FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

WERLEN DE SOUZA FERNANDES

PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO AQUACROP E SIMULAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO E PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E NITROGÊNIO

RONDONÓPOLIS - MT
2021

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

WERLEN DE SOUZA FERNANDES

PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO AQUACROP E SIMULAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO E PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E NITROGÊNIO

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

Orientador: Prof. Dr. Thiago Franco Duarte

RONDONÓPOLIS - MT
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S729p Souza Fernandes, Werlen de.
Parametrização do modelo AquaCrop e simulação da transpiração e produtividade do algodoeiro sob lâminas de irrigação e nitrogênio / Werlen de Souza Fernandes. -- 2021
66 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Thiago Franco Duarte.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Modelagem. 2. Agricultura irrigada. 3. Água no solo. 4. Gossypium hirsutum. 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.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO AQUACROP E SIMULAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO E PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E NITROGÊNIO

AUTOR: MESTRANDO WERLEN DE SOUZA FERNANDES

Dissertação defendida e aprovada em 31 de agosto de 2021.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Doutor Thiago Franco Duarte (Presidente Banca / Orientador)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. Doutor Tonny José Araújo da Silva (Examinador Interno)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

3. Doutor William Fenner (Examinador Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO

4. Doutor Marcio Koetz (Examinador Suplente)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

RONDONÓPOLIS,31/08/2021.

Documento assinado eletronicamente por **William Fenner**, **Usuário Externo**, em 31/08/2021, às 15:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **TONNY JOSE ARAUJO DA SILVA**, **Coordenador(a) de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do ICAT CUR**, em 31/08/2021, às 17:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **THIAGO FRANCO DUARTE**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 01/09/2021, às 15:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3860585** e o código CRC **CC340263**.

Referência: Processo nº 23108.066809/2021-34 SEI nº 3860585

Aos meus pais, Hermínio e Aureci por me incentivarem a chegar até aqui, sempre segurando minha mão nos momentos de tristeza e alegria.

A todos os amigos e colegas que contribuíram com este trabalho.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

A Deus por todo seu amor, pelas bençãos a mim concedidas que por inúmeras vezes me mantem de pé.

Aos meus pais Hermínio e Aureci, por todos os conselhos, amor e incentivo.

Ao meu orientador professor Dr. Thiago Franco Duarte, por toda dedicação, ensinamentos, comprometimento e paciência para comigo. Também ao coordenador do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, professor Dr. Tonny José Araújo da Silva, por todo o apoio prestado e ensinamentos.

A Universidade Federal de Rondonópolis por me proporcionar o aprimoramento profissional e pessoal.

Aos amigos Renato Avelar, João Vitor Dourado Kattielly Esteffany e Kellyane Santos, por me ajudarem em todas as etapas da pesquisa. Um agradecimento especial ao John Lucas Borges Lopes, pessoa extraordinária de grande coração sempre disposto a ajudar, um grande amigo.

Ao GPAS (Grupo de Pesquisa em Água e Solo), que foi fundamental para a implantação e manutenção do experimento, todos sempre comprometidos.

Ao IMA (Instituto Mato-grossense do Algodão), pelo convênio institucional, bem como todo auxílio técnico, que sem essa parceria não seria possível a execução do projeto.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

FERNANDES, Werlen de Souza. Universidade Federal de Mato Grosso, agosto de 2021. **Parametrização do modelo AquaCrop e simulação da transpiração e produtividade do algodoeiro sob lâminas de irrigação e nitrogênio.** Orientador: Thiago Franco Duarte.

RESUMO

O algodoeiro *Gossypium* L., é uma espécie agrícola de grande importância econômica e social para o Brasil, cuja demanda por tecnologias que potencializem a produtividade aliada à sustentabilidade, devem ser buscadas constantemente. Modelos de simulação da produtividade como o AquaCrop, permitem determinar a resposta da cultura em função da variação da disponibilidade hídrica e adubação nitrogenada. Assim, este trabalho teve por objetivo parametrizar o modelo AquaCrop para avaliar o rendimento do algodoeiro em função de níveis de água e nitrogênio. O experimento foi conduzido na área experimento da Universidade Federal de Rondonópolis. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico e a cultivar utilizada foi a IMA5801B2RF. A irrigação foi realizada por sistema de gotejamento cujas lâminas de irrigação foram: 30%, 90% e 150% da evapotranspiração da cultura. O nitrogênio foi aplicado via fertirrigação nas doses de 20, 110 e 200% da dose recomendada para o algodoeiro. Os parâmetros de entrada do modelo determinados localmente foram: parâmetros físicos do solo: capacidade de campo (10 kPa), ponto de murcha permanente (1500 kPa), condutividade hidráulica saturada (permeâmetro de carga constante); parâmetros vegetativos: cobertura do dossel (%); duração das etapas fenológicas (dias); profundidade máxima do sistema radicular (m); parâmetros meteorológicos: temperatura máxima e mínima do ar (ºC), umidade relativa (%), velocidade do vento (m s^{-1}), radiação solar global (MJ m^2 d^{-1}). Após a parametrização, o modelo foi calibrado para simular o efeito do estresse nutricional (N A produtividade de algodão em caroço foi de 3495 kg ha^{-1} (ET90N110), 2027 kg ha^{-1} (ET90N20) e 2075 kg ha^{-1} (ET30N110). Com relação à simulação, observou-se que a simulação das variáveis produtivas, biomassa e algodão em caroço, pelo modelo AquaCrop, foram superiores aos dados medidos. De modo geral, os maiores erros ocorrem para simulação dos tratamentos com estresse hídrico ou nutricional. Apesar disso, os parâmetros estatísticos R^2, d e c, foram maiores que 0.90, o que classifica o desempenho do modelo como “ótimo”.

Palavras-chave: Modelagem; Agricultura irrigada; Água no solo; *Gossypium hirsutum*.

FERNANDES, Werlen de Souza. Universidade Federal de Mato Grosso, August 2021. **Parameterization of AquaCrop model and simulation of transpiration and productivity of cotton under irrigation and nitrogen.** Advisor: Thiago Franco Duarte.

ABSTRACT

The cotton plant Gossypium L. is an agricultural species of great economic and social importance for Brazil, whose demand for technologies that enhance productivity combined with sustainability, should be constantly sought. Productivity simulation models, such as AquaCrop, allow the determination of the response of the crop as a function of variation in water availability and nitrogen fertilization. Thus, this work aimed to parameterize the AquaCrop model to evaluate the yield of cotton as a function of water and nitrogen levels. The experiment was conducted in the experimental area of the Federal University of Rondonópolis. The soil is classified as dystrophic Red Latosol and the cultivar used was the IMA5801B2RF. Irrigation was by drip system with irrigation rates of 30%, 90%, and 150% of crop evapotranspiration. Nitrogen was applied via fertigation at doses of 20, 110, and 200% of the recommended dose for cotton. The model input parameters determined locally were soil physical parameters: field capacity (10 kPa), permanent wilting point (1500 kPa), saturated hydraulic conductivity (constant load permeameter); vegetative parameters: canopy cover (%); duration of phenological stages (days); maximum depth of the root system (m); meteorological parameters: maximum and minimum air temperature (ºC), relative humidity (%), wind speed (m s^{-1}), global solar radiation (MJ m^2 d^{-1}). After parameterization, the model was calibrated to simulate the effect of nutrient (N) stress. Seed cotton yields were 3495 kg ha^{-1} (ET90N110), 2027 kg ha^{-1} (ET90N20), and 2075 kg ha^{-1} (ET30N110). Regarding the simulation, it was observed that the simulation of the productive variables, biomass, and seed cotton, by the AquaCrop model were higher than the measured data. In general, the largest errors occur for the simulation of treatments with water or nutrient stress. Despite this, the statistical parameters R^2, d and c, were greater than 0.90, which classifies the model performance as "optimal".

Keywords: Modeling; Irrigated agriculture; Soil water; *Gossypium hirsutum*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tela inicial do AquaCrop, versão 6.1 usada para simulação do rendimento do algodão fertirrigado via gotejamento no município de Rondonópolis - MT.....19
Figura 2. Aba de inserção dos dados de clima, planta, irrigação e solo. 19
Figura 3. Desenho esquemático do sistema de cultivo adotado e da disposição das fitas gotejadoras. 25
Figura 4. Croqui da área experimental do algodoeiro fertirrigado da Universidade Federal de Rondonópolis. Detalhes das parcelas, linhas de irrigação, fertirrigação e disposição das fitas de gotejamento. (ET e N; Tratamentos de irrigação e fertirrigação baseado na evapotranspiração da cultura e recomendação de adubação em %). 26
Figura 5. Aplicação de nitrogênio via fertirrigação como auxílio do dosador Domastic na área experimentas da Universidade Federal de Rondonópolis-MT. 28
Figura 6. Sistema do controle de irrigação e fertirrigação por gotejamento do experimento com algodoeiro durante o ano de 2019 na área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis.....28
Figura 7. Linha lateral e fitas de gotejamento nas parcelas experimentais do algodoeiro fertirrigado, Universidade Federal de Rondonópolis. 29
Figura 8. Interface do aplicativo Conopy Cover utilizado para aferição da cobertura do dossel na área experimental do algodoeiro fertirrigado por gotejamento no município de Rondonópolis. 31
Figura 9. Imagem da cobertura do dossel do algodoeiro fertirrigado na área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis-MT.....31
Figura 10. Perfil do solo com divisão das camadas para coleta de amostras indeformadas. Área experimental do algodoeiro fertirrigado na Universidade Federal de Rondonópolis-MT até um metro de profundidade. 32
Figura 11. Coleta de solo na área experimental do algodoeiro fertirrigado da Universidade .....
Federal de Rondonópolis-MT.....33
Figura 12. Recipiente com amostras de solo saturado do algodoeiro fertirrigado, Rondonópolis-MT. 33
Figura 13. Permeâmetro de carga constante utilizado para medir a condutividade hidráulica do solo saturado do algodoeiro fertirrigado da área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis-MT. 35
Figura 14. Pesagem do algodão, pluma mais caroço do algodoeiro fertirrigado da área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis-MT.....36

Figura 15. Médias diárias da Evapotranspiração da cultura (mm) para o município de Rondonópolis-MT. 39
Figura 16. Dados diários de temperatura relativa média do ar (Tmed. °C) e umidade relativa média do ar (URmed %) para o município de Rondonópolis-MT observadas dias após o plantio (DAP), safra 2019. 40
Figura 18. Imagem representativa da janela de calibração do modelo AquaCrop para a cultura do algodoeiro fertirrigado para o município de Rondonópolis – MT. 44
Figura 19. Biomassa e produtividade do algodão em caroço medida e simulada para o algodoeiro fertirrigado no município de Rondonópolis – MT. 45
Figura 20. Cobertura do dossel medida e simulada para os tratamentos ET30N110 e ET30N20 para os fatores de estresse e sem estresse de N, para o algodão fertirrigado no município de Rondonópolis-MT. 47
Figura 21. Cobertura do dossel medida e simulada dos tratamentos ET90N110 e ET90N20 para os fatores de estresse e sem estresse de N, para o algodão fertirrigado no município de Rondonópolis – MT. 48
Figura 22. Cobertura do dossel medida e simulada dos tratamentos ET1150N110 e ET150N20 para os fatores de estresse e sem estresse de N, para o algodão fertirrigado no município de Rondonópolis – MT. 48
Figura 23. Simulação da evapotranspiração real e máxima e dos níveis de armazenamento de água no solo para a ET90N110, referente ao armazenamento de água no solo (ARM), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de campo (CC) para o Latossolo Vermelho distrófico no município de Rondonópolis-MT. 50
Figura 24. Simulação da evapotranspiração real e máxima e dos níveis de armazenamento de água no solo para a ET30N110, referente ao armazenamento de água no solo (ARM), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de campo (CC) para o Latossolo Vermelho distrófico no município de Rondonópolis-MT. 51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química e granulométrica do Latossolo Vermelho distrófico anterior a semeadura, 2019 Rondonópolis, Mato Grosso. 27
Tabela 2. Coeficientes da cultura (Kc) adaptada de Allen *et al*., (1998) para o algodão herbáceo. 30
Tabela 3. Parâmetros hidráulicos do Latossolo Vermelho distrófico cultivado com algodoeiro fertirrigado, Rondonópolis-MT. 35
Tabela 4. Critérios atribuídos para intepretação dos resultados do índice de confiança (c) conforme Camargo e Sentelhas (1997). 37
Tabela 5. Parâmetros relacionados à planta utilizados no modelo AquaCrop. 37
Tabela 6. Comparação de médias para as variáveis de número de capulhos (CAP), peso de capulhos (PC), peso de fibra (PF) e peso de sementes (PS). 41
Tabela 7. Comparação do teste de médias para a variável de produtividade do algodão em caroço (PAC). 42
Tabela 8. Produtividade simulada e observada para biomassa e algodão em caroço em kg ha^{-1}. 45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13

2.1 HISTÓRICO DA COTONICULTURA 13

2.2 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO PARA O ALGODOEIRO 15

2.3 AGRICULTURA IRRIGADA 16

2.4 O AQUACROP 18

2.5 ECOFISIOLOGIA DO ALGODOEIRO 20

2.6 IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO ALGODOEIRO 22

3 MATERIAL E MÉTODOS 24

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL 24

3.2 CULTIVAR 27

3.3 ADUBAÇÃO 27

3.3 IRRIGAÇÃO 28

3.4 COBERTURA DOSSEL 30

3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO 32

3.6 PRODUTIVIDADE DE ALGODÃO CAROÇO 36

3.7 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DO MODELO 36

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 39

4.1 DADOS METEOROLÓGICOS 39

4.2 PRODUTIVIDADE DO ALGODÃO 40

4.3.1 Biomassa da parte aérea e produtividade de algodão em caroço 42

4.3.2 Cobertura do dossel 46

4.3.3 Simulação da transpiração e umidade do solo 49

CONCLUSÃO 52

REFERÊNCIAS 53

1 INTRODUÇÃO

O algodão é uma fibra natural, de origem vegetal e amplamente utilizada nos mais variados setores da indústria. O Brasil é o quarto produtor e segundo exportador mundial de algodão. A produção brasileira de pluma chegou ao recorde de 3 milhões de toneladas na safra 2019/20, com previsão na atual safra de 2,44 milhões de toneladas. A região Centro-Oeste é a maior produtora (74% do total nacional) e Mato Grosso é o principal produtor nacional, com uma produção de 2,1 mil toneladas de algodão na safra 2019/20. A produtividade média do estado na última década foi de 1,3 toneladas. A expectativa é que a produção de algodão brasileiro cresça ano após ano, conforme demonstra os dados produtivos decorrentes das últimas safras (ABRAPA, 2021).

Em Mato Grosso, o algodoeiro pode ser cultivado na safra principal, ou em segunda safra. O plantio em segunda safra, sob cultivo adensado, vem ganhando cada vez mais espaço na cotonicultura mato-grossense. Estima-se que a área plantada seja de 1,1 milhão de hectares, o que representa cerca de 66% da produção nacional da fibra de algodão (INDEA, 2021).

O cultivo do algodão como segunda safra ou safrinha popularmente conhecido, iniciou-se pela possibilidade de redução nos custos de produção. O algodão safrinha é semeado no mês de janeiro, tendo menor nível de investimento e, embora os índices produtivos sejam menores comparados ao algodão cultivado na safra principal, os custos no cultivo do algodão após a soja tem demonstrado mais lucratividade aos produtores e apresentando uma boa qualidade de fibra (FUNDAÇÃO RIO VERDE, 2003).

Entretanto, com o algodoeiro sendo cultivado como segunda safra, surgiu também o risco de ocorrência de estresse hídrico durante o ciclo de desenvolvimento do cultura, especialmente na etapa reprodutiva. Assim, apesar das vantagens, o risco de ocorrência de estrese hídrico durante do ciclo produtivo é um fator que não pode ser descartado. O estresse hídrico pode ocasionar a redução da produtividade. A falta de água durante o período de estabelecimento e de formação das estruturas reprodutivas comprometem o desenvolvimento e a produtividade da planta de algodão (ALMEIDA et al., 2017).

Atualmente, existem modelos matemáticos capazes simular o rendimento das culturas em função do estresse hídrico. O modelo de Doorenbos & Kassam, (1979) foi um dos primeiros desenvolvidos para essa finalidade. Entretanto, este modelo possui a limitação de ser preciso apenas em escalas temporais maiores.

Em 2012, a FAO lançou o modelo AquaCrop, um modelo mais completo, cuja escala temporal de simulação pode ser até mesmo diária. O modelo AquaCrop foi desenvolvido no intuito de avaliar o efeito das práticas agrícolas diante o rendimento das culturas. O modelo é tido como ponto de equilíbrio entre simplicidade, precisão e robustez, sendo necessário poucas

variáveis de entrada, acerca do solo, da espécie em estudo, e das variáveis meteorológicas da região de estudo (FAO *et al*., 2018).

Além da quebra da produtividade em função da água, o modelo AquaCrop possui a função de simular também a redução da produtividade devido o estresse nutricional, como o nitrogênio. O Nitrogênio (N) está entre os nutrientes mais importantes para a cultura do algodoeiro. Ciriello et al., (2014), também confirmam com a importância do N e sua alta demanda pelas culturas agrícolas, especialmente as de ciclo anual.

O nitrogênio contribui com o aumento no número de capulhos e a produção por planta de algodão em caroço. Logo, a fertirrigação tem como propósito suprir as necessidades nutricionais da planta substituindo aplicações tradicionais pela em conjunto com a água de irrigação (SANTOS *et al*., 2016; NASCIMENTO *et al*., 2018).

Entretanto, a fertirrigação no cultivo do algodoeiro para a região do cerrado mato-grossense é pouco difundida, mas promissora para os próximos anos visto que, a necessidade de racionalização dos recursos hídricos em todos os setores de produção tem se tornado necessário para preservação e garantia da segurança alimentar e subsistência do ecossistema.

Assim, objetivou-se por meio desse estudo parametrizar o modelo AquaCrop e simular o rendimento do algodoeiro fertirrigado por gotejamento sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada no cerrado mato-grossense.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO DA COTONICULTURA

A história do algodão atravessa séculos a.C., escritos antigos apontam que as Índias era onde se predominava a cotonicultura cujo, os primeiros cultivos ocorreram nas regiões do Paquistão. Também há relatos que os Incas, assim como outros povos do Norte do litoral Peruano foram as primeiras civilizações a cultivarem o algodoeiro. A história nos mostra que, antes mesmo do descobrimento do Brasil, os índios já dominavam a técnica de seu cultivo, além do beneficiamento das fibras do algodão para produção têxtil eles utilizavam a planta para o tratamento de feridas e alimentação (AMIPA, 2019; AMPA, 2012).

Durante o período medieval o algodão ficou reconhecido por toda a Europa. Contudo, apartir da Revolução Industrial a cotonicultura sofreu um grande impulso e em 1738, Lewis Paul e Jhon Wyatt, na Inglaterra inventaram e patentearam a primeira máquina para fiação dos fios de algodão, que mais tarde vira a ser aprimorada por outros (ALGODÃO, 2019).

No Brasil a produção comercial iniciou-se na região Nordeste em 1760 com o cultivo do algodão arbóreo, sendo mais tarde cultivado a variedade herbácea no estado de São Paulo. A cultura do algodão no Nordeste brasileiro teve e ainda tem grande importância para o desenvolvimento da região. Entre os séculos XIX e XX, a cultura contribuiu para o crescimento de muitas cidades nordestinas, gerando emprego e renda. Até 1950 o a região representava 10% de toda plantação de algodão no mundo com uma área de 3,2 milhões de hectares plantados (BELTRÃO, 2003).

Entre os anos de 1990 e 2000 a cultura não tinha relevância para o estado de Mato Grosso, apesar de já existir alguns produtores. Com o tempo a cotonicultura foi crescendo, e com o surgimento de pesquisas voltadas ao desenvolvimento da cultura no estado e do surgimento de associações de produtores de algodoeiro, rapidamente a cultura se firmou e Mato Grosso se consolidou como modelo frente aos demais estados produtores, contribuindo para que o país se firmasse no ranking entre os maiores exportadores (AMPA, 2012).

O motivo pelo qual o Centro-Oeste destaca-se na produção do algodão está relacionado à forte iniciativa em pesquisas e desenvolvimento de cultivares adaptadas ao cerrado por instituições públicas e privadas (NEVES; PINTO, 2011). Aproximadamente mais de 35 milhões de hectares são destinados ao plantio de algodão em torno do mundo, envolvendo mais de 350 milhões de empregos em sua produção, movimentando cerca de 12 bilhões de dólares anualmente (ABRAPA, 2016).

Com a ampla difusão da cultura no Estado do Mato Grosso, a produtividade sofreu com o período estacionário no crescimento durante os anos de 2007 e 2010 devido à redução na utilização de insumos e alguns fatores climáticos entre outras adversidades. No ano de 2011, com o plantio mais adensado e como segunda safra, o cultivo do algodão iniciou-se um novo

processo de modernização alavancando novamente a produtividade matogrossense (BELOT; VILELA, 2010).

A produtividade do algodão de sequeiro no Brasil, está entre as mais elevadas do mundo, sendo que 90% da área plantada no Estado do Mato Grosso é de segunda safra. A média brasileira de produtividade de algodão situa-se em torno de 1.675 kg de fibra/ha (ABRAPA, 2020). Mesmo com a pandemia do novo coronavírus, a produção brasileira alcançou novo recorde de exportações em 2020, ao todo foram exportados mais de 2 milhões de toneladas de pluma de algodão superando em 31,7% o volume exportado em 2019. A estimativa é que a safra 2020/21 norte americana sofra queda de 8 a 5%, essas estimativas sendo confirmadas, os analistas consideram o mercado externo favorável para a produção brasileira (CONAB, 2021).

2.2 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO PARA O ALGODOEIRO

Pertencente à família das malváceas, o algodão é cultivado em diferentes tipos de solos, porém solos com boa capacidade de retenção de água são os mais adequados para o melhor desenvolvimento da cultura. As plantas de algodão suportam bem solos em condições salinas, tendo um bom desenvolvimento em pH (potencial Hidrogeniônico) a 5,5 (DOORENBOS; KASSAM, 2000).

Em termos gerais, o algodoeiro é exigente quanto a fertilidade do solo. As plantas tendem a demonstrar seu potencial produtivo quando cultivadas em solos ricos em matéria orgânica, férteis e bem estruturados. A cultura não suporta solos compactados, com baixa oxigenação por possuir um sistema radicular pouco adensado, o que leva ao baixo aproveitamento dos nutrientes presentes na solução do solo (BELOT; VILELA, 2010).

Vários podem ser os efeitos dos nutrientes minerais as plantas. Ao mesmo tempo que eles podem promover o crescimento e a produtividade, podem também ter ações contrarias as estas. Quando disponíveis na solução do solo, promovem a resistência das plantas ao ataque de patógenos, porém essa resistência pode ser inibida havendo desiquilíbrio nutricional (ZAMBOLIM; VENTURA, 1993).

Por ser requerido em grande quantidade o N é essencial para o crescimento vegetal. Ele atua nos constituintes celulares, entre os quais se destacam a síntese de clorofila, essencial para instigar a absorção de nutrientes e a produção de aminoácidos (LÓPEZ, 1998; VIEIRA, 2017). Outro benefício do N é sua aptidão em favorecer a absorção de fósforo pela planta, a amônia (NH_4^+) retarda os processos de fixação do fósforo, fazendo com que uma condição ácida seja mantida na superfície da raiz (LÓPEZ, 1998).

O algodoeiro por ser altamente exigente em N e os solos do cerrado não são capazes de disponibilizar em quantidades satisfatórias esse elemento através da decomposição da matéria orgânica, sendo preciso recorrer aos adubos organominerais para suprir essa demanda (BRANDÃO *et al*., 2011).

Considerado um elemento instável quando na solução do solo é aconselhável que o N seja parcelado (IMA, 2015). Teixeira, Kikuti e Borém (2008), constataram que a adoção de 120 kg de N ha^{-1} proporcionou o desenvolvimento da massa média de capulhos e de sementes do algodoeiro. O N proporciona o crescimento das plantas de algodão, Rosa et al. (2012), quando comparando tratamentos com doses de 100, 200 e 300 kg ha^{-1} N ao tratamento com zero de adubação nitrogenada observaram que os tratamentos com doses de N apresentaram crescimento de 33,3, 34,3 e 35 cm de altura em comparação aos 27 cm de altura do tratamento com a ausência de N.

A produtividade média obtida do algodão em caroço (3.544 kg ha^{-1}) foi próxima a média do cerrado, (3.540 kg ha^{-1}), ficando acima da média brasileira (3.100 kg ha^{-1}). Esses resultados produtivos mostram que as regiões de cerrado destinadas a produção do algodão associadas as tecnologias de produção possuem boas condições climáticas para o cultivo do algodoeiro (TEIXEIRA et al., 2008).

A adubação nitrogenada é responsável por regular o ciclo da planta, elevar a produtividade e melhorar a resistência da fibra. No entanto, quando utilizado altas doses pode ocorrer crescimento excessivo da planta levando a má formação e tardia das estruturas reprodutivas do algodoeiro (STAUT et al., 2002; ROSA et al., 2012). Quando há deficiência de N, as plantas podem desenvolver clorose generalizada, baixo número de folhas, baixa estatura dos ramos e galhos, queda da produtividade recorrente do abortamento anormal de botões florais e maturação antecipada dos frutos (STAUT et al., 2002).

Com o surgimento de novas tecnologias voltadas para agricultura associadas a novas técnicas de manejo do algodão, o Brasil alcançou novo recorde brasileiro, foram 3.001 kg/ha de algodão em caroço na safra 2019/20 frente a 2.725 kg/ha produzidos na anterior (AMPA,2021).

2.3 AGRICULTURA IRRIGADA

Nos dias atuais o desafio da agricultura é produzir cada vez mais alimentos utilizando-se o mínimo de água possível. A escassez hídrica põe em risco a segurança alimentar e com isso a produção se torna mais cara, colocando sob ameaça o suprimento alimentar das classes

sociais de menor poder aquisitivo. Cerca de 35% da população do planeta não tem acesso a água tratada, outras 43% são privados dos serviços de saneamento básico e em média 10 milhões de pessoas falecem todos os anos por doenças ocasionadas a má qualidade da água (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2017).

Com o manejo da irrigação é possível fornecer água a cultura na quantidade e tempo certo, para que dessa forma as plantas consigam demonstrar seu potencial produtivo. A deficiência de um nutriente quando suprido é capaz de elevar a produção, o mesmo ocorre com o uso eficiente da água de irrigação (BRAGA, 2010; LOPES, 1998).

De toda a área destinada a agricultura somente 20 % correspondem as áreas irrigadas, da qual é responsável por 40% da produção total. Apesar de toda essa importância, a água é um recurso limitado de poucas perspectivas e notável carência, pois a agricultura é a principal consumidora dessa fonte limitada. No Brasil os números de outorgas vigentes para irrigação representam 45,6% do uso da água dos rios sob domínio da União (ANA, 2017; BORGHETTI *et al*., 2017).

Vários são os métodos de irrigação, sendo estes quatro os principais: irrigação por superfície, subterrânea, localizada e aspersão. Talvez, a irrigação por superfície mais comum seja o método de inundação, no qual a água e disponibilizada a uma quantidade suficiente para suprimento da planta, o segundo método adjunto com o terceiro fundamenta-se no sistema de gotejamento, que pode ser por irrigação subsuperficial ou localizada (ANA, 2017).

O sistema de irrigação por gotejamento é altamente eficaz em situações em que a água é um fator limitante para a produção, podendo ser empregue independentemente da topografia. Apesar do alto custo para implantação, uma única fita cotejadora pode atender uma fila dupla de plantio (ZONTA *et al*., 2016).

Quando se trabalha com agricultura irrigada o conhecimento da fisiologia da cultura é ponto chave para uso eficiente da irrigação. Conhecer os estádios críticos de consumo de água pela cultura e seus resultados na produtividade, assim como a escolha certa do sistema de irrigação baseado na topografia, características do solo, cultura, custos de produção e mão de obra são meios que há de assegurar resultados satisfatórios quanto a empregabilidade do sistema de irrigação (BRAGA, 2010).

A região Centro-Oeste nas últimas décadas foi a região brasileira que obteve o maior desenvolvimento da agricultura irrigada, sendo o estado de Goiás representante da maior parte desse crescimento (ANA, 2017). Durante seu ciclo fenológico o algodão necessita de 400 a 700 mm de água por ciclo, podendo variar devido as condições climáticas e variedade adotada. A

necessidade hídrica cresce conforme seu desenvolvimento atingindo o pico na época de floração e enchimento de maçãs (ZONTA *et al*., 2016).

Uma das funcionalidades da água é atuar como regulador térmico, a água absorvida auxilia na manutenção da atividade fotossintética da planta deste modo a planta quando em déficit hídrico a atividade fotossintética cai afetando a produtividade (OCHOA; MAURTUA, 2019).

No algodão, o déficit hídrico pode levar ao abortamento pré-maturo das maçãs SHAREEF *et al*. (2018). Um crescimento radicular de até 113,4 cm das plântulas de algodão foi relatado por Mattioni et al. (2009) no emprego de 40% de disponibilidade hídrica em relação aos demais tratamento de 60 e 80% de disponibilidade de água, que desenvolveram 97 e 45,6 cm respectivamente. Em situações em que o déficit hídrico é um fator limitante a planta tende a desenvolver seu sistema radicular, garantindo assim a perpetuação da espécie.

2.4 O AQUACROP

Para simulação do rendimento das culturas em função da água é necessário recorrer a modelos matemáticos, que por sua vez necessitam ser parametrizados com dados específicos do local de estudo.

Desenvolvido pela FAO para contribuir com a gestão agrícola e segurança alimentar, o modelo AquaCrop simula a resposta das culturas por meio de um número pequeno de variáveis a serem inseridas no programa. O AquaCrop possui dois tipos de parâmetros, conservativos e não conservativos. Os parâmetros conservativos são àqueles considerados estáveis, independente das condições de cultivo, no qual não há a necessidade de alteração pelo usuário. Por outro lado, os parâmetros não conservativos devem ser medidos e inseridos no modelo pelo usuário, conforme as condições de manejo, local de cultivo e cultivar utilizada (HENG *et al*., 2009; STEDUTO *et al*., 2012). As figuras 1 e 2 apresentam a tela inicial e o menu de simulações, respectivamente.

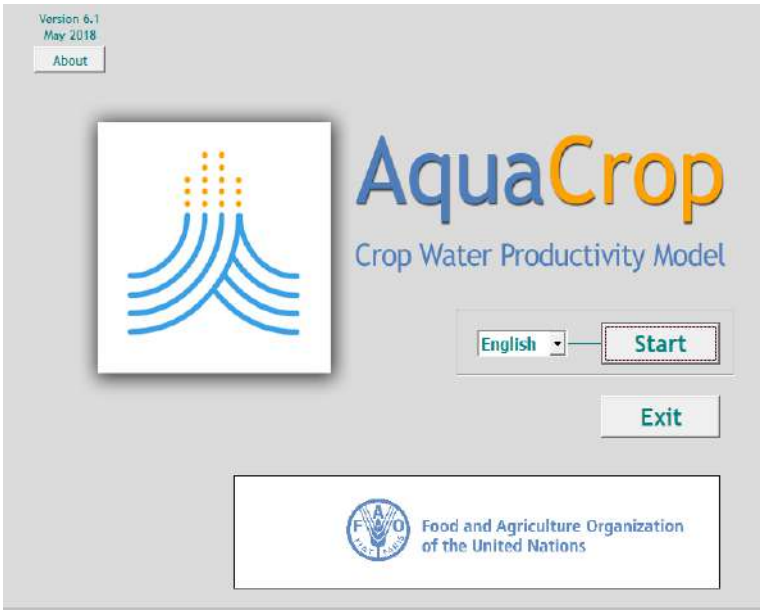

Figura 1. Tela inicial do AquaCrop, versão 6.1 usada para simulação do rendimento do algodão fertirrigado via gotejamento no município de Rondonópolis - MT.

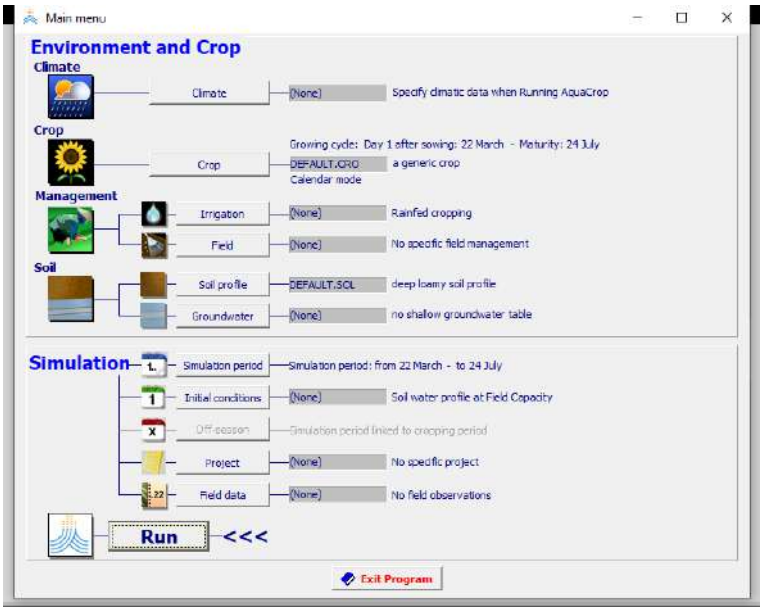

Figura 2. Aba de inserção dos dados de clima, planta, irrigação e solo.

Com os parâmetros estabelecidos e calibrados, o modelo ainda necessita ser validado. A validação está relacionada com a determinação da semelhança das respostas do modelo com os dados medidos a campo, com isso diminui-se os erros das simulações devido a possíveis erros de dados de entrada de avaliação que podem ocorrer (JOHNS *et al*., 2006; CORRÊA *et al*., 2011).

O modelo AquaCrop pode ser usado para prever o rendimento das culturas em função da disponibilidade hídrica e dos índices de fertilidade do solo (ADEBOYE *et al*., 2020). Vários estudiosos já utilizaram e testaram o AquaCrop em diferentes partes do mundo para simular a

produtividade das culturas. Em Campos Gerais, Paraná, Piekarski *et al*. (2017), verificaram o desempenho do modelo AquaCrop para simulação da produtividade do milho em três diferentes tipos de solo. Silva *et al*. (2018), calibraram e validaram o modelo AquaCrop para a cultura de soja cultivada mediante diferentes níveis de irrigação na região de Matopiba, Brasil. Na Nigéria Adeboye *et al*. (2020), aderindo a diferentes doses de fertilizantes nitrogenados testaram o modelo para avaliar a produtividade da soja em função da evapotranspiração e do armazenamento de água no solo.

Apesar do AquaCrop ser intuitivo e de fácil manipulação, algumas pesquisas têm mostrado que em situações em que a fertilidade é baixa, o modelo tende a superestimar a CC. Adeboye et al. (2020), descreveram que o AquaCrop apresentou uma boa correlação entre os dados observados e o simulado para a CC das plantas de soja, embora tenha os superestimados quando a fertilidade do solo foi reduzida em 0, 25 e 50%. Eles ainda concluíram que o modelo também superestimou os valores da biomassa simulado quando o solo estava sujeito ao estresse e nutricional por N.

O modelo também se mostrou eficaz após ajustes para simulação da produtividade da cultura do milho na região dos Campos Gerais, no qual os índices de concordância para a produtividade medida e simulada foram superiores a 65% (PIEKARSKI *et al*. (2017).

2.5 ECOFISIOLOGIA DO ALGODOEIRO

O entender os princípios ecofisiológicos das plantas é importante em um cenário de mudanças climáticas, cujo as variações no regime de chuvas e de temperatura são constantes em diferentes partes do mundo, assim novos estudos quanto a seleção e adaptação de materiais genéticos sejam desenvolvidos assegurando a produção de alimentos (DIAS, 2018).

O algodão é uma planta oleaginosa pertencente ao as plantas dicotiledôneas, família das malváceae, seu porte é ereto e seu ciclo pode ser anual ou perene (BELTRÃO; AZEVEDO, 1999). Dotada de raiz principal pivotante formada por raízes secundárias grossas, de caule lenhoso e estatura média a alta constituída por ramos vegetativos. As folhas são presas aos ramos e possuem a aparência cordiforme, as flores são hermafroditas, axilares e seus frutos são capsulares, quando verdes são denominados de maçãs e capulhos quando amadurecem, possuindo de três a cinco lóculos. As sementes são revestidas pela pluma também chamado de fibra (SEAGRI, 2012).

O algodoeiro é muito eficiente no mecanismo de ajustamento osmótico, mas sensível a privação do oxigênio nos tecidos celulares (anoxia e hipoxia), resultando em uma baixa taxa de

fotossíntese (BELTRÃO; AZEVEDO, 1999). O algodoeiro pode sofrer alterações metabólicas devido ao aumento na atividade fotossintética em resposta ao aumento gradativo de concentrações de silício fornecidas em solução nutritiva (FERREIRA, 2008). Isso porque durante o ciclo da planta de algodão vários processos metabólicos estão ocorrendo simultaneamente (ROSOLEM, 2001).

As condições de temperatura, disponibilidade hídrica e fertilidade do solo são determinantes para a emergência das plantas de algodão. Em condições favoráveis a germinação acontece entre 5 e 10 dias, já em que condições em que a temperatura seja relativamente baixa e a disponibilidade de água no solo não seja um fator limitante para germinação da semente a velocidade de embebição das sementes acontece vagarosamente quando comparadas a temperaturas mais elevadas. Com temperaturas médias na ordem de 32°C o tempo para germinação da semente do algodoeiro cai consideravelmente (24 horas) comparando os resultados com temperaturas inferiores a 20°C. Em baixas temperaturas médias do ar, o tempo para emissão da radícula leva aproximadamente 40 horas, que somadas ao tempo de embebição da semente (28 horas), a germinação só acontece após 68 horas (ROSOLEM, 2001).

No Brasil, a produtividade do algodoeiro tem apresentado ganhos expressivos além dos ganhos na produção de fibra e da qualidade. Nas regiões de cerrado a cotonicultura possui grandes investimentos tecnológicos, desde a adoção de cultivares altamente responsivas a utilização de fertilizantes, defensivos agrícolas, reguladores de crescimento e maturadores, tudo isso aliado ao alto nível de conhecimento dos produtores. Ainda existe dificuldades, o algodoeiro possui um elevado custo de produção, falta chuva em algumas regiões e em outras há excesso e elevada umidade relativa do ar e associado a tudo isso o ataque de pragas e doenças (BELTRÃO, 2006).

O algodoeiro é uma planta que necessita de solos férteis para o aumento de sua produtividade. A cultura é mais exigente em nitrogênio e potássio, seguido pelo cálcio, magnésio, fósforo e enxofre. O aumento da produção do algodoeiro está ligado a demanda de nitrogênio (N) pela planta, havendo a necessidade de complementar o nitrogênio fornecido pelo solo via adubação. As recomendações de adubações para solos do cerrado têm como base a produtividade esperada, rotação de cultura e histórico da área, alguns estudos têm apresentados doses na ordem de 100 a 130 kg de N ha^{-1} que possibilitam produtividades médias de até 4.500 kg de algodão em caroço em solos de textura média a argilosa (CARVALHO; FERREIRA, 2006).

Os estádios de crescimento e desenvolvimento do algodoeiro é caracterizado em função de suas fases fenológicas, que são eles: vegetativo (V), formação dos botões florais (B), abertura da flor (F) e abertura do capulho (C). Cada estádio possui uma divisão, o vegetativo que se inicia no V_0, acontece entre a emergência da plântula até que a primeira folha verdadeira tenha 2,5 cm de comprimento, V_1 a partir do limite anterior até que a segunda folha verdadeira tenha 2,5 cm de comprimento e assim sucessivamente até o estágio V_n. O estádio B_1 ocorre quando o primeiro botão floral estiver visível, B_2 quando o primeiro botão floral do segundo ramo reprodutivo estiver visível. O estádio deixará de ser B quando o primeiro botão floral do primeiro ramo frutífero se transformar em flor, passando a ser denominado F_1 até que ocorra a abertura da primeira flor no último ramo frutífero do estádio B_n que passará então a ser denominado F_n. O estádio C1 ocorrerá quando a primeira maça do primeiro ramo se transformar em capulho e assim até que ocorra a abertura do capulho no ramo de número n (MARUR; RUANO, 2003).

A produção agrícola só é possível quando a o solo possuem boas condições de armazenamento de água e a absorção pelas raízes é máxima e as condições climáticas são propícias para o cultivo. A máxima demanda hídrica pela cultura do algodão acontece ainda na fase vegetativa, por volta da decima semana (AZEVEDO *et al*., 1993). Estima-se que consumo médio hídrico do algodoeiro para obtenção de altas produtividades varia entre 400 e 700 mm a depender das condições de climáticas e ciclo da cultura (CARVALHO, 2007; ZONTA *et al*, 2016).

2.6 IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO ALGODOEIRO

Um sistema de irrigação eficiente tem a capacidade de elevar a produtividade do algodoeiro especialmente em plantios de cultivares com características que atendam o mercado mais exigente, como o algodão de fibra longa e extralonga (ZONTA *et al*., 2016). A produtividade média de algodão em caroço na região semiárida, em cultivo de sequeiro (safra 2013/14) foi de 603 kg ha^{-1}, já para as áreas irrigadas a média foi de 3.930 kg ha^{-1} (CONAB, 2014).

O algodoeiro era cultivado totalmente dependente da precipitação natural. Contudo a má distribuição das chuvas e incidência de pragas como a do bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis Boheman*) e o emprego inadequado de tecnologias reduziu significativamente o cultivo da cultura no semiárido brasileiro (BARREIRO NETO; FREIRE, 1987; MOREIRA *et al*., 1989). As alterações no regime de chuvas, no entanto, têm favorecido a queda no rendimento

da cultura nessas regiões (ARAGÃO JÚNIOR *et al*., 1988), em a até 70% na produtividade do algodoeiro (MAGALHÃES *et al*., 1988). Com isso, tem se expandido a cotonicultura irrigada para atenuar os problemas relacionados a escassez hídrica do semiárido (CAMPOS; OLIVEIRA; SANTOS, 1993).

Para instalar um sistema irrigação eficiente é importante conhecer a demanda da cultura e a época oportuna para irrigação, visto que o incremento da agricultura irrigada associados aos custos de produção induzem ao uso eficiente e racional da irrigação (CAMPOS; OLIVEIRA; SANTOS, 1993).

O manejo da irrigação no cultivo do algodão inicia-se antes do plantio, o solo deve estar úmido suficiente para germinação da semente. Zonata *et al*., (2016), descrevem que é ideal que a umidade do solo antes da semeadura esteja na capacidade de campo até os 60 cm de profundidade, conforme as condições iniciais para cada tipo de solo.

A irrigação do algodoeiro pode ser realizada por diferentes sistemas disponíveis no mercado, a escolha decorre das condições climáticas, tipo de solo, relevo e capacidade de investimento. Os sistemas mais utilizados são o sistema por aspersão convencional, pivô central, gotejamento e a irrigação por sulcos (ZONTA *et al*., 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi conduzida durante o ano de 2019 na área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis, cujo solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, situado na região Sul do Estado de Mato Grosso, aproximadamente nas coordenadas geográficas de 16°46’43’’ latitude Sul, 54°58’88’’ longitude Oeste e altitude de 290 m. Após as etapas de preparo do solo por meio de grades aradoras e niveladoras, a semeadura foi realizada no mês de junho. A variedade utilizada foi a cultivar IMA5801B2RF, desenvolvida pelo Instituto Mato-grossense do Algodão (IMA). A semeadura da variedade foi realizada em linhas duplas com espaçamentos entre 0,3 x 0,7 m, com disposição de 8 plantas por metro linear (Figura 3).

De acordo com a classificação climática de Koppen, a região possui duas estações bem definidas, período de estiagem que ocorre nos meses de maio a setembro e o período das chuvas que se inicia em outubro, sendo classificado como tropical chuvoso (Aw).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 3x3 mediante fertirrigação por gotejamento, composto por três tratamentos de irrigação (30, 90 e 150 % da ETc) e três tratamentos de adubação nitrogenada (20, 110 e 200 % da recomendação de adubação nitrogenada). A recomendação de adubação foi com base em Sousa & Lobato (2004). As parcelas experimentais continham dimensões de 5x6 m, somando uma área total de 1200 m^2 (Figura 4).

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, com linhas independentes para os tratamentos de irrigação e fertirrigação. O experimento dispunha de uma linha principal de controle, sendo composto por três cavaletes. Cada um contendo dois hidrômetros e um manômetro para o controle da pressão, dois registros para abertura e fechamento da irrigação e fertirrigação e outros dois registros para que se pudesse acoplar o dosador para auxiliar a fertirrigação.

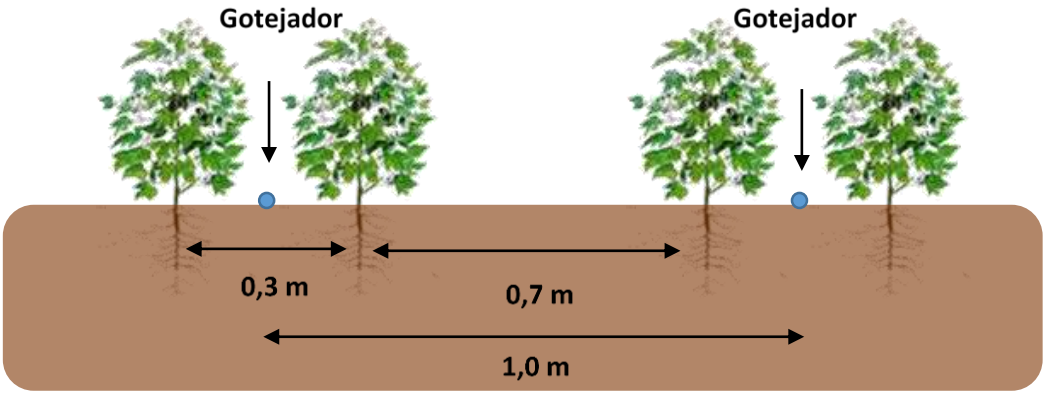

Figura 3. Desenho esquemático do sistema de cultivo adotado e da disposição das fitas gotejadoras.

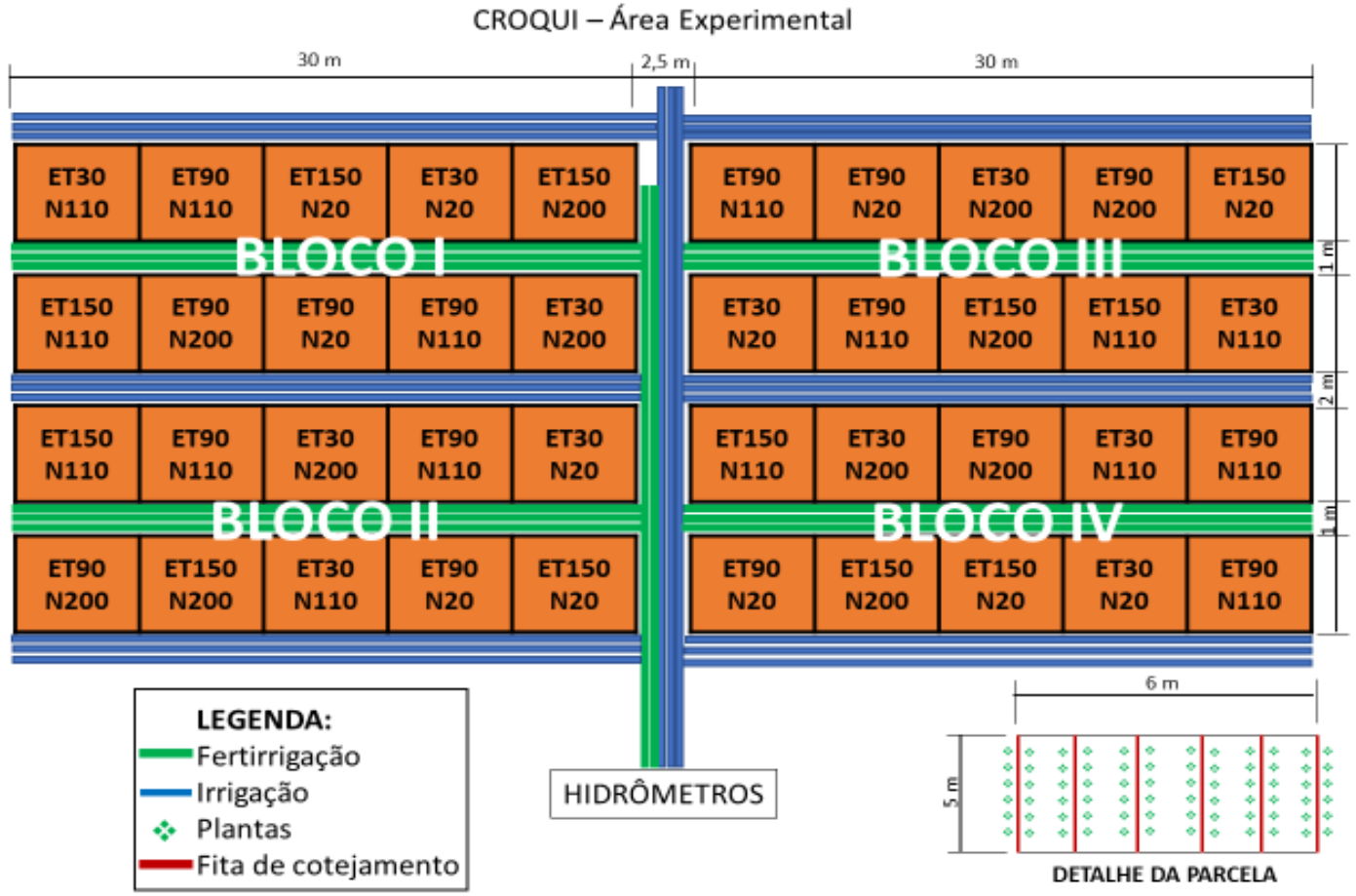

Figura 4. Croqui da área experimental do algodoeiro fertirrigado da Universidade Federal de Rondonópolis. Detalhes das parcelas, linhas de irrigação, fertirrigação e disposição das fitas de gotejamento. (ET e N; Tratamentos de irrigação e fertirrigação baseado na evapotranspiração da cultura e recomendação de adubação em %).

3.2 CULTIVAR

A variedade cultivada ao longo da pesquisa foi recentemente lançada no mercado. Esta tem por característica ciclo curto, bons rendimentos de fibra, além de ser uma das primeiras a serem tolerantes ao nematoide das galhas (*Meloidogyne incognita*), além da resistência a doença de ramulária e ser altamente responsiva a adubação (IMAmt, 2018).

Com isso a variedade IMA5801B2RF foi desenvolvida para melhorar a produtividade em aéreas em que há ocorrência de *Meloidogyne incógnita*, trazendo em seu genótipo a biotecnologia Bollgard 2RF, apresentando resistência a Helicoverpa, lagarta das maçãs, e ao herbicida glifosato, sendo bem adaptadas em cultivos com espaçamentos de 0,5x0,8 m com disposição de 8 a 10 plantas por m linear (BELOT *et al*., 2020).

3.3 ADUBAÇÃO

A recomendação da calagem e adubação foi realizado conforme o laudo da análise química do solo da área experimental (Tabela 1), onde foram coletadas 16 amostras simples de 0-0,20 m de profundidade para compor uma amostra composta.

Tabela 1. Análise química e granulométrica do Latossolo Vermelho distrófico anterior a semeadura, 2019 Rondonópolis, Mato Grosso.

Amostra	pH	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	V	m	MO	Areia	Silte	Argila
	$CaCl_2$	mg dm^{-3}		-------$cmol_c$ dm^{-3}-------				---%---		g/kg	--------g/kg--------		
0,0-0,2 m	4,4	9,6	37	0,8	0,4	0,5	3,6	26,4	27,9	19,5	390	133	477

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

A calagem e adubação foram sucedidas com base nas recomendações de Sousa e Lobato (2004), para a cultura do algodão, sendo necessário 130 kg^{-1} de nitrogênio (N), 120 kg ha^{-1} de fósforo (P), 100 kg ha^{-1} de potássio (K) e 40 kg ha^{-1} de micronutrientes. Em função dos tratamentos de 20, 110 e 200 %, a adubação nitrogenada foi parcelada em 5 vezes em função da quantidade recomendada via fertirrigação, sendo o fertilizante ureia a fonte de N.

Para as fertilizações de N, diluiu-se a ureia em água e realizou-se a aplicação com o auxílio de um dosador Domastic (Figura 5), modelo MiniDos 1% BSD acoplado ao cabeçal de controle e aos hidrômetros para o controle das lâminas de fertirrigação.

Figura 5. Aplicação de nitrogênio via fertirrigação como auxílio do dosador Domastic na área experimentas da Universidade Federal de Rondonópolis-MT.

3.3 IRRIGAÇÃO

As lâminas de irrigação foram controladas por meio do cabeçal de controle composto por três cavaletes (Figura 6). Os cavaletes foram ligados as linhas principais compostas por seis tubos de PVC de 50 mm, sendo três destinados para irrigação da ET30, 90 e 150% e outros três para fertirrigação de N20, 90 e 200%.

Figura 6. Sistema do controle de irrigação e fertirrigação por gotejamento do experimento com algodoeiro durante o ano de 2019 na área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis.

As linhas de derivação foram compostas por tubos de PVC de 20 e 25mm, de acordo com o comprimento da linha (perda de carga). Cada parcela recebeu uma malha individualizada de irrigação composta por dois tubos de 20mm, um em cada extremidade da malha, interligados por 6 linhas laterais (fitas gotejadoras), (Figura 7).

Figura 7. Linha lateral e fitas de gotejamento nas parcelas experimentais do algodoeiro fertirrigado, Universidade Federal de Rondonópolis.

A irrigação foi conduzida por meio do sistema de gotejamento, onde a necessidade de irrigação (NI) foi determinado pela ETc. Os dados de evapotranspiração de referência (ETo) para os cálculos de NI foram obtidos da estação agrometeorológica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Rondonópolis. Essa estação encontrava-se aproximadamente a 300 metros da área experimental. Foram utilizadas as variáveis meteorológicas para estimar a evapotranspiração de referência (ETo) por meio do modelo proposto por Allen *et al*., (1998), conforme expressa a equação 3.

$$ETo = \frac{0{,}408(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U2\ (es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34U2)}$$

Equação 3

em que:

ETo – evapotranspiração de referência (mm d^{-1})
Rn – saldo de radiação (MJ $m^{-2}d^{-1}$)
G – fluxo de calor no solo (MJ $m^{-2}d^{-1}$)
γ – constante psicrométrica (kPa°C^{-1} - Relacionado ao gama
T – temperatura média diária do ar (°C)
U2 – velocidade do vento a 2 m (m s^{-1})
es – pressão de saturação do vapor de água atmosférico (kPa)
ea – pressão parcial atual do vapor de água atmosférico (kPa)
Δ – curva de saturação de vapor (kPa °C^{-1})

Allen *et al*., (1998), determinaram o Kc para o algodoeiro em quatro fases: inicial, desenvolvimento, reprodutivo e final (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes da cultura (Kc) adaptada de Allen *et al*., (1998) para o algodão herbáceo.

Fases	Kc
Inicial	0,35
Desenvolvimento	1,15 – 1,20
Reprodutivo	1,2 – 1,5
Final	0,70 – 0,50

Durante a fase de desenvolvimento as plantas em geral, possuem diferentes necessidade de suprimento de água. Dessa forma, a ETc pode ser calculada pela equação 4.

$$ETc = ETo*Kc$$

Equação 4

Portanto, esses coeficientes foram adotados para determinação da necessidade de irrigação para a cultura do algodoeiro.

A água de irrigação foi armazenada em um reservatório disponibilizado próximo a área de plantio, cujo foi composto por um sistema de bombeamento motorizado, com potência de 5,5 cv ligado a uma tubulação de sucção de 50 mm de diâmetro. O controle da irrigação era composto por seis hidrômetros posicionados estrategicamente na linha principal de irrigação, de maneira que dois hidrômetros atendessem uma única linha.

As linhas principais foram compostas por tubos de PVC de 50 mm com capacidade de suportar até 40 metros de coluna de água (m.c.a), sendo 6 linhas principais, 3 destinadas para fertirrigação e outras 3 exclusivas para irrigação. As linhas laterais comportaram as fitas de gotejamento de polietileno de 16 mm, alimentando 6 fitas gotejadoras, sendo que cada parcela continha 2 tubos de PVC, um para irrigação e outro para fertirrigação.

3.4 COBERTURA DOSSEL

O AquaCrop utiliza a fração da cobertura do dossel (CC) para estimativas da produção de biomassa ao invés do índice de área foliar. O acompanhamento do desenvolvimento da cobertura do dossel foi realizado semanalmente. A aferição do crescimento do dossel foi feita com o auxílio do aplicativo de celular Canopy Cover (Figura 8). O aplicativo Canopy Cover utiliza algoritmos que é capaz de discernir o solo da vegetação, a partir desse processo é identificado os ramos vegetativos com atividade fotossintética, sendo destacada a cor verde que representa as folhas do dossel do algodoeiro.

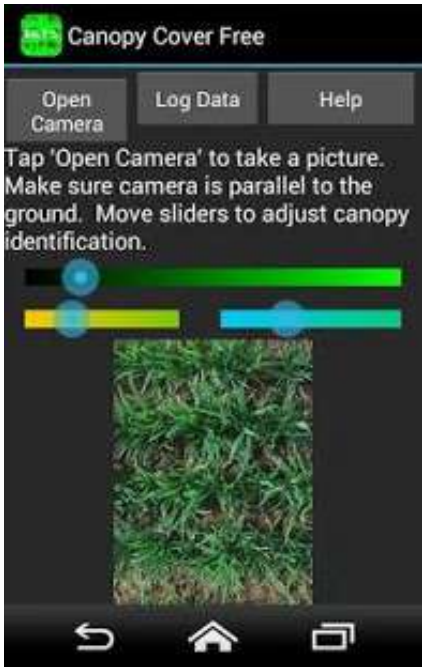

Figura 8. Interface do aplicativo Conopy Cover utilizado para aferição da cobertura do dossel na área experimental do algodoeiro fertirrigado por gotejamento no município de Rondonópolis.

A aferição da cobertura do dossel era realizada sempre pela manhã, em que se direcionava-se a câmera em vista superior às linhas de plantio intermediarias de cada parcela de modo que a câmera capturasse as bordas das linhas nas extremidades, paralelas as linhas intermediarias, conforme ilustra a Figura 9. Após a captura da imagem o aplicativo armazena as informações de cobertura do dossel e posteriormente realizava-se o backup dos dados.

Figura 9. Imagem da cobertura do dossel do algodoeiro fertirrigado na área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis-MT. Captura de imagem feito pela câmera de celular.

3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO

Na fase final do cultivo do algodoeiro foram abertas trincheiras para caracterização físico-hídrica do solo da área experimental (Figura 10). As trincheiras foram abertas com um metro de profundidade e divididas três camadas, no qual foram coletadas quatro amostras de solo em anéis de kopeck, medindo 5,3 cm de altura por 4,9 cm de diâmetro. Os anéis confeccionados em aço inoxidável com bordas cortantes e capacidade interna conhecida (aproximadamente 100 cm^3). Procedeu-se as coletas de solos nos horizontes cravando-se o anel na superfície do solo e posteriormente removendo o excesso de solo que excedia a borda do anel (Figura 11).

Figura 10. Perfil do solo com divisão das camadas para coleta de amostras indeformadas. Área experimental do algodoeiro fertirrigado na Universidade Federal de Rondonópolis-MT até um metro de profundidade.

As trincheiras foram abertas com um metro de profundidade e divididas três camadas, no qual foram coletadas quatro amostras de solo em anéis volumétricos de kopeck, medindo 5,3 cm de altura por 4,9 cm de diâmetro. Os anéis confeccionados em aço inoxidável com bordas cortantes e capacidade interna conhecida (aproximadamente 100 cm^3), procedeu-se as coletas de solos nos horizontes cravando-se o anel na superfície do solo e posteriormente removendo o excesso de solo que excedia a borda do anel (Figura 11).

Figura 11. Coleta de solo na área experimental do algodoeiro fertirrigado da Universidade Federal de Rondonópolis-MT.

Os anéis com as amostras de solo foram encaminhados para o laboratório de Agrometeorologia e Mecânica dos Solo da Universidade Federal de Rondonópolis. As amostras foram preparadas e inseridas em bandeja com água para saturação do solo (Figura 12). Após o solo saturado pesou-se as amostras e encaminhou para câmara de pressão de Richards para determinação do ponto de murcha permanente (15 Bar). Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 105ºC, para determinar densidade do solo e a porosidade total. A capacidade de campo foi determinada em *situ*, de acordo com método proposto por Brito *et al*., (2011).

Figura 12. Recipiente com amostras de solo saturado do algodoeiro fertirrigado, Rondonópolis-MT.

Para determinar a densidade do solo utilizou a seguinte equação:

$$\rho_d = \frac{m_s}{V}$$

Equação 5

Onde:
ρ_d – Densidade do solo kg m^{-3}
m_s – Massa do solo seco kg
V – Volume do anel m^3

A condutividade hidráulica saturada foi determinada utilizando um permeâmetro de carga constante (Figura 13). Para tanto mediu-se a vazão da água em um intervalo de cinco minutos, de acordo com a seguinte e expressão:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Equação 6

Onde:
Q – Vazão, em cm^3/min
V – Volume de água, em cm^3
t – Tempo, em min

A condutividade hidráulica foi calculada pela equação de Darcy:

$$Q = K * A * \frac{h}{L}$$

Equação 7

Onde:
Q – Vazão, em cm^3/min
K – Condutividade hidráulica, em cm/min
A – Área transversal do solo, em cm^2
h – Carga total dissipada ao longo do movimento da água, em cm
L – Comprimento do solo, em cm

Figura 13. Permeâmetro de carga constante utilizado para medir a condutividade hidráulica do solo saturado do algodoeiro fertirrigado da área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis-MT.

Os dados obtidos através das características hídricas e físicas do solo são elementos necessários para parametrização do modelo. Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos atributos físicos e hídricos do Latossolo Vermelho distrófico da área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis: porosidade, densidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e condutividade hidráulica de amostras de solo coletadas em diferentes camadas na área do algodoeiro, safra de 2019.

Tabela 3. Parâmetros hidráulicos do Latossolo Vermelho distrófico cultivado com algodoeiro fertirrigado, Rondonópolis-MT.

Camada (m)	**Textura**	**Porosidade (m^3 m^3)**	**Densidade do solo (kg m^3)**	**Capacidade de campo (%)**	**Ponto de murcha permanente (%)**	**Condutividade hidráulica saturada (mm d^{-1})**
0,0 – 0.20	Franco-argiloso	0,49	1320	22	13	600
0,20 – 0.40	Franco-argiloso	0,51	1300	22	14	1700
0.40 – 1,50	Franco-argiloso	0,53	1170	22	15	3800

3.6 PRODUTIVIDADE DE ALGODÃO CAROÇO

As análises de produtividade do algodão em caroço foram realizadas por meio da separação do caroço e semente, com posterior pesagem em uma balança digital (Figura 14). Os valores foram expressos em kg ha^{-1}.

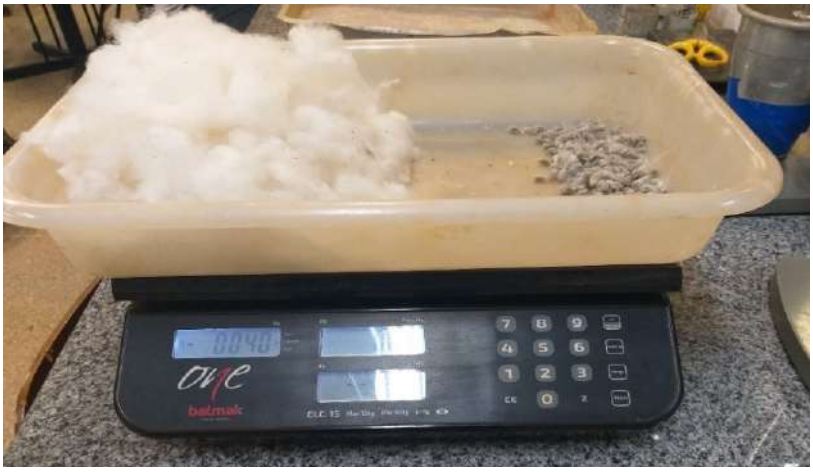

Figura 14. Pesagem do algodão, pluma mais caroço do algodoeiro fertirrigado da área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis-MT.

A determinação da massa seca da parte aérea também foi expressa em kg ha^{-1} e realizada pelo seguinte método: dentro da área útil da parcela, foram selecionadas dez plantas, na qual foram cortadas próximas ao solo com todas as suas estruturas reprodutivas. As plantas foram armazenadas e posteriormente colocadas para secagem a 65 ºC até atingirem o peso constante. Posteriormente foi realizado a pesagem com o auxílio de uma balança digital.

3.7 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DO MODELO

Com o modelo AquaCrop (versão 6.1), foi realizada a simulação da biomassa da parte aérea e da produtividade do algodão em caroço. Esses dados foram comparados com os dados medidos, por meio do coeficiente de determinação (r^2), e o índice de concordância de Willmott *et al* (1985). A interpretação dos indicadores estatísticos (r^2 e o índice de Willmott (d)), foi realizada de acordo com os critérios usados por Camargo e Sentelhas (1997), em que o índice de confiança (c) é obtido do produto do coeficiente r^2 e d conforme (Tabela 4).

Tabela 4. Critérios atribuídos para intepretação dos resultados do índice de confiança (c) conforme Camargo e Sentelhas (1997).

Valor de c	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,75 – 0,85	Muito bom
0,66 – 0,75	Bom
0,61 – 0,65	Mediano
0,51 – 0,60	Sofrível
0,41 – 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

A Tabela 5 traz algumas informações específicas para a cultura, no qual são dados que foram medidos durante a condução da pesquisa, como: cobertura do dossel, dias até a emergência, dias até a floração etc. Os parâmetros obtidos para parametrização do modelo AquaCrop para cultura do algodoeiro fertirrigado são apresentados no Quadro 1.

Tabela 5. Parâmetros relacionados à planta utilizados no modelo AquaCrop.

Parâmetro	Obtenção
Cobertura inicial do dossel	
Cobertura inicial do dossel	Medido
Desenvolvimento da cultura	
Tempo da semeadura a emergência	Medido
Tempo da semeadura a cobertura máxima do dossel	Medido
Tempo da semeadura a maturidade	Medido
Cobertura máxima da copa	Medido
Florescimento e formação da produção	
Tempo da semeadura ao florescimento	Medido
Duração do florescimento	Medido
Desenvolvimento da raiz	
Profundidade máxima da raiz	Medido
Tempo da semeadura até a profundidade máxima da raiz	Literatura
Produção	
Índice de colheita	Medido

Quadro 1. Parametrização do modelo AquaCrop para algodoeiro cultivado em níveis de água e nitrogênio no município de Rondonópolis-MT.

PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DO ALGODOEIRO NECESSÁRIOS PARA O MODELO AQUACROP										
Nível de água e Nitrogênio	Cobertura inicial do dossel (%)	Dias até a emergência	Cobertura máxima do dossel (%)	Dias até máxima cobertura do dossel	Dias até a floração	Duração da floração	Dias até a maturação	Comprimento máximo do sistema radicular (m)	Índice de colheita	Dias até o máximo comprimento do sistema radicular
ET 90% e N 110 %	0,95	4	53,53	84	63	38	129	1,0	0,47	108
ET 90% e N 20 %	1,1	4	38,05	77	63	38	129	1,0	0,51	108
ET 30% e N 200%	0,9	4	37,9	77	63	38	129	1,0	0,46	108
ET 90% e N 200%	1,4	4	61,45	77	63	38	129	1,0	0,46	108
ET 150% e N 20%	1,1	4	44,85	84	63	38	129	1,0	0,54	108
ET 30% e N 20 %	0,75	4	54,3	99	63	38	129	1,0	0,54	108
ET 150% e N 200%	1,25	4	47,4	77	63	38	129	1,0	0,45	108
ET 150% e N 110%	1,15	4	55,3	77	63	38	129	1,0	0,46	108
ET 30% e N 110%	1,1	4	33,2	71	63	38	129	1,0	0,50	108

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DADOS METEOROLÓGICOS

A evapotranspiração da cultura (ETc) acumulada durante o ciclo do algodoeiro fertirrigado foi de 558,9 mm, com mínima de 1,4 e máxima de 6,7 mm dia^{-1} (Figura15). A máxima ETc demonstrada no presente estudo são semelhantes aos valores encontrados em outras cultivares de algodão em distintas regiões brasileiras: 7,1 e 6,7 mm dia^{-1} (AZEVEDO *et al*., 1993; BEZERRA *et al*., 2012).

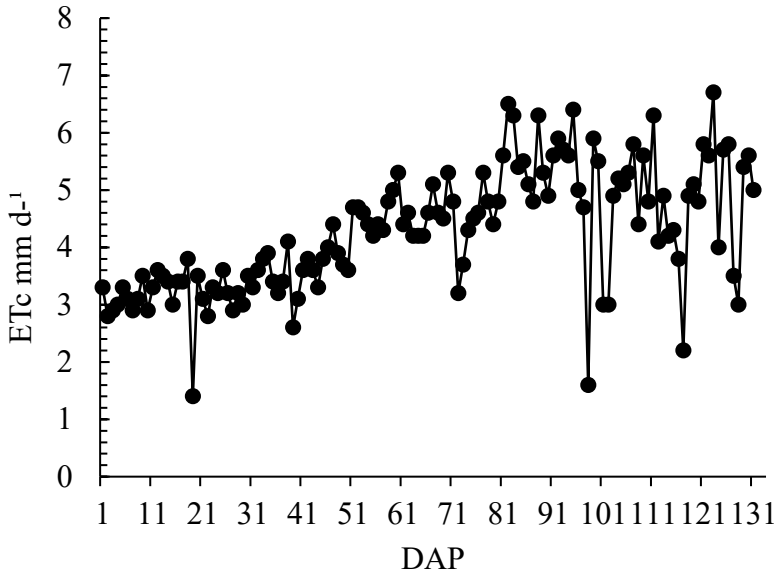

Figura 15. Médias diárias da Evapotranspiração da cultura (mm) para o município de Rondonópolis-MT.

Zonta et al., (2015), avaliaram que o déficit na irrigação do algodão herbáceo reduziu a produtividade de algodão em caroço em 26% em comparação com a disponibilidade hídrica adequada. O algodão quando cultivado sob estresse hídrico pode apresentar estatura reduzida e baixo número de estruturas reprodutivas (BATISTA; SOUZA; FERREIRA, 2010).

No período de emergência até os 10 DAP (10 dias após o plantio), a ETc média foi de 3,2 mm dia^{-1}. Durante o desenvolvimento vegetativo, entre 7 e 65 DAP, a ETc média atingiu 3,7 mm dia^{-1} e no estágio reprodutivo, entre 70 e 100 DAP, a ETc alcançou valores médios de 5,0 mm dia^{-1} e por último, no período de maturação da cultura, a ETc média chegou 4,8 mm dia^{-1} até 129 DAP. Azevedo *et al*., (1993), Conrad *et al*. (2007) e Bezerra *et al*. (2012), também relataram variações na ETc ao longo do ciclo da cultura do algodoeiro. Aos 70 e 120 DAP, a

ETc alcançou valores superiores a 6,0 mm dia^{-1} para o algodoeiro herbáceo cultivado entre janeiro e agosto no oeste baiano (BEZERRA *et al*.,2012).

A sensibilidade da cultura as variações climáticas afetam diretamente as características fisiológicas da planta. A elevação da temperatura média do ar interfere no crescimento e no desenvolvimento das culturas, afetando a fenologia e comprometendo a partição de assimilados em diferentes partes da planta o que leva ao mal desenvolvimento das estruturas reprodutivas da planta (ROCHA *et al*., 2012).

As temperaturas observadas durante a condução do experimento utilizadas para calibração do modelo para o cultivo do algodoeiro são demonstradas na Figura 16. A temperatura média observada para o período de 2019 foi de 26,8 °C e de 51,8% de umidade média relativa do ar ao longo do ciclo da cultura para a época de plantio.

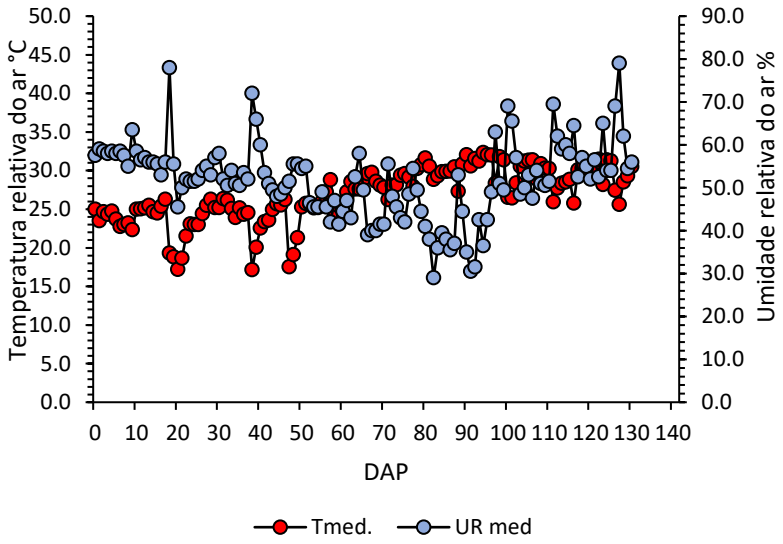

Figura 16. Dados diários de temperatura relativa média do ar (Tmed. °C) e umidade relativa média do ar (URmed %) para o município de Rondonópolis-MT observadas dias após o plantio (DAP), safra 2019.

As variações na temperatura e umidade relativa média do ar manteve-se dentro da média regular para o cultivo do algodoeiro na região de Rondonópolis. De acordo com Azevedo e Silva (2007), temperaturas entre 20 e 30 °C são ideias para uma produção satisfatória da cultura.

4.2 PRODUTIVIDADE DO ALGODÃO

Analisando os testes de médias para as variáveis produtivas (Tabela 6), percebe-se que a maior lâmina de irrigação (ET150) obteve as maiores médias de produtividade. O coeficiente

de variação (C.V) de 7,44 e 7,61 % para peso de capulhos (PC) e peso de sementes (PS) revela boa precisão experimental.

Para os tratamentos de irrigação, o tratamento ET30 demonstrou diferença significativa para o tratamento ET150. O tratamento ET90 não diferiu estatisticamente em relação aos demais tratamentos.

Tabela 6. Comparação de médias para as variáveis de número de capulhos (CAP), peso de capulhos (PC), peso de fibra (PF) e peso de sementes (PS).

FATOR	CAP (g)	PC (g)	PF (g)	PS (g)
Irrigação				
ET30	26,25 b	171,14 b	111,56 b	128,93 b
ET90	34,25 ab	182,97 ab	131,52 ab	137,03 ab
ET150	36,25 a	192,75 a	145,94 a	144,3 a
Nitrogênio				
N20	26,58 b	168,61 b	108,54 b	127,3 b
N110	33,63 ab	187,08 a	136,74 a	138,82 a
N200	36,75 a	189,79 a	141,99 a	143,54 a
ET	3,8 *	7,63*	5,09*	6,55*
N	3,63*	8,93*	5,67*	7,81*
ETxN	0,37 NS	0,64 NS	1,38 NS	7,74 NS
C.V	29,32	7,44	20,44	7,61

NS: não significativo (P>0,05); *: significativo (P<0,05); C.V: coeficiente de variação.

A adubação nitrogenada favorece o aumento do número de capulhos por planta. Santos *et al*. (2016), elevaram o número de capulhos no algodão irrigado e adubado com N, no qual evidenciaram que a dose de 120 mg de N kg^{-1} associado a água de irrigação com menor salinidade permitiu uma produção média de 67,3 capulhos por planta de algodão.

Nos tratamentos de fertirrigação, o rendimento produtivo do algodoeiro se assemelha aos das lâminas de irrigação, o que esclarece a não interação entre os tratamentos ETxN. Analisado isoladamente os tratamentos de fertirrigação N110 e N200 não foi observado diferenças significativas para as variáveis PC, PS e o peso de fibra (PF). O número de capulhos (CAP) para N110 não se diferenciou dos demais tratamentos.

Para a variável produtividade de algodão em caroço (PAC), observa-se na Tabela 7 que houve diferença estatística isolada entre os tratamentos. Em ambos os casos, a menor produtividade ocorreu no menor nível de água e nitrogênio. Em contrapartida, nos maiores níveis, não houve diferença estatística.

Tabela 7. Comparação do teste de médias para a variável de produtividade do algodão em caroço (PAC).

FATOR	PAC (kg ha^{-1})
Irrigação	
ET30	924 b
ET90	1298 a
ET150	1587 a
Nitrogênio	
N20	886 b
N110	1389 a
N200	1456 a
ET	12,45 *
N	10,83 *
ETxN	0,58 NS
C.V	25,61

NS: não significativo (P>0,05); *: significativo (P<0,05); C.V: coeficiente de variação.

As lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada, quando analisadas de modo isolado, proporcionaram o crescimento constante no rendimento final do algodão em caroço. Diversos estudos associam o fator irrigação e adubação nitrogenada no rendimento da cultura do algodão: Singh *et al*. (2010), Wang *et al*. (2018), Oweis *et al*. (2011) e Zonta *et al*. (2016), ambos em seus estudos relataram que níveis de irrigações centrais associados as maiores doses de N elevaram o rendimento do algodão aos menos em um atributo.

A ausência do N levou às menores concentrações foliares de N durante o cultivo do algodoeiro irrigado no semiárido. Os maiores rendimentos foram encontrados na utilização de 142 kg ha^{-1} de N para a cultivar Topázio para o ano de 2016, obtendo um rendimento na produtividade de algodão em caroço de 4.104,58 kg ha^{-1} (TARTAGLIA *et al*., 2020).

A fertirrigação nitrogenada N110, proporcionou acréscimo na PAC em 36,2% em comparação ao menor tratamento N20. O nitrogênio eleva as taxas fotossintéticas do algodoeiro, ampliando o acúmulo de assimilados, elevando a produtividade (LIMA, 2019).

4.3 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

4.3.1 Biomassa da parte aérea e produtividade de algodão em caroço

O desempenho do modelo foi avaliado em relação aos conjuntos de dados experimentais da safra de 2019. O tratamento com evapotranspiração de 90% e fertirrigação de 110%

(ET90N110) foi considerado o tratamento de referência, já que não houve diferença estatística entre os demais tratamentos.

A simulação da biomassa da parte aérea e produtividade de algodão em caroço com o modelo AquaCrop, seguiu o seguinte fluxograma (Figura 17). Inicialmente efetuou-se a parametrização do modelo e simulação da produtividade para o tratamento ET90N110. Posteriormente, com o programa já parametrizado, simulou-se o efeito do estresse hídrico (ET30N110). Em seguida, se iniciou o processo de calibração do modelo para avaliar o efeito do estresse nutricional sobre a produtividade (Figura 18). Após a calibração, avaliou-se o efeito do estresse nutricional (ET90N20), e por fim, o estresse hídrico e nutricional associados (ET30N20).

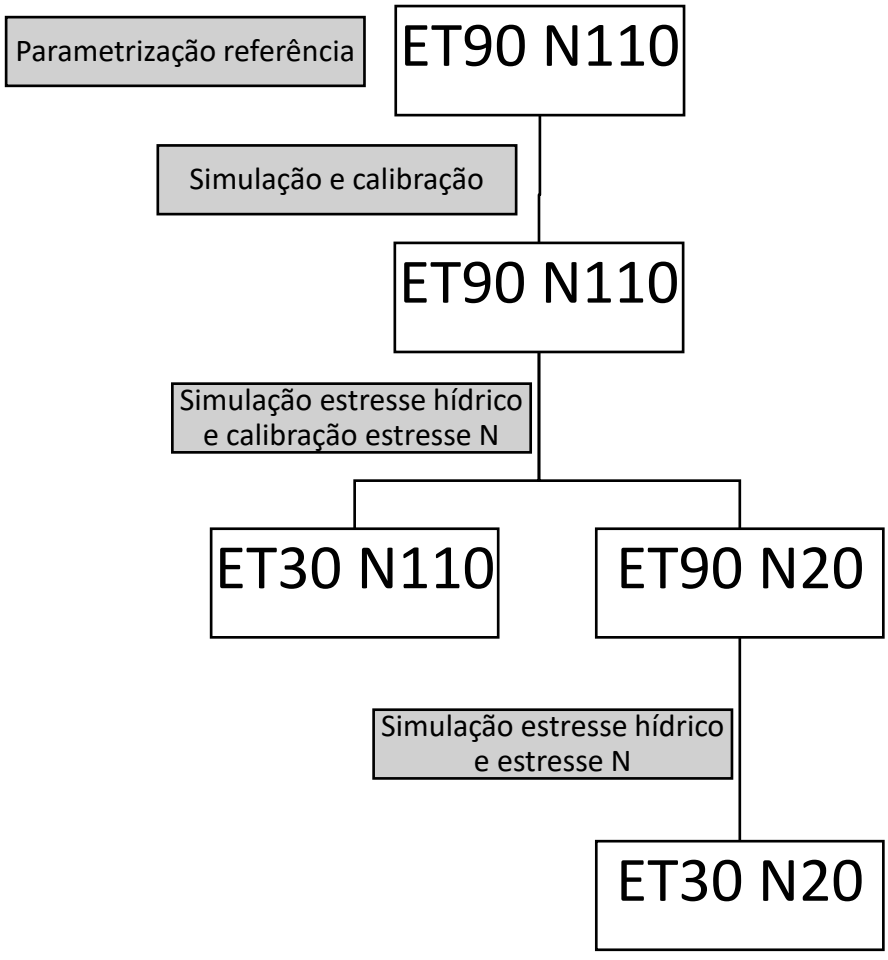

Figura 17. Esquema representativo das etapas realizadas no modelo AquaCrop para calibração do estresse hídrico e nutricional para o experimento do algodoeiro fertirrigado no município de Rondonópolis-MT.

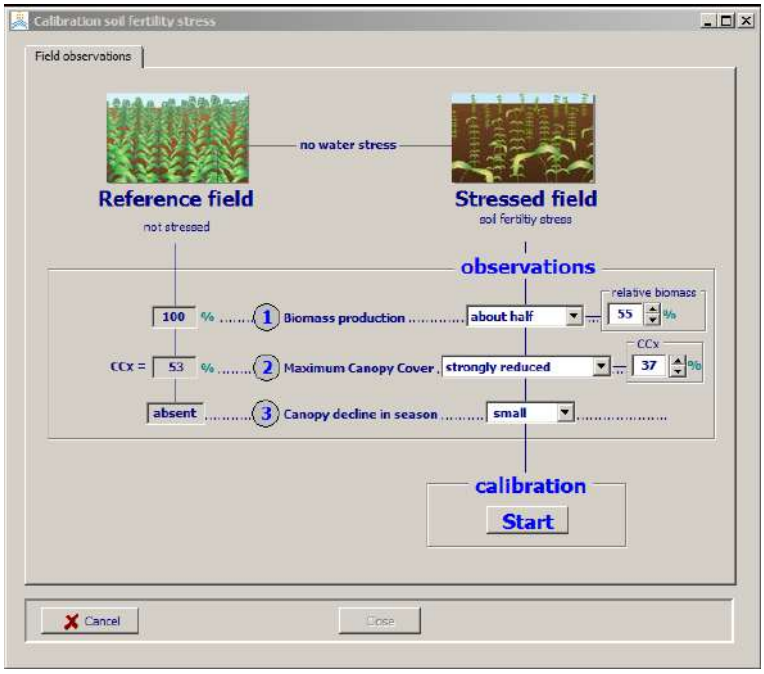

Figura 18. Imagem representativa da janela de calibração do modelo AquaCrop para a cultura do algodoeiro fertirrigado para o município de Rondonópolis – MT.

Em outra etapa, foi feita a parametrização do modelo com os dados do tratamento ET150N110. Após a simulação da produtividade, o modelo foi calibrado para avaliar o estresse nutricional para a irrigação 150% ETC, ou seja, tratamento ET150N20. Os resultados da simulação da produtividade estão apresentados na Figura 19 e Tabela 8.

A simulação das variáveis produtivas, biomassa e algodão em caroço, pelo modelo AquaCrop, foram superiores aos dados medidos. Observa-se de modo geral que os maiores erros ocorrem para simulação dos tratamentos com estresse (Tabela 8). Apesar disso, os parâmetros estatísticos R^2, d e c, foram maiores que 0.90, o que classifica o desempenho do modelo como "ótimo", de acordo com Camargo & Sentelhas (1997).

Vieira *et al*., (2020), utilizando o modelo AquaCrop observaram boa correlação entre os dados medidos e simulados na produção de biomassa do feijão-caupi. A produtividade simulada para o ano de 2016 na validação do modelo AquaCrop variou de 684 a 1.596 kg ha^{-1}, enquanto os valores medidos variaram de 577 a 1.680 kg ha^{-1} para o mesmo ano, o que segundo os autores os resultados foram semelhantes, fazendo com que o modelo apresentasse pequenos erros relativos de 5,3 e 6% para os tratamentos analisados durante a fase de validação.

Tabela 8. Produtividade simulada e observada para biomassa e algodão em caroço em kg ha^{-1}.

Tratamento	Biomassa (kg ha^{-1})		Erro Absoluto (%)	Algodão em caroço (kg ha^{-1})		Erro Absoluto (%)
	AquaCrop	Medido		AquaCrop	Medido	
ET90N110	7964	6740	18.2	3495	3027	15.5
ET90N20	4606	3867	19.1	2027	1562	29.8
ET30N110	5084	3680	38.2	2075	1678	23.6
ET30N20	3907	2880	35.7	1652	1270	30.1
ET150N110	8721	7360	18.5	3488	3005	16.1
ET150N20	4559	3840	18.7	1824	1722	5.9

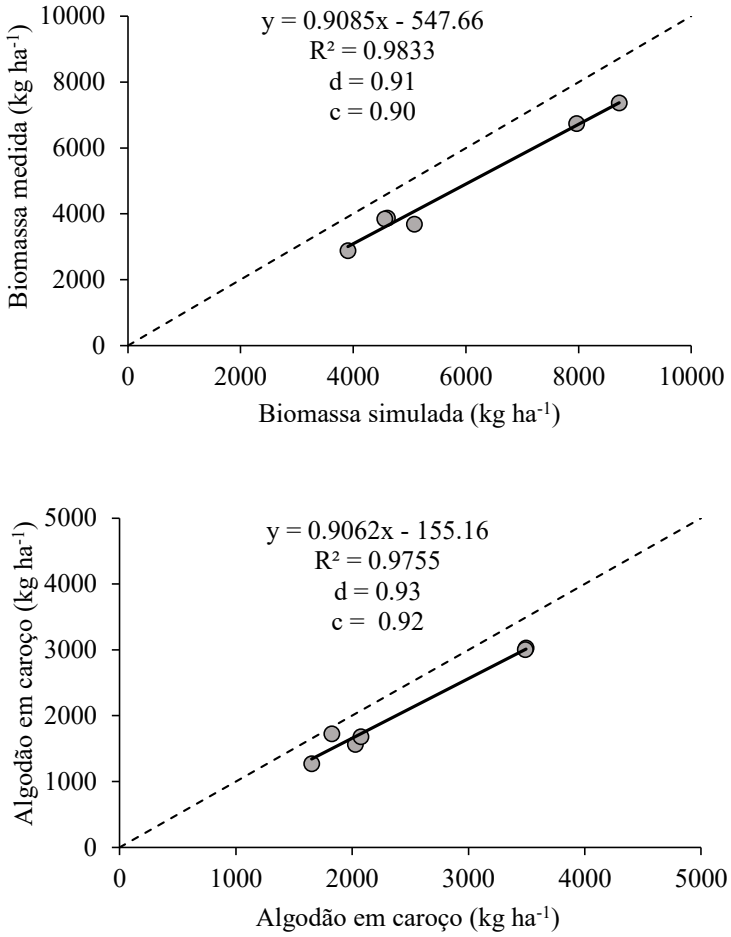

Figura 19. Biomassa e produtividade do algodão em caroço medida e simulada para o algodoeiro fertirrigado no município de Rondonópolis – MT.

Rosa, Souza e Tsukahara (2019), analisando o desempenho do modelo AquaCrop na simulação de variedades de trigo, verificaram que o modelo obteve um ótimo desempenho nas simulações, apresentando coeficientes de correlação de 0,94 e 0,87, mostrando que o ajuste dos parâmetros obtidos no processo de calibração se adequou para as variedades de trigo na região

de estudo. Ran *et al*. (2018) avaliando os biomassa produzida pela cultura do milho, observaram que o AquaCrop superestimou mais de 30% dos dados de produção dos tratamentos. Os autores ainda associaram essas superestimativas a adoção de valor fixo (16,5 gm^{-2}) para o parâmetro de produtividade da água (WP), pois o modelo também permite que se considere variação natural da disponibilidade de água ao longo do ciclo.

A produtividade do algodão em caroço durante o ano 2019 ficou abaixo das médias projetadas pela CONAB (2021) para a safra 2019/20 para estado de Mato Grosso, com estimativas de 4351 kg ha^{-1} para o estado e 4371 kg ha^{-1} no âmbito nacional. A diferença na produtividade em comparação com a média nacional, pode ter vindo a ocorrer pelos fatores de estresses hídricos provocadas nos tratamentos de menor ETc associados as menores doses de fertirrigação e ao ataque de ácaro na fase reprodutiva da espécie. Segundo Souza et al., (2008) o nitrogênio e a água possuem papeis fundamentais nos processos metabólicos das plantas, influenciando no rendimento das culturas.

Em estudos avaliando-se a adubação nitrogenada e a água de irrigação por gotejamento no algodoeiro herbáceo Zonata et al., (2016) constataram que a adubação nitrogenada de 210 kg ha^{-1} associada a ET de irrigação de 130% contribuíram para com o ganho na produtividade de algodão em caroço em 5707 kg ha^{-1}.

4.3.2 Cobertura do dossel

As figuras apresentam os resultados da simulação da cobertura do dossel (CC). A parametrização do modelo iniciou-se inserindo os dados de campo da cobertura máxima do dossel observado para o tratamento de referência (ET90N110), que foi de 53,5% aos 84 DAP. Os gráficos que representam a CC, demonstram a dinâmica de crescimento do dossel medido x simulado até a fase de maturação (Figuras 20, 21 e 22). A taxa de crescimento do dossel foi constante aproximadamente até os 100 DAP para todas as variáveis com estresse e sem estresse nutricional, após esse período nota-se uma queda gradativa da CC.

O estresse hídrico quando simulado com tratamento de ET30N110 (Figura 20), apresentou elevado crescimento da cobertura do dossel (CC), com taxa de expansão de 45,8% a 73 DAP. A ocorrência desse fato pode estar diretamente ligada a ação do N na planta. O N participa ativamente na síntese de clorofila e na formação de proteínas, as plantas com concentrações satisfatórias de N tendem a desenvolver um bom desenvolvimento da parte área e ao mesmo tempo, o erro pelo excesso pode provocar redução na qualidade do produto (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Na simulação do estresse hídrico e nutricional (ET30N20), as plantas do algodoeiro tiveram crescimento reduzido com resultados muito próximo aos dados medidos, tendo em vista que a maior taxa de evolução do dossel simulada foi de 30,9% aos 87 DAP (Figura 21). A maior demanda de água pelas plantas surge na fase reprodutiva, sendo primordial para seu desenvolvimento produtivo, de modo que a absorção de água e nutrientes ocorrem simultaneamente (MEURER, 2007).

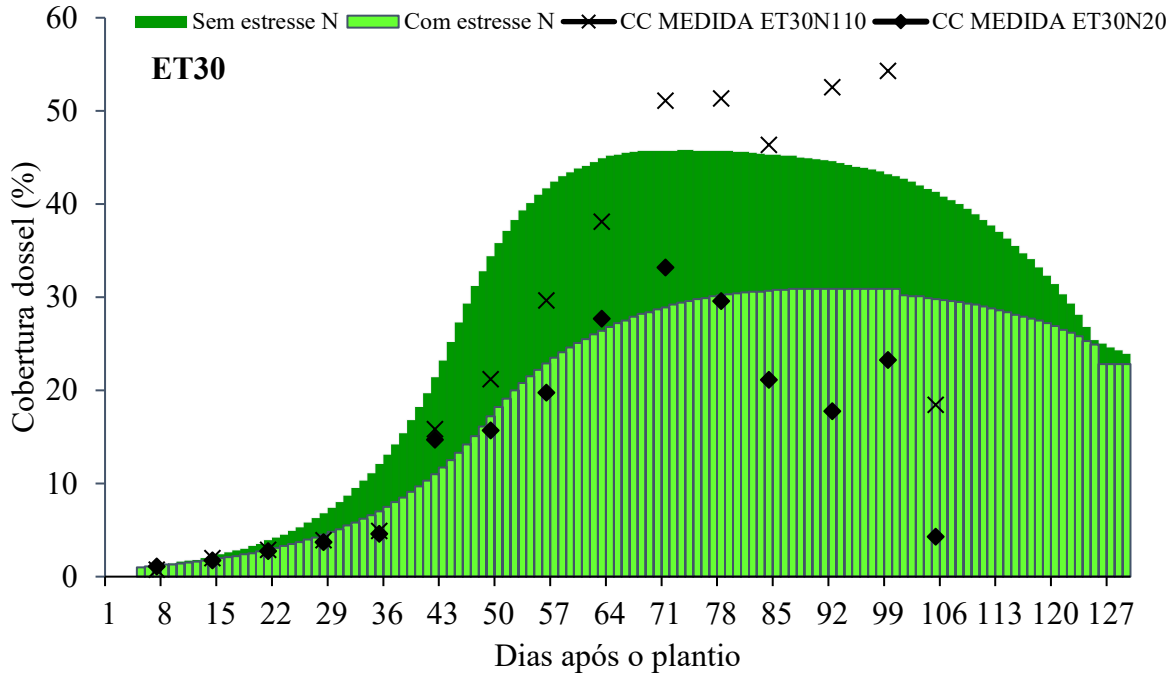

Figura 20. Cobertura do dossel medida e simulada para os tratamentos ET30N110 e ET30N20 para os fatores de estresse e sem estresse de N, para o algodão fertirrigado no município de Rondonópolis-MT.

A avaliação da cobertura do dossel verde na parametrização do AquaCrop para a cana de açúcar na região de Rio Largo e Campos dos Goytacazes chegou a apresentar 95% da cobertura do solo aos 180 dias. Analisando os coeficientes de determinação (r^2 = 0,99, d= 0,99), foi possível observar uma boa concordância entre os dados medido e simulados pelo modelo (ALENCAR, 2014).

A CC simulada para ET90N110 pelo modelo chegou a 45,2% aos 60 DAP e a 52,7% aos 100 DAP (Figura 21). Já para a simulação do estresse de N é possível perceber uma redução na taxa de crescimento da CC. Em comparação com os dados medidos, o crescimento do dossel foi semelhante até aos 56 DAP, com cobertura de 24,6 e 26,4%, após esse período houve um maior crescimento da ET90N110 até aos 84 DAP. Já a cobertura do dossel simulada para o tratamento ET150N110 apresentou um crescimento de 52,7 e 54,8% aos 98 e 94 DAP respectivamente (Figura 22).

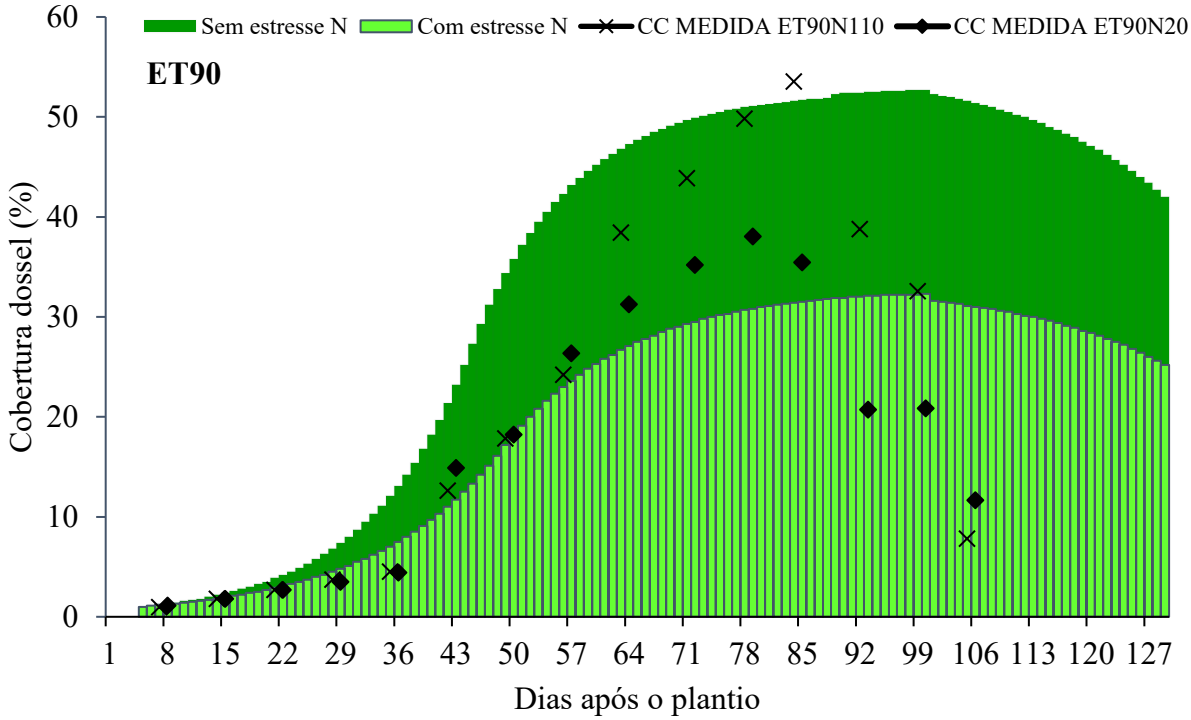

Figura 21. Cobertura do dossel medida e simulada dos tratamentos ET90N110 e ET90N20 para os fatores de estresse e sem estresse de N, para o algodão fertirrigado no município de Rondonópolis – MT.

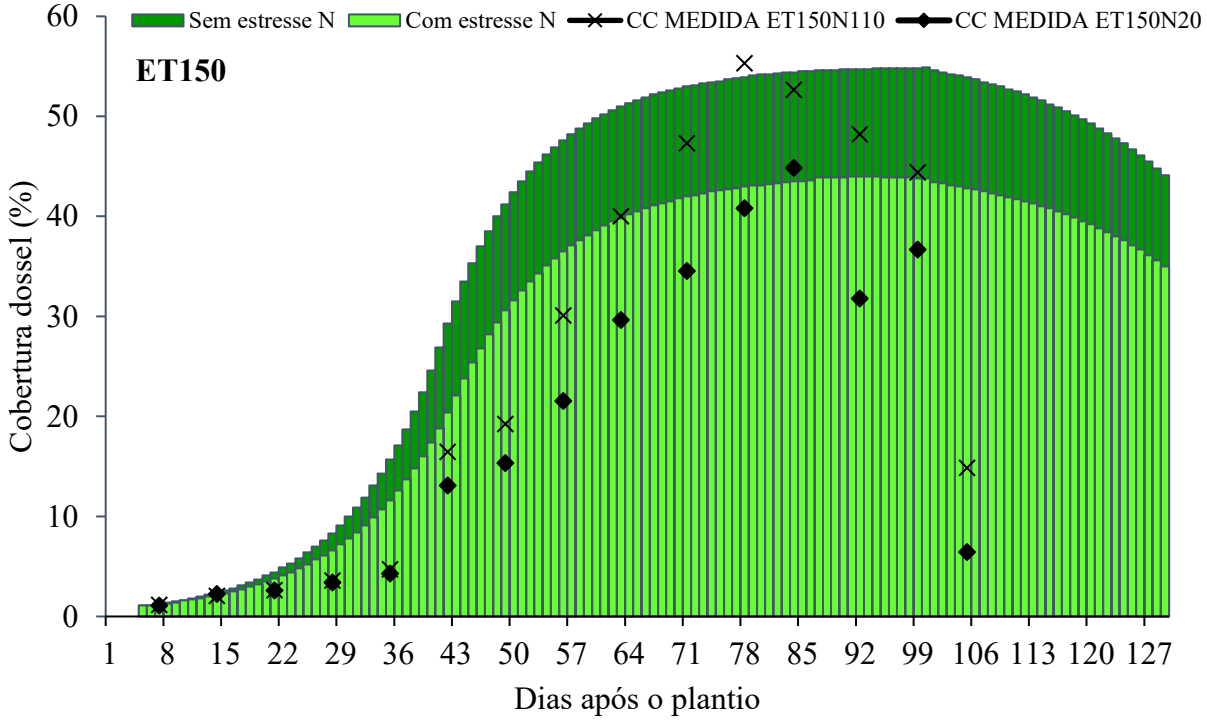

Figura 22. Cobertura do dossel medida e simulada dos tratamentos ET1150N110 e ET150N20 para os fatores de estresse e sem estresse de N, para o algodão fertirrigado no município de Rondonópolis – MT.

Outros trabalhos contribuem com este estudo para a CC do algodoeiro fertirrigado no cerrado mato-grossense, pois resultados semelhantes aos descritos neste estudo já foram comprovados avaliando-se ouras culturas com o AquaCrop. Cavalcanti Júnior (2019), encontrou semelhanças nas simulações da CC em relação a cobertura medida, o modelo apresentou uma ótima concordância até os 81 DAP, com desvios padrão de 2,3; 2,3; 1,4 e 1,2 em suas quatro avaliações. Por outro lado, estudos com a cultura do trigo no Irã demonstraram que os valores simulados pelo AquaCrop ficaram próximos aos medidos até a fase de floração, após esse período observou-se uma queda repentina no crescimento do dossel. De acordo com os autores, esta variação pode estar associada ao aumento da temperatura (ANDARZIN *et al*., 2011).

As simulações para o ano de condução do experimento não apresentaram alta concordância entre os valores medidos e os simulados a partir dos 40 DAP. Possivelmente o ataque de ácaro rajado no período de floração da cultura, a partir dos 60 DAP contribuiu para a queda do crescimento repentino do dossel medido. O controle do ácaro rajado foi realizado através da adoção de defensivos agrícolas recomendados para a praga em questão e utilizado conforme orientação do fabricante. A princípio a ocorrência de ácaros ocorre em condições de altas temperaturas e ausência de chuvas, inicialmente com a presença de reboleiras, e que aos poucos vai se alastrando por toda a plantação. A infestação de ácaro-rajado diminui a taxa fotossintética das plantas e que afeta diretamente a quantidade e qualidade dos frutos a serem produzidos (FADINI; PALLINI; VENZON, 2004). A incidência de ácaros na lavoura provoca manchas cloróticas na face superior das folhas, semelhante ao aspecto de ferrugem que se desenvolve por toda a folha, podendo ocasionar a queda prematuras das folhas em altas infestações, devido à perfuração das células da epiderme (BERNARDI *et al*., 2010).

4.3.3 Simulação da transpiração e umidade do solo

Os processos de transpiração pelas plantas e evaporação direta do solo, que ocorrem simultaneamente correspondem a ETc. Nos estudos realizados para a cultura do algodão fertirrigado, apontam que o valor máximo medido para a ETc diária foi de 4,7 mm aos 84 DAP na fase de abertura das maçãs.

A transpiração máxima e a transpiração real foram semelhantes para o tratamento de ET90N110 até os 120 DAP, e a partir de então, a transpiração real tem um leve decréscimo por um curto período, em seguida, já no fim do ciclo da cultura a taxa de transpiração máxima volta a e se igualar com a evapotranspiração real (Figura 23). Nota-se também que o armazenamento

de água para este tratamento, se manteve próximo ao valor do armazenamento na capacidade de campo, o que evidencia a não ocorrência de estresse hídrico.

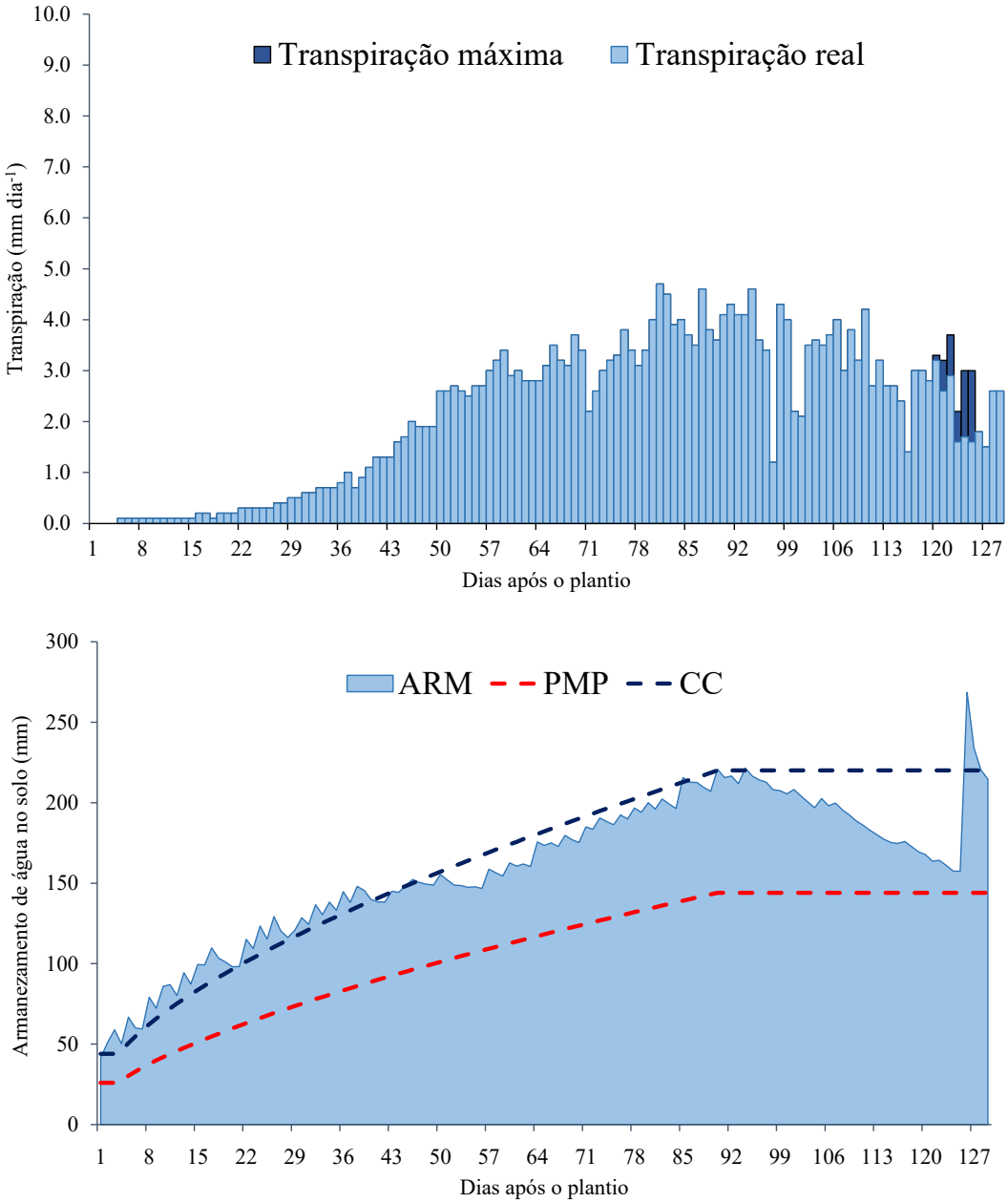

Figura 23. Simulação da evapotranspiração real e máxima e dos níveis de armazenamento de água no solo para a ET90N110, referente ao armazenamento de água no solo (ARM), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de campo (CC) para o Latossolo Vermelho distrófico no município de Rondonópolis-MT.

Para o tratamento com estresse hídrico (ET30N110) pode-se observar que a transpiração real ficou abaixo da transpiração máxima a partir dos 65 DAP (Figura 24). Observa-se também que o ARM se manteve abaixo da capacidade de campo a partir dos 45 DAP, período no qual

foi induzido o estresse hídrico. Na fase inicial, no qual a cultura estava se estabelecendo, não houve indução de estresse.

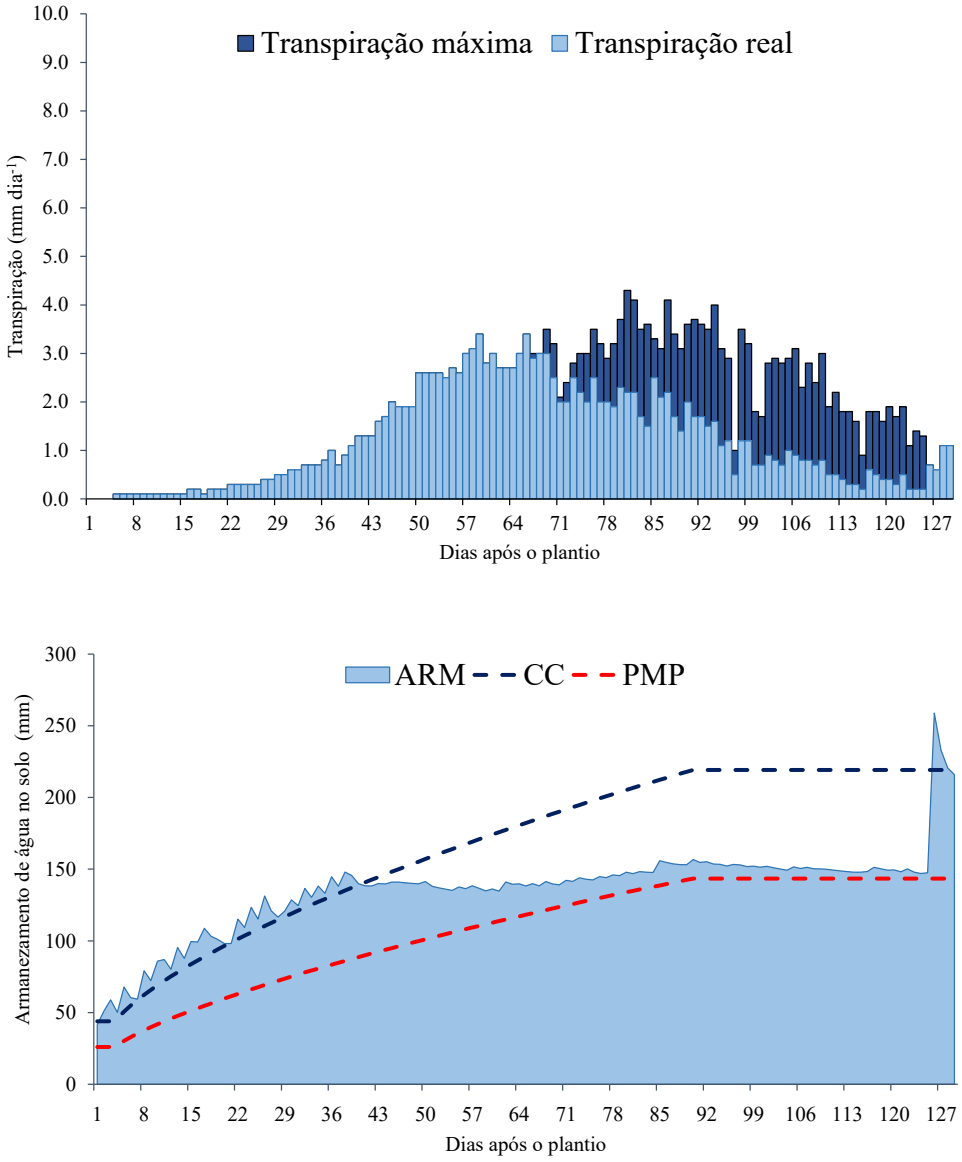

Figura 24. Simulação da evapotranspiração real e máxima e dos níveis de armazenamento de água no solo para a ET30N110, referente ao armazenamento de água no solo (ARM), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de campo (CC) para o Latossolo Vermelho distrófico no município de Rondonópolis-MT.

Vieira *et al*. (2020) obtiveram boa concordância nos resultados com os coeficientes de correlação e concordância (0,97 e 0,98; 0,99 e 0,99) na simulação do armazenamento de água no solo durante os processos de validação do modelo AquaCrop. Um bom índice de determinação na calibração desses parâmetros permite com que o modelo calcule de forma eficiente o conteúdo de água no solo (BERUSK; PEREIRA; SENTELHAS, 2015).

CONCLUSÃO

O modelo AquaCrop foi parametrizado para o algodoeiro cultivado em segunda safra, cultivar IMA5801B2RF, sob condições de estresse hídrico e nutricional (N). Após a parametrização, a produtividade de algodão em caroço, simulada nas condições com e sem estresse hídrico e nutricional foi superior aos valores medidos.

Em geral, os erros de simulação da produtividade de algodão em caroço são maiores nas condições de estresse hídrico ou nutricional, ou de maneira associada, cujo maior erro foi de 30%, para o tratamento ET30N20 (Erro Absoluto). Apesar disso, os parâmetros estatísticos R^2, d e c, foram de 0.97, 0.93 e 0.92, respectivamente, o que comprova o potencial do modelo para previsão de rendimento do algodoeiro cultivado em segunda safra.

REFERÊNCIAS

ABRAPA (Brasil). Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. **Algodão no Mundo**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>. Acesso em: 28 set. 2019.

ABRAPA. **Algodão no Brasil**. Associação Brasileira de Produtores de Algodão. Brasília, 2021. Disponível em: https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Brasil.aspx. Acesso em: 28 jul. 2021.

ADEBOYE, Omotayo B. et al. Application of the AquaCrop model in decision support for optimization of nitrogen fertilizer and water productivity of soybeans. **Information Processing in Agriculture**, 2020.

ALENCAR, Leônidas Pena de. Parametrização e validação do modelo AquaCrop para a cultura da cana-de-açúcar. 2014.

ALGODÃO: História. 2019. ADVFN. Disponível em: https://br.advfn.com/investimentos/commodities/algodao/historia. Acesso em: 26 ago. 2019.

ALLEN, Richard G. *et al*. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. 1-300, 1998.

ALMEIDA, Érica Samara Araújo Barbosa de *et al*. Algodoeiro herbáceo submetido a déficit hídrico: produção. **Embrapa Algodão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017.

AMIPA (Brasil). Associação Mineira dos Produtores de Algodão. **Sobre o Algodão**: História. Patos de Minas, 2019. Disponível em: <https://amipa.com.br/sobre-o-algodao/historia?p=sobre-o-algodao/historia>. Acesso em: 29 set. 2019.

AMIPA. 2019. ASSOCIAÇÃO MINEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. Disponível em: https://amipa.com.br/informativos/2019. Acesso em: 12 jul. 2021.

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 jul. 2021.

AMPA (Brasil). Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão. **História do Algodão**. Cuiabá, 2012. Disponível em: <http://ampa.com.br/site/qs_historia.php>. Acesso em: 28 set. 2019.

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

ANA (Brasil). Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2017. Atlas. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/publicacoes>. Acesso em: 28 set. 2019.

ANDARZIAN, B et al. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. **Agricultural Water Management**, v. 100, n. 1, p. 1-8, 2011.

ANDARZIAN, B et al. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. **Agricultural Water Management**, v. 100, n. 1, p. 1-8, 2011.

ARAGÃO JÚNIOR, T. C.; MAGALHÃES, CA de; SANTOS, CSV dos. Estudo de_lâminas de irrigação na cultura do algodão harbáceo. 1989.

AZeVEDO, Pedro Vieira de *et al*. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 7, p. 863-870, 1993.

BARREIRO NETO, M.; FREIRE, E. C. O problema da cotonicultura da regiao setentrional ea estrategia da EMBRAPA-CNPA. 1987.

BATISTA, Rafael Oliveira; SOUZA, José Antonio Rodrigues de; FERREIRA, Daniel Coelho. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, v. 57, n. 1, p. 18-22, 2010.

BELOT, Jean-Louis *et al*. IMA 5801B2RF, insect-resistant and glyphosate-tolerant cotton cultivar, with resistance to root-knot nematode. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, 2020.

BELOT, Jean-Louis; VILELA Patrícia Andrade *et al* (ed.). **O sistema de cultivo do algodoeiro adensado em Mato Grosso**: embasamentos e primeiros resultados: atas do

workshop de cuiabá. Cuiabá: Editora Defanti, 2010. 390 p. Instituto Matogrossense do Algodão - IMA.

BELTRÃO, Napoleão Esberard de Macedo. **Breve história do algodão no nordeste do Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. 17 p.

BELTRÃO, NE de M. *et al*. Algodão agroecológico: opção de agronegócio para o semiárido do Brasil. **Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E)**, 2009.

BELTRÃO, NE de M.; AZEVEDO, DMP de. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999.

BERNARDI, Daniel *et al*. Teias de prejuízo. **Embrapa Uva e Vinho-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.

BERUSKI, Gustavo Castilho; PEREIRA, André Belmont; SENTELHAS, Paulo Cesar. Desempenho de diferentes modelos de estimativa da radiação solar global em Ponta Grossa, PR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 205-213, 2015.

BEZERRA, Marcus Vinícius Cândido *et al*. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoeiro irrigado a partir de imagens de sensores orbitais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 64-71, 2012.

BORGHETTI, José Roberto *et al* (ed.). Agricultura irrigada sustentável no Brasil: identificação de áreas prioritárias. **Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura**, Brasília, 243 p, 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i7251o.pdf>. Acesso em: 26 set. 2019.

BORGHETTI, Jose. Roberto *et al*. 43 Agricultura irrigada sustentável no Brasil: Identificação de áreas prioritárias. 1. ed. Brasília: FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 243p. 2017.

BRAGA, Daniely F. Adubação nitrogenada e fosfatada na cultura do girassol em solo alcalino da Chapada do Apodi. **RN**, v. 53, 2010.

BRAGA, Marcos Brandão. Sistema de produção de melão. **Embrapa Semiárido**: Sistemas de produção, Petrolina, agosto 2010. ISSN - 1807-0027.

BRANDÃO, Ziany Neiva *et al*. ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO & I COTTON EXPO 2011, 8., 2011, Campina Grande. **Anais [...] .** São Paulo: Embrapa Algodão, 2011. p. 1602-1609.

BRITO, Alexsandro dos Santos *et al*. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1939-1948, 2011.

CAMARGO, AP de; SENTELHAS, Paulo Cesar. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMPELO JUNIOR, José Holanda *et al*. Estimativa da retenção de água em Latossolos do Cerrado mato-grossense cultivados com algodão. **Revista agro@ mbiente on-line**, v. 8, n. 3, p. 318-326, 2014.

CAMPOS, TG DA S.; DE OLIVEIRA, F. A.; DOS SANTOS, J. W. Efeito de níveis de nitrogênio sobre a productividade do algodoeiro herbáceo irrigado. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 17, n. 2, p. 311-314, 1993.

CARON, Braulio Otomar et al. Equações de estimativa da fitomassa da parte aérea da alface. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1248-1254, 2007.

CAVALCANTE JUNIOR, Constantino Antônio *et al*. Desempenho do modelo AquaCrop/FAO® para cultivo do milho em Alagoas. 2019.

CARVALHO, Maria. Da Conceição S.; FERREIRA, Gilvan Barbosa. Calagem e adubação do algodoeiro no cerrado. **Embrapa Algodão-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2006.

CIRIELLO, Valeria; GUERRINI, Iraê Amaral; BACKES, Clarice. Doses de nitrogênio no crescimento inicial e nutrição de plantas de guanandi. **Cerne**, v. 20, p. 653-660, 2014.
CONAB (2014). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Disponível em: <https://www.ampa.com.br/arquivos/conab/09102013110643.pdf>. Acessado em: 04 de jul. de 2021.

COÊLHO, Jackson Dantas. **Algodão**: produção e mercados. 166. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2021. 11 p.

CORRÊA, Simone Toni Ruiz *et al*. Aplicações e limitações da modelagem em agricultura: revisão. **Revista de Agricultura**, v. 86, n. 1, p. 1-13, 2011.

DECHEN, Antônio Roque, NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro. Elementos requeridos à nutrição de plantas.In: NOVAIS, Roberto Ferreira et al. Fertilidade do Solo.Viçosa, MG**; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**,2007.

DIAS, João Paulo Tadeu. 1 IMPORTÂNCIA DA ECOFISIOLOGIA VEGETAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA CULTURAS AGRÍCOLAS. **Editora da Universidade do Estado de Minas Gerais Belo Horizonte 2018**, p. 9.

DONIN, Natan. Agricultura de Precisão: Análise Temporal de Cobertura do Solo pelo Dossel da Soja. Passo Fundo: Imed, [2019].

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. **Irrigation and drainage paper**, v. 33, p. 257, 1979.

DOS SANTOS, João Batista et al. Morfofisiologia e produção do algodoeiro herbáceo irrigado com águas salinas eadubado com nitrogênio. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 1, p. 86-96, 2016.

FADINI, Marcos Antonio Matiello; PALLINI, Angelo; VENZON, Madelaine. Controle de ácaros em sistema de produção integrada de morango: revisão bibliográfica. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1271-1277, 2004.

FAO (Italy). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *In*: RAES, Dirk *et al*. **Reference manual**: AquaCrop version 6.0 – 6.1. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. with the contribution of the AquaCrop Network. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-br246e.pdf>. Acesso em: 21 set. 2019.

FAO. Food and Agriculture Organization os the United Nations. **AquaCrop**. [*S. l.*], 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/aquacrop/overview/whatisaquacrop/en/>. Acesso em: 21 set. 2019.

FARIAS, Thon Jovita. Estudo do Biceps femoris e Triceps brachii de cordeiros alimentados com caroço de algodão integral ou desintegrado, com ou sem lignosulfonato de cálcio. 2018.

FERREIRA, Silvio Marcos. **O efeito do silício na cultura do algodoeiro (Gossypium hirsutum L.): aspectos bioquímicos, qualidade de fibra e produtividade**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FUNDAÇÃO DE APOIO A PESQUISA E DESENVOLVIMENTO INTEGRADO RIO VERDE. **08**: Segunda Safra 2003, Algodão, Milho, Sorgo. Lucas do Rio Verde: Fundação Rio Verde, 2003. 53 p.

GREAVES, Geneille E.; WANG, Yu-Min. Assessment of FAO AquaCrop model for simulating maize growth and productivity under deficit irrigation in a tropical environment. **Water**, v. 8, n. 12, p. 557, 2016.

GUIMARÃES, Wellington Donizete *et al*. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 247-255, 2016.

HELLAL, Hadjira *et al*. Dynamic and stability analysis of functionally graded material sandwich plates in hygro-thermal environment using a simple higher shear deformation theory. **Journal of Sandwich Structures & Materials**, p. 38, 2019.

HENG, Lee Kheng *et al*. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. **Agronomy journal**, v. 101, n. 3, p. 488-498, 2009.

IMAmt (Brasil). Instituto Mato-grossense do algodão *et al*. **IMA 5801B2RF**: nova opção para o controle do nematoide das galhas. Cuiabá: [*s. n.*], [2018]. Disponível em: <https://imamt.org.br/wp-content/uploads/2019/03/IMA_5801B2RF-folder.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2019.

JOHNS, Tim C. *et al*. The new Hadley Centre climate model (HadGEM1): Evaluation of coupled simulations. **Journal of climate**, v. 19, n. 7, p. 1327-1353, 2006.

LIMA, Geovani S. de *et al*. Eficiência fotoquímica, partição de fotoassimilados e produção do algodoeiro sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 214-225, 2019.

LIMA, Jorge EFW; SILVA, Cícero L. da; OLIVEIRA, Carlos A. da S. Comparação da evapotranspiração real simulada e observada em uma bacia hidrográfica em condições naturais de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, p. 33-41, 2001.

LOPES, Alfredo Scheid. Nitrogênio. *In*: INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO (Brasil). **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. rev. Piracicaba: Potafos, 1998. cap. 3, p. 37-50.

LÓPEZ, A. *et al*. Diagnóstico do potencial de nitrificação e desnitrificação em solo sob pastagens de Brachiaria sp. e solo sob plantio direto e convencional. **Embrapa Agrobiologia-Documentos (INFOTECA-E)**, 1998.

MAGALHÃES, Antonio R. *et al*. **The effects of climatic variations on agriculture in northeast Brazil**. Kluwer Academic Publishers, 1988.

MARIN, Ivan Silvestre Paganini. **Aperfeiçoamento do método de elementos analíticos para simulação de escoamento em rochas porosas fraturadas**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MATTIONI, Fabio. *et al.* Desempenho de sementes de algodoeiro submetidas a diferentes tipos de estresses. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 01, p. 080-085, 2009.

MEURER, E. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F. *et al*. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 65-90.

MARUR, Celso Jamil; RUANO, Onaur. Escala do algodão: um método para determinação de estádios de desenvolvimento do algodoeiro herbáceo. **Piracicaba: Potafós**, p. 3-4, 2004.

MOREIRA, J. et al. Algodoeiro mocó: uma lavoura ameaçada de extinção. **EMBRAPA-CNPA. Documentos**, 1989.

MURGA-ORRILLO, Hipólito et al. Influência da cobertura morta na evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência de uso de água do milho cultivado em cerrado. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 352-352, 2016.

NASCIMENTO, Audenis Fagner de Jesus et al. Produção e aporte de carbono, nitrogênio e fósforo na serapilheira foliar do Parque Nacional Serra de Itabaiana. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 35-46, 2018.

OCHOA, Ricardo F. León; MAURTUA, Domingo M. Portuguez. MODELACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL RIO PIURA - PERU, CONSIDERANDO LA INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO. **Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal Of High Andean Research**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 182-193, 25 jul. 2019. Universidad Nacional Del Altiplano Puno Peru.

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, n. 8, p. 1239-1248, 2011.

PIEKARSKI, K. R. *et al*. Estimativa da produtividade da cultura da soja considerando a influência dos atributos físico-hídricos do solo na região dos Campos Gerais. In: **CONGRESSO ONLINE DE AGRONOMIA**. 2017.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA (Brasil). Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional. Crise hídrica afeta milhões de pessoas no mundo e ameaça segurança alimentar. **Notícias**, [*S. l.*], p. 1, 20 jul. 2017. Disponível em: <http://www4.planalto.gov.br/consea/comunicacao/noticias/2017/julho/crise-hidrica-afeta-milhoes-de-pessoas-no-mundo-e-ameaca-seguranca-alimentar>. Acesso em: 26 set. 2019.

RAN, Hui et al. Parameterization of the AquaCrop model for full and deficit irrigated maize for seed production in arid Northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 438-450, 2018.

ROCHA, Renato Santos *et al*. Desempenho agronômico de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina-PI. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 154-162, 2012.

ROSA, Helton Aparecido *et al*. Nitrogênio na cultura do Algodão. **Acta Iguazu**, v. 1, n. 1, p. 64-68, 2012.

ROSA, Stefanie Lais Kreutz; SOUZA, Jorge Luiz Moretti de; TSUKAHARA, Rodrigo Yoiti. Desempenho do modelo AquaCrop para a cultura do trigo na zona subtropical no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, n. X, p. 01238, 2019.

ROSOLEM, Ciro A. Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro. **Informações Agronômicas**, v. 95, p. 1-9, 2001.

SANTOS, João Batista dos *et al*. Morfofisiologia e produção do algodoeiro herbáceo irrigado com águas salinas eadubado com nitrogênio. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 1, p. 86-96, 2016. DOI 10.14295/CS.v7i1.1158. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6294754>. Acesso em: 22 set. 2019.

SHAREEF, Muhammad *et al*. Impact of drought on assimilates partitioning associated fruiting physiognomies and yield quality attributes of desert grown cotton. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 40, art. 71, 2018.

SILVA, Roberta Araújo et al. Impacto das mudanças climáticas sobre a produtividade e pegada hídrica da soja cultivada na região do Matopiba. 2018.

SINGH, Yudhveer; RAO, Sajjan Singh; REGAR, Panna Lal. Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment. **Agricultural water management**, v. 97, n. 7, p. 965-970, 2010.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de; LOBATO, Edson (ed.). **Cerrado**: Correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. 416 p. ISBN 85-7383-230-4.

STAUT, Luiz Alberto *et al*. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do algodoeiro em sistema plantio direto. **Embrapa Agropecuária Oeste-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2002.

STEDUTO, Pasquale *et al*. **Crop yield response to water**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012.

SUGANUMA, Márcio Seiji *et al*. Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e uma floresta madura. **Revista Árvore**, v. 32, p. 377-385, 2008.

TARTAGLIA, Francilene de L. *et al*. Dose econômica de nitrogênio para produção de algodão naturalmente colorido irrigado na região semiárida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 11, p. 783-789, 2020.

TEIXEIRA, Itamar Rosa; KIKUT, Hamilton; BORÉM, Aluízio. Crescimento e produtividade de algodoeiro submetido a cloreto de mepiquat e doses de nitrogênio. **Instituto Agronômico de Campinas**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 891-897, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/908/90811214011.pdf>. Acesso em: 28 set. 2019.

VIEIRA, Igor Cristian de Oliveira *et al*. USO DO MODELO AQUACROP PARA O FEIJÃO-CAUPI CULTIVADO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EM CASTANHAL-PA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, 2020.

VIEIRA, Rosana Faria. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília: Embrapa, 2017. 177 p. ISBN 978-85-7035-780-9. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/175460/1/2017LV04.pdf>. Acesso em: 27 set. 2019.

WANG, Haidong *et al*. 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.

WILLMOTT, Cort J. *et al*. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

ZAMBOLIM, Laércio; VENTURA, José Aires. Resistência a doenças induzida pela nutrição mineral das plantas. *In*: VENTURA, José Aires; ZAMBOLIM, Laércio; ZANÃO JÚNIOR, Luiz Antônio. **Efeitos da nutrição mineral no controle de doenças de plantas**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia UFV, 1993. v. 1, p. 275-318.

ZONTA, João Henrique et al. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 43-52, 2015.

ZONTA, João Henrique *et al*. 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, n. 1, p. 118-126, 2016.

ZONTA, João Henrique *et al*. Manejo da irrigação do algodoeiro. **Circular Técnica**, Paraíba, n. 139, p. 8, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141494/1/Manejo-da-irrigacao.pdf>. Acesso em: 26 set. 2020.

ANEXO

Anexo 1. Defensivos agrícolas utilizados durante a condução do experimento com algodão fertirrigado por gotejamento no ano de 2019.

Dias após a semeadura	Produto comercial	Recomendação (L ha^{-1})	Classe
8	Roundap	4	Herbicida sistêmico
11	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
15	Tracer	150 mL/ha	Inseticida não sistêmico
18	Tiger 100 EC	500 mL/ha	Inseticida contato
21	Roundap	4	Herbicida sistêmico
23	Sumidan 25 EC	300 mL/ha	Inseticida contato
25	Actara 250 WG	200 g/ha	Inseticida sistêmico
28	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Tracer	150 mL/ha	Inseticida não sistêmico
	Tiger 100 EC	500 mL/ha	Inseticida contato
32	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Actara 250 WG	200 g/ha	Inseticida sistêmico
34	Roundap	4	Herbicida sistêmico
36	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
39	Epingle 100	500 mL/ha	Inseticida contato
44	Tiger 100 EC	500 mL/ha	Inseticida contato
	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
49	Roundap	4	Herbicida sistêmico
52	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida

			sistêmico
	Tracer	150 mL/ha	Inseticida não sistêmico
	Tiger 100 EC	500 mL/ha	Inseticida contato
61	Acetamiprid CCBA 200 SP	300 g/ha	Inseticida sistêmico
	Kraft 36 EC	300 mL/ha	Inseticida Acaricida
67	Roundap	4	Herbicida sistêmico
68	Marshal Star	1	Inseticida sistêmico
	Malathion 1000 EC Cheminova	1.5	Inseticida contato
74	Malathion 1000 EC Cheminova	1.5	Inseticida contato
	Polo 500 SC	6	Inseticida Acaricida
77	Roundap	4	Herbicida sistêmico
	Smite	230 mL/ha	Acaricida contato
86	Marshal Star	1	Inseticida sistêmico
	Kraft 36 EC	300 mL/ha	Inseticida Acaricida
94	Malathion 1000 EC Cheminova	1.5	Inseticida contato
	Polo 500 SC	6	Inseticida Acaricida
	Roundap	4	Herbicida sistêmico
106	Engeo Pleno TM S		Inseticida sistêmico
	Smite	230 mL/ha	Acaricida contato
115	Malathion 1000 EC Cheminova	1.5	Inseticida contato
	Polo 500 SC	6	Inseticida Acaricida
	Roundap	4	Herbicida sistêmico