity and parameter variation. **Agricutural and Forest Meteorology**, v. 265, p. 88-98, 2019.

SHAREEF, M.; GUI, D.; ZENG, F.; WAQAS, M., ZANG, B.; IQBAL. H. Water productivity, growth, and physiological assessment of deficit irrigated cotton on hyperarid desert-oases in northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 206, p. 1-10, 2018.

SILVA, M. A. **Critérios compostos para delineamentos ótimos robustos**. 2014. Dissertação (Mestre em Biometria) - Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

SINGH, Y.; RAO, S. S.; REGAR, P. L. Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment. **Agricultural Water Management**. v. 97, p. 965-970, 2010.

SOUSA, J. V. R. **Algodoeiro fertirrigado por gotejamento sob doses de nitrogênio, lâminas de água e espaçamentos de plantio**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Rondonópolis, Rondonópolis.

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

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F. NETO, M. S. A. **Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Amabiental, v. 4, n. 3, p. 338-342, Campina Grande, 2000.

STAMATIADIS, S.; TSADILAS, C.; SAMARAS, V.; SCHEPES, J. S.; ESKRIDGE, K. Nitrogen uptake and N-use efficiency of Mediterranean cotton under varied deficit irrigation and N fertilization. **European Journal of Agronomy**, v. 73, p. 144-151, 2016.

STAUT, L. A.; LAMAS, F. M.; KURAHARA, C. H. **Adubação Nitrogenada em Cobertura na Cultura do Algodoeiro em Sistema Plantio Direto**. EMBRAPA. Comunicado Técnico. 2002.

STEWART, J. M.; OOSTERHUIS, D.; HEITHOLT, J. J.; MAUNEY, J. **Physiology of Cotton**. Springer, 2010.

TACHINARD, R. O cultivo algodoeiro em Mato Grosso. In: BELOT, J-L. (Org.). **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. Cuiabá: IMAmt, 2015. p. 12-17.

TAIZ, L.; ZIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. Ed. 2017.

TESTEZLAF, R. **Irrigação**: métodos, sistemas e aplicações. Campinas, SP. UNICAMP/FEAGRI, 2017.

THIND, H. S.; AUJLA, M. S.; BUTTAR, G. S. Response of cotton to various levels of nitrogen and water applied to normal and paired sown cotton under drip

irrigation in relation to check-basin. **Agricultural Water Management**, v. 95, i. 1, p. 25-34, 2008.

THIND, H. S.; BUTTAR, G. S.; AUJLA, M. S.; SINGH, S.; SIDHU, B. S. Yield and water use efficiency of hybrid Bt cotton as affected by methods of sowing and rates of nitrogen under surface drip irrigation. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 58, p. 199-211, 2012.

TMG – Tropical Melhoramento & Genética. **TMG 47 B2 RF**. Disponível em: < http://www.tmg.agr.br/ptbr/cultivar/tmg-47-b2rf>. Acesso 19 de abr. 2019.

ÜNLÜ, M.; KANBER, R.; KOÇ, D. L.; TEKIN, S.; KAPUR, B. Effects of deficit irrigation on the yield and yield components of drip irrigated cotton in a mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v. 98, Issue 4, Pages 597-605, February 2011.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Cotton** : World Markets and Trade. Foreing Agricultural Service.Setembro, 2018.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. (2002) Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.

WANG, H.; WU, L.; CHENG, M.; FAN, J. ZHANG, F.; ZOU, Y.; CHAU, H. W.; GAO, Z.; WANG, X. Coupling effects of water and fertilizer on yield, water and fertilizer use efficiency of drip-fertigated cotton in northern Xinjiang, China. **Field Crops Research**. v. 219, p. 169-179, 2018.

WANG, R., S. JI, P. ZHANG, Y. MENG, Y. WANG, B. CHEN, AND Z. ZHOU. Drought Effects on Cotton Yield and Fiber Quality on Different Fruiting Branches. **Crop Science**. v.56, p.1265-1276, 2016.

WATTS, D. B.; RUNION, G. B.; BALKCOM, K. S. Nitrogen fertilizer sources and tillage effects on cotton growth, yield, and fiber quality in a coastal plain soil. **Field Crops Research**. v. 201, p. 184-191, 2017.

WICKHAM, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2009.

WINTER, E. J. A água, o solo e a planta. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1986. 170 p.

YANG, G.; TANG, H.; TONG, J; NIE, Y.; ZHANG, X. Effect of fertilization frequency on cotton yield and biomass accumulation. Field Crops Research, v. 125, p. 161-166, 2012.

YEATES, S. Efeito do estresse hídrico na fisiologia do algodoeiro. In: ECHER, F. R. (Org**.). O algodoeiro e os estresses abióticos**: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá: IMAmt, 2014. p. 63-77.

ZAHOOR, R.; DONG, H.; ABID, M.; ZHAO, W.; YOUHUA, W.; ZHOU, Z. Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in cotton by enhancing photosynthesis and carbohydrate metabolismo. **Environmental and Experimental Botany**, v. 137, p.73-83, 2017.

ZHANG, D.; LUO, Z.; LUI, S.; LI, W.; TANG, W.; DONG, H. Effects of deficit irrigation and plant density on the growth, yield and fiber quality of irrigated cotton. **Field Crops Research**, v. 197, p. 1-9, 2016.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI, V.; BEZERRA, J. R. C.; MEDEIROS, J. C. Irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in semi-arid environment. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, i. 1, p. 118-126, 2016.

ZURWELLER, B. A.; ROWLAND, D. L.; MULVANEY, M. J.; TILLMAN; B. L.; MIGLIACCIO, K.; WRIGHT, D.; ERICKSON, J.; PAYTON, P.; VELLIDIS, G. Optimizing cotton irrigation and nitrogen management using a soil water balance model and in-season nitrogen applications. **Agricultural Water Management**, v. 216, p. 306-314, 2019.

ANEXO 1

Anexo 1. Controle de aplicação de defensivos agrícolas na área do experimento com algodão fertirrigado por gotejamento, durante o ano de 2017.

Dias após a semeadura 2017	Produto comercial	Recomendação mL ha^{-1}	Classe
8	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Acehero	1000 g/ha	Inseticida sistêmico
12	Epingle	300	Inseticida
15	Epingle	300	Inseticida
	Tiger	500	Inseticida
16	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Acehero	1000 g/ha	Inseticida sistêmico
	Epingle	300 g/ha	Inseticida
20	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Acehero	1000 g/ha	Inseticida sistêmico
22	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Acehero	1000 g/ha	Inseticida sistêmico
50	Epingle	300	Inseticida
55	Epingle	300	Inseticida
56	Roundap	4000	Herbicida
61	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Epingle	300	Inseticida
70	Lorsban 480 BR		Inseticida acaricida
77	Lorsban 480 BR	1500	Inseticida acaricida
81	Pirephós	600	Inseticida
89	Pirephós	600	Inseticida
97	Pirephós	600	Inseticida
99	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Pirephós	600	Inseticida
105	Malathion 1000 EC Cheminova	1500	Inseticida
	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico

	Smite	230	Inseticida acaricida
	Kraft 36 EC	300	Inseticida acaricida
112	Kraft 36 EC	300	Inseticida acaricida
	Pirephós	600	Inseticida
	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
113	Glifosato Atanor 480	4000	Herbicida
115	Marshal Star	1000	Inseticida sistêmico
119	Malathion 1000 EC Cheminova	1500	Inseticida
125	Malathion 1000 EC Cheminova	1500	Inseticida
134	Marshal Star	1000	Inseticida sistêmico
137	Marshal Star	1000	Inseticida sistêmico
	Polo 500 SC	600	Inseticida acaricida
147	Kraft 36 EC	300	Inseticida acaricida
	Smite	230	Inseticida acaricida

ANEXO 2

Anexo 2. Controle de aplicação de defensivos agrícolas na área do experimento com algodão fertirrigado por gotejamento, durante o ano de 2018.

Dias após a semeadura 2018	Produto comercial	Recomendação mL ha^{-1}	Classe
5	Roundap	4000	Herbicida sistêmico
8	Acetamiprid CCAB 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
16	Acetamiprid CCAB 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
19	Acetamiprid CCAB 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Epingle	300	Inseticida
21	Actara	250 g/ha	Inseticida sistêmico
	Acefato	1000 g/ha	Inseticida sistêmico
	Roundap	4000	Herbicida sistêmico
23	Actara 250 WG	250 g/ha	Inseticida sistêmico
	Acefato	1000 g/ha	Inseticida sistêmico
26	Acefato	1000 g/ha	Inseticida sistêmico
	Acetamiprid CCAB 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
28	Acefato	250 g/ha	Inseticida sistêmico
	Acetamiprid CCAB 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
30	Acefato	1000 g/ha	Inseticida sistêmico
	Fastac Duo	400	Inseticida sistêmico
33	Acefato	1000 g/ha	Inseticida sistêmico
	Acetamiprid CCAB 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
36	Acefato	1000 g/ha	Inseticida sistêmico
	Acetamiprid CCAB 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
38	Acefato	1000 g/ha	Inseticida sistêmico

	Acetamiprid CCAB 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Roundap	2000	Herbicida sistêmico
	Epingle 100	500	Inseticida
40	Epingle 100	500	Inseticida
	Acetamiprid CCAB 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Actara	250 g/ha	Inseticida sistêmico
44	Tiger	500	Inseticida
	Acetamiprid CCAB 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
50	Tiger	500	Inseticida
	Acetamiprid CCAB 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
55	Tiger	500	Inseticida
	Acetamiprid CCAB 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Pirephós	600	Inseticida
59	Kraft 36 EC	300	Inseticida acaricida
	Marshal Star	1000	Inseticida sistêmico
64	Kraft 36 EC	300	Inseticida acaricida
	Marshal Star	1000	Inseticida sistêmico
72	Malathion 1000 EC Cheminova	1500	Inseticida
	Polo 500 SC	600	Inseticida acaricida
	Tracer	150	Inseticida
77	Malathion 1000 EC Cheminova	1500	Inseticida
	Orkestra SC	400	Fungicida
	Priori Top	400	Fungicida sistêmico
	Polo 500 SC	600	Inseticida acaricida
82	Engeo Pleno ™ S	350	Inseticida sistêmico
	Kraft 36 EC	300	Inseticida sistêmico
	Roundap	4000	Herbicida sistêmico
86	Marshal Star	1000	Inseticida sistêmico
	Kraft 36 EC	300	Inseticida sistêmico

91	Marshal Star	1000	Inseticida sistêmico
	Roundap	4000	Herbicida sistêmico
99	Epingle 100	500	Inseticida
104	Marshal Star	1000	Inseticida sistêmico
112	Malathion 1000 EC Cheminova	1500	Inseticida
119	Engeo Pleno ™ S	250	Inseticida sistêmico
	Polo 500 SC	600	Inseticida acaricida
	Smite	230	Inseticida acaricida

ANEXO 3

Anexo 3. Resumo da análise de variância de superfície de resposta para altura de planta e diâmetro de caule, nos anos de 2017 e 2018.

Ano de cultivo	Variável nas épocas das avaliações	Fontes de variação (Quadrados médios)			
	Altura de planta (cm)	FO	TWI	PQ	Lack of fit
2017	67 DAE	71,49^{ns}	13,88^{ns}	16,93^{ns}	3,71^{ns}
	82 DAE	92,59^{ns}	65,09^{ns}	7,47^{ns}	42,33^{ns}
	97 DAE	88,75^{ns}	169,65^{ns}	28,05^{ns}	36,77^{ns}
	112 DAE	744,38**	0,84^{ns}	17,42^{ns}	7,80^{ns}
	127 DAE	754,04**	35,34^{ns}	31,14^{ns}	12,59^{ns}
	142 DAE	300,49**	0,53^{ns}	23,89^{ns}	17,95^{ns}
	SPAD	FO	TW	PQ	Lack of fit
	67 DAE	8,83^{ns}	9,15^{ns}	5,95^{ns}	3,32^{ns}
	82 DAE	19,82*	0,06^{ns}	1,72^{ns}	7,37*
	97 DAE	21,21*	5,18^{ns}	0,77^{ns}	2,87^{ns}
	112 DAE	0,76^{ns}	0,02^{ns}	6,35^{ns}	1,76^{ns}
	127 DAE	5,32^{ns}	1,32^{ns}	1,98^{ns}	6,40^{ns}
	142 DAE	4,12^{ns}	0,00^{ns}	3,46^{ns}	49,32**
2018	Altura de planta (cm)	FO	TWI	PQ	Lack of fit
	55 DAE	64,55*	2,82^{ns}	2,11^{ns}	3,68^{ns}
	70 DAE	111,82*	9,69^{ns}	8,13^{ns}	21,17^{ns}
	85 DAE	495,01**	32,40^{ns}	94,79*	25,64^{ns}
	100 DAE	1029,71**	18,88^{ns}	125,83^{ns}	56,38^{ns}
	115 DAE	980,02**	34,46^{ns}	169,99*	57,40^{ns}
	SPAD	FO	TWI	PQ	Lack of fit
	55 DAE	44,17*	7,56^{ns}	0,48^{ns}	4,57^{ns}
	70 DAE	113,71^{ns}	0,00^{ns}	35,07^{ns}	85,26^{ns}
	85 DAE	105,45^{ns}	1,56^{ns}	7,99^{ns}	32,71^{ns}
	100 DAE	137,07**	1,82^{ns}	30,77*	3,50^{ns}
	115 DAE	110,03*	0,49^{ns}	1,83^{ns}	8,23^{ns}

Diâmetro de caule	FO	TWI	PQ	Lack of fit
55 DAE	0,48^{ns}	0,02^{ns}	0,12^{ns}	0,07^{ns}
70 DAE	1,75*	0,21^{ns}	0,08^{ns}	0,07^{ns}
85 DAE	1,55^{ns}	1,10^{ns}	0,44^{ns}	0,50^{ns}
100 DAE	3,88*	0,12^{ns}	0,28^{ns}	0,73^{ns}
115 DAE	4,51**	1,14^{ns}	1,57*	0,25^{ns}

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; * significativa a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo a 5% de probabilidade de erro. DAE: dias após a emergência; FO: primeira ordem; TWI: interação; PQ: puramente quadrático.

ANEXO 4

Anexo 4. Resumo da análise de variância para altura de planta, no ano de 2017.

Variável nas épocas das avaliações	Fontes de variação (Quadrados médios)		
Altura de planta	I	N	I x N
67 DAE	0,65^{ns}	70,10**	5,93^{ns}
82 DAE	42,19^{ns}	57,86^{ns}	48,02^{ns}
97 DAE	70,36^{ns}	46,44^{ns}	69,99^{ns}
112 DAE	286,56**	475,53**	6,06^{ns}
127 DAE	323,82**	461,35**	18,28^{ns}
142 DAE	88,44*	195,34**	13,59^{ns}
SPAD	ET	N	ET x N
67 DAE	14,54^{ns}	0,24^{ns}	4,78^{ns}
82 DAE	21,09**	0,45^{ns}	5,54^{ns}
97 DAE	3,76^{ns}	18,68*	3,45^{ns}
112 DAE	5,58^{ns}	1,53^{ns}	1,33^{ns}
127 DAE	4,28^{ns}	3,01^{ns}	5,13^{ns}
142 DAE	5,94^{ns}	1,08^{ns}	35,87*

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; * significativa a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo a 5% de probabilidade de erro. DAE: dias após a emergência; ET: irrigação; N: adubação nitrogenada; ET x N: interação.