



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS II-LAGOA SECA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS - CCAA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

RAÍRES LILIANE DE OLIVEIRA CRUZ

Ecofisiologia do algodoeiro FM 966 sob lâminas de irrigação e aplicação de trifosfato de adenosina

**LAGOA SECA - PB
2025**

RAÍRES LILIANE DE OLIVEIRA CRUZ

Ecofisiologia do algodoeiro FM 966 sob lâminas de irrigação e aplicação de trifosfato de adenosina

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. José Felix de Brito Neto

Coorientador: Prof. Dr. Francisco de Assis da Silva

LAGOA SECA
2025

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C957e Cruz, Raires Liliane de Oliveira.
Ecofisiologia do algodoeiro FM 966 sob lâminas de irrigação
e aplicação de trifosfato de adenosina [manuscrito] / Raires
Liliane de Oliveira Cruz. - 2025.
45 f. : il.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
Agronomia) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de
Ciências Agrárias e Ambientais, 2025.

"Orientação : Prof. Dr. José Felix de Brito Neto, Centro de
Ciências Agrárias e Ambientais".

"Coorientação: Prof. Dr. Francisco De Assis da Silva, ".

1. Algodoeiro (Gossypium spp.). 2. Manejo hídrico. 3.
Respiração celular. I. Título

21. ed. CDD 633.51

RAIRES LILIANE DE OLIVEIRA CRUZ

ECOFISIOLOGIA DO ALGODOEIRO FM 966 SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E
APLICAÇÃO DE TRIFOSFATO DE ADENOSINA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
de Agronomia da Universidade Estadual
da Paraíba, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharela em
Agronomia

Aprovada em: 06/06/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado eletronicamente por:

- **Mirandy dos Santos Dias** (***.463.474-**), em **16/06/2025 11:37:26** com chave **6c87b8e84abf11f0b1951a7cc27eb1f9**.
- **José Felix de Brito Neto** (***.163.144-**), em **16/06/2025 11:34:48** com chave **0e25eb084abf11f0966a06adb0a3afce**.
- **Messias Firmino de Queiroz** (***.632.954-**), em **16/06/2025 11:56:20** com chave **1006cb604ac211f09d471a1c3150b54b**.

Documento emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QrCode ao lado ou acesse https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Folha de Aprovação do Projeto Final

Data da Emissão: 16/06/2025

Código de Autenticação: 0f56fc



AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora, toda a minha eterna gratidão. Foram minha luz, minha força e meu refúgio em cada passo desta jornada. Nos momentos de dificuldade, incerteza e cansaço, foi n'Ele que encontrei coragem para seguir em frente e concluir mais esta etapa da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Félix de Brito Neto, meu sincero agradecimento por sua orientação firme, atenta e generosa. Sou imensamente grata por sua dedicação, disponibilidade e amizade. Agradeço por cada conversa, cada sugestão e, principalmente, por acreditar em mim desde o meu primeiro PIBIC, em 2020.

Ao meu coorientador e amigo, Prof. Dr. Francisco De Assis da Silva, deixo minha profunda gratidão pela parceria, paciência e pela clareza com que sempre me ajudou a enxergar novos caminhos. Seu comprometimento, espírito colaborativo e apoio constante foram essenciais para que este trabalho se tornasse possível, principalmente por acreditar em mim, mesmo nos momentos em que eu mesma duvidei.

Aos membros da banca, Dr. Mirandy Dias e Prof. Dr. Messias Firmino, que já participaram de outras bancas e, novamente, aceitaram meu convite, minha sincera gratidão pelas contribuições, pelas críticas construtivas e por fazerem parte deste momento tão importante.

Aos meus pais, avós, tios, tias, primos e amigos que sempre estiveram ao meu lado com amor incondicional, apoio, orações e palavras de encorajamento, meu mais profundo agradecimento. Sem vocês, nada disso faria sentido.

Ao meu irmão (Jonh Vitor) à minha cunhada, e à minha futura sobrinha (Maya) que me encheram de orgulho, carinho e esperança ao longo deste processo, muito obrigada por estarem sempre presentes, mesmo nos momentos de silêncio e distância.

Aos meus amigos (João Vitor, Gabrielle, Josélia, Kerity, Priscila, Maria Luiza e Maria Clara), que torceram por mim, ouviram meus desabafos e me ofereceram apoio e sorrisos quando mais precisei, deixo meu mais sincero reconhecimento. A amizade de vocês fez toda a diferença.

Aos professores e professoras da UEPB e da UFCG, em especial ao meu orientador do mestrado, Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes, agradeço por todo o conhecimento compartilhado, pelo exemplo de compromisso com a educação e pela inspiração acadêmica ao longo da minha trajetória.

Aos funcionários da UEPB e da UFCG, que, com atenção, empenho e gentileza, contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho, deixo minha sincera gratidão. Em especial, Hélder Sampaio, por todo o apoio constante, por sempre estar disponível e por me auxiliar com dedicação e generosidade ao longo dessa caminhada, sua contribuição vai muito além das questões administrativas: foi humana, solidária e motivadora. Muito obrigada por ser essa pessoa tão generosa e disponível.

À equipe de pesquisa da UFCG (DeAssis, Maria de Fátima e Mirraelly) com quem tenho a honra de caminhar, meu muito obrigado pela parceria, pela troca de saberes e pelos desafios enfrentados em conjunto.

Aos colegas e amigos da pós-graduação, em especial Vitor Manoel e José Hugo, agradeço pela amizade, pelas conversas, pelo apoio mútuo e por dividirem comigo os desafios e conquistas dessa etapa acadêmica. A convivência com vocês tem sido enriquecedora e tornou minha jornada na pós mais leve, colaborativa e inspiradora.

A todos que fizeram parte dessa caminhada, direta ou indiretamente, o meu muito obrigado. Este trabalho é fruto de um esforço coletivo, sustentado por pessoas maravilhosas que passaram por minha vida e deixaram sua marca.

“A execução é a responsável pelo milagre de transformar o nada em algo. Ideias são maravilhosas, conhecimentos são incríveis, mas a execução é o que realmente transforma, o que faz acontecer...” – Caio Carneiro

ECOFISIOLOGIA DO ALGODOEIRO FM 966 SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E APLICAÇÃO DE TRIFOSFATO DE ADENOSINA

RESUMO

O algodoeiro (*Gossypium* spp.), planta da família Malvaceae, no Brasil, a cotonicultura tem se destacado pela alta produtividade e qualidade da fibra, sendo uma importante fonte de exportação e renda para produtores rurais. Em regiões de baixa disponibilidade hídrica ou chuvas mal distribuídas, a irrigação surge como uma estratégia essencial para garantir a produtividade e a qualidade do algodão. Paralelamente, a aplicação exógena de uma molécula energética, como o trifosfato de adenosina (ATP), tem sido investigada como forma de estimular o metabolismo vegetal e ampliar o desempenho fisiológico da cultura. Diante disso, objetivou-se avaliar a interação entre as lâminas de irrigação e a aplicação exógena do trifosfato de adenosina sobre os parâmetros fisiológicos, bioquímicos e de produção do algodoeiro cv FM 966, em condições de ambiente protegido. O experimento foi conduzido no município de Campina Grande - PB, em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial (4×2), correspondendo a quatro lâminas de irrigação (40, 60, 80 e 100% da necessidade hídrica da cultura) com e sem aplicação exógena de ATP (10 mM) via foliar, com cinco repetições. Os efeitos dos tratamentos foram avaliados através da determinação das trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, pigmentos fotossintéticos, crescimento e produção. Não houve interação significativa entre as lâminas de irrigação e a aplicação de ATP. As lâminas de irrigação influenciaram significativamente no desenvolvimento do algodoeiro, com melhores respostas quando utilizada lâminas de 80% e 100% da necessidade hídrica da cultura. A aplicação de ATP promoveu ganhos adicionais na condutância estomática, taxa de assimilação de CO₂, massa seca e número de capulhos, evidenciando seu potencial como bioestimulante.

Palavras-chave: *Gossypium* spp., manejo hídrico, respiração celular

ECOPHYSIOLOGY OF THE COTTON PLANT FM 966 UNDER IRRIGATION DECKS AND APPLICATION OF ADENOSINE TRIPHOSPHATE

ABSTRACT

Cotton (*Gossypium* spp.), a plant of the Malvaceae family, stands out in Brazil for its high productivity and fiber quality, and is an important source of exports and income for rural producers. In regions with low water availability or poorly distributed rainfall, irrigation has emerged as an essential strategy to ensure cotton productivity and quality. At the same time, the exogenous application of an energy molecule, such as adenosine triphosphate (ATP), has been investigated as a way to stimulate plant metabolism and increase the physiological performance of the crop. Therefore, the objective of this study was to evaluate the interaction between irrigation depths and the exogenous application of adenosine triphosphate on the physiological, biochemical and production parameters of cotton cv FM 966, under protected environment conditions. The experiment was conducted in the city of Campina Grande - PB, in a randomized block design, in a factorial scheme (4×2), corresponding to four irrigation depths (40, 60, 80 and 100% of the crop's water requirement) with and without exogenous application of ATP (10 mM) via foliar, with five replicates. The effects of the treatments were evaluated by determining gas exchange, chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments, growth and production. There was no significant interaction between irrigation depths and ATP application. Irrigation depths significantly influenced cotton development, with better responses when irrigation depths of 80% and 100% of the crop's water requirement were used. The application of ATP promoted additional gains in stomatal conductance, CO₂ assimilation rate, dry mass and number of bolls, evidencing its potential as a biostimulant.

Keywords: *Gossypium* spp., water management, cellular respiration

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características agronômicas da cultivar FM 966.....	20
Tabela 2 - Resumo da análise de variância das trocas gasosas (C_i , E , g_s , A).....	26
Tabela 3 - Análise de variância para variáveis de fluorescência da clorofila a	30
Tabela 4 - Análise de variância para pigmentos fotossintéticos e extravasamento de eletrólitos.....	32
Tabela 5 - Análise de variância para crescimento e produção (AP , DH , etc.).....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista da distribuição das plantas no plano experimental	19
Figura 2 - Posicionamento da câmara de medição sobre a folha e interface do analisador IRGA.....	22
Figura 3 - Determinação dos parâmetros de clorofila a.....	23
Figura 4 - Equipamento espectrofotômetro e cubetas com extratos foliares	24
Figura 5 - Determinação do extravasamento de eletrólitos	24
Figura 6 - Mensuração das variáveis de crescimento.....	25
Figura 7 - Condutância estomática em função das lâminas de irrigação e ATP	27
Figura 8 - Transpiração em função das lâminas de irrigação.....	28
Figura 9 - Taxa de assimilação de CO ₂ em função das lâminas de irrigação e ATP	29
Figura 10 - Fluorescência máxima e fluorescência variável em função das lâminas de irrigação	31
Figura 11 - Teores de clorofila a, b e carotenoides em função das lâminas de irrigação.....	33
Figura 12 - Altura da planta em função das lâminas de irrigação e aplicação de ATP.....	35
Figura 13 - Diâmetro da haste em função das lâminas de irrigação e aplicação de ATP	36
Figura 14 - Massa seca da raiz em função das lâminas de irrigação e aplicação de ATP	36
Figura 15 - Massa seca da haste em função das lâminas de irrigação e aplicação de ATP	37
Figura 16 - Número de capulhos em função das lâminas de irrigação e aplicação de ATP.....	38
Figura 17 - Massa de capulhos por planta em função das lâminas de irrigação.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Aspectos da Cultura	15
3.2 Lâminas de Irrigação	16
3.3 Trifosfato de adenosina (ATP).....	17
4 MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1 Localização da área experimento	18
4.2 Fatores em estudo e delineamento estatístico	19
4.3 Instalação e condução do experimento	20
4.4 Manejo da irrigação	20
4.5 Manejo da adubação.....	21
4.6 Aplicação dos tratamentos e preparo das soluções.....	21
4.7 Tratos culturais e fitossanitários.....	21
4.8 Variáveis analisadas	22
4.8.1 Trocas gasosas	21
4.8.2 Fluorescência da clorofila a.....	22
4.8.3 Pigmentos fotossintéticos	23
4.8.4 Extravasamento de eletrólitos	24
4.8.5 Variáveis de crescimento.....	24
4.8.6 Variáveis de produção e acúmulo de massa.....	25
4.8.7 Análise estatística.....	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1 Trocas gasosas	26
5.2 Fluorescência da clorofila a.....	29
5.3 Teores de pigmentos fotossintéticos e extravasamento de eletrólitos.....	32

5.4 Crescimento, acúmulo de massa e componentes de produção	34
6 CONCLUSÕES.....	40
7 REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

O algodão é uma das principais culturas agrícolas do mundo, sendo fundamental para a indústria têxtil por fornecer a fibra natural mais utilizada globalmente. Além disso, ele desempenha papel econômico e social relevante, especialmente em países em desenvolvimento, ao gerar empregos e movimentar cadeias produtivas. No Brasil, a cotonicultura tem se destacado pela alta produtividade e qualidade da fibra, sendo uma importante fonte de exportação e renda para produtores rurais (ABRAPA, 2023).

Esta cultura é valorizada não apenas pela qualidade da fibra, mas também pela sua significativa contribuição econômica em diversas regiões do mundo, incluindo o Brasil, que se destaca como um dos principais produtores. O cultivo do algodão é essencial para o desenvolvimento agrícola, influenciando tanto a economia rural quanto as práticas agrícolas sustentáveis (SILVA; OLIVEIRA, 2023).

O Brasil atingiu um marco histórico no setor agrícola ao se tornar, pela primeira vez, o maior exportador de algodão do mundo. Esse resultado foi impulsionado por uma safra recorde, além de investimentos contínuos em tecnologia e práticas sustentáveis, o que posiciona o país como protagonista no cenário global da cotonicultura (Nosso Campo, 2025).

O Brasil atingiu um marco histórico no setor agrícola ao se tornar, pela primeira vez, o maior exportador de algodão do mundo. Esse feito foi impulsionado por uma safra recorde, além de investimentos contínuos em tecnologia e práticas sustentáveis, o que posiciona o país como protagonista no cenário global da cotonicultura. Na safra 2023/2024, o Brasil exportou cerca de 2,7 milhões de toneladas de algodão, ultrapassando os Estados Unidos, que exportaram aproximadamente 2,57 milhões no mesmo período (AGÊNCIA BRASIL, 2024).

Na safra mais recente (2024/2025), a produção de algodão no país ultrapassou a marca de 3,76 milhões de toneladas, superando líderes tradicionais como os Estados Unidos e a Índia. Esse crescimento reflete o uso intensivo de tecnologias agrícolas modernas, como a rotação de culturas, mecanização, e manejo eficiente de insumos. A Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) confirma esses dados em seus levantamentos mais recentes, destacando o avanço da produtividade e da eficiência da cadeia produtiva (CONAB, 2025).

A sustentabilidade tem sido um dos principais diferenciais do algodão brasileiro. Cerca de 83% da produção nacional é certificada com o selo socioambiental ABR (Algodão Brasileiro Responsável), de acordo com a Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (Abrapa). Essa certificação assegura boas práticas ambientais e condições dignas de trabalho

nas lavouras, o que tem contribuído para a aceitação do algodão brasileiro em mercados exigentes, como China, Vietnã e Bangladesh (ABRAPA, 2025).

O cultivo de algodão irrigado tem se destacado como uma estratégia crucial para maximizar a produtividade e a qualidade da fibra em regiões onde ocorre a má distribuição ou escassez de chuvas. A irrigação permite um melhor controle sobre as condições de crescimento, garantindo que as plantas recebam a umidade necessária durante os períodos críticos de desenvolvimento. Esta estratégia tem se mostrado especialmente relevante em áreas do Brasil, onde a irrigação por gotejamento e pivô central tem sido amplamente adotada. Estudos indicam que a irrigação não apenas aumenta a produção de algodão, mas também contribui para a sustentabilidade das práticas agrícolas, ao otimizar o uso da água e minimizar desperdícios (ALMEIDA; PEREIRA, 2023).

Além do impacto ambiental positivo, o crescimento das exportações de algodão também traz benefícios econômicos relevantes, como a geração de empregos, fortalecimento da indústria têxtil e movimentação da cadeia do agronegócio. Com isso, o Brasil caminha para se consolidar como um fornecedor estratégico e confiável no mercado global, ampliando sua participação em importantes corredores comerciais e atraindo novos investimentos (ABRAPA, 2025).

O uso eficiente da água de irrigação pode otimizar o desempenho do algodoeiro, com impactos significativos não apenas no volume de produção, mas também nas características qualitativas da fibra, como comprimento, resistência e maciez. A lâmina de irrigação, quando ajustada de forma adequada às necessidades da cultura em diferentes estágios de crescimento, pode resultar em um aumento tanto na produtividade quanto na qualidade do produto (SANTOS et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2020).

A aplicação exógena de ATP tem demonstrado efeitos positivos na atividade fotossintética, na eficiência do uso da água e na integridade das membranas celulares, promovendo maior tolerância ao déficit hídrico em condições de campo irrigado. Além disso, o uso combinado de irrigação controlada com bioestimulantes pode otimizar a eficiência fisiológica e produtiva do algodoeiro, refletindo em ganhos agronômicos e na qualidade da fibra (SOUZA et al., 2021).

O trifosfato de adenosina (ATP) tem sido estudado em diversas plantas, incluindo o algodão (*Gossypium* spp.), devido ao seu papel crucial nos processos de crescimento, desenvolvimento e resistência a estresses ambientais. A ATP está envolvida em uma série de processos bioquímicos essenciais nas células vegetais, como o transporte ativo de íons, a síntese de biomoléculas e a regulação do ciclo celular. Em algodão, a ATP é fundamental

para o processo de germinação das sementes, o crescimento das raízes e a fotossíntese, além de desempenhar um papel nas respostas a estresses bióticos e abióticos (RAO et al., 2011).

Estudos indicam que a produção de ATP no algodão pode ser afetada por fatores como a disponibilidade de água, nutrientes e a presença de patógenos. Por exemplo, a redução da produção de ATP devido a condições de estresse hídrico pode afetar a capacidade das células do algodão de manter a homeostase iônica e de realizar processos vitais como a síntese de proteínas e a divisão celular (ZHANG et al., 2006). Além disso, pesquisas demonstram que a ATP também desempenha um papel nas respostas de defesa do algodão contra patógenos, ativando vias de sinalização que resultam na produção de compostos antimicrobianos e na indução de respostas de resistência (YANG et al., 2013).

A interação entre diferentes lâminas de irrigação e a aplicação exógena de ATP pode influenciar significativamente a morfofisiologia das culturas, promovendo alterações em processos como fotossíntese, absorção de nutrientes e desenvolvimento radicular. A irrigação adequada garante a disponibilidade hídrica para o funcionamento eficiente do metabolismo vegetal, enquanto o ATP aplicado exogenamente atua como sinalizador celular, favorecendo respostas fisiológicas ao estresse hídrico e contribuindo para o aumento do vigor e da tolerância das plantas. Estudos indicam que a disponibilidade simultânea de água e energia pode potencializar o crescimento de tecidos, a expansão foliar e a manutenção da turgescência, o que resulta em ganhos expressivos no desenvolvimento e produtividade das culturas (TAIZ et al., 2017; TAIZ; ZEIGER, 2013; ALVAREZ et al., 2020).

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a interação entre lâminas de irrigação e a aplicação exógena do trifosfato de adenosina sobre os parâmetros fisiológicos, bioquímicos e de produção do algodoeiro cv FM 966, em condições de ambiente protegido.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS:

- Analisar as alterações morfológicas do algodoeiro FM 966 em função lâminas de irrigação e aplicação exógena, via foliar, de trifosfato de adenosina (ATP).
- Avaliar os efeitos da interação entre lâminas de irrigação e aplicação de trifosfato de adenosina (ATP) no algodoeiro FM 966 cultivado sob lâminas de irrigação, visando a otimizar parâmetros bioquímicos e fisiológicos das plantas.

- Quantificar os componentes de produção e fitomassa do algodoeiro FM 966, em função das lâminas de irrigação e aplicação exógena de ATP.
- Determinar a lâmina mínima de irrigação que não compromete a produção do algodoeiro FM 966, quando submetido ao trifosfato de adenosina (ATP)

3 REVISÃO A LITERATURA

3.1 Aspectos da Cultura

O algodoeiro é perene com hábito de crescimento indeterminado, é uma angiosperma da classe das dicotiledôneas, pertencente à ordem Malvales, família das Malvaceae, gênero *Gossypium*. Seu cultivo é ideal em regiões de climas tropicais e subtropicais, pois necessita de temperaturas médias entre 25 e 30 °C para que se tenha um ótimo estabelecimento e desenvolvimento (DANIEL et al., 2021).

Suas raízes são subterrâneas, axial ou pivotantes, profundas e com pequeno número de raízes secundárias grossas e superficiais. O caule é do tipo herbáceo e lenhoso, com presença de ramos vegetativos e ramos frutíferos. As folhas são pecioladas, cordiformes e podem ou não apresentar consistência coriácea, o algodão atinge o índice de área foliar máximo próximo a floração. A flor é hermafrodita, simétrica e sua polinização é feita principalmente por abelhas, na ausência de polinizadores ocorre a autofecundação, são isoladas e pedunculares, apresentam cor variando de branco a creme e, tornam-se violáceas após o processo de fecundação. Os frutos são do tipo cápsulas de deiscência longitudinal, quando verdes são chamados maçã, após a abertura são chamados capulhos (ROSSI et al., 2020; MANIÇOBA et al., 2021; QAMER et al., 2021; SILVA 2022).

Os estádios de crescimento e desenvolvimento são caracterizados em função das fases fenológicas, que são elas, vegetativa, formação de botões florais, abertura da flor e abertura do capulho (MANIÇOBA et al., 2021). O seu ciclo pode ser dividido em seis fases principais. A primeira vai da semeadura à emergência das plântulas, que dura por volta de 4 a 10 dias. A segunda fase é o início do desenvolvimento vegetativo, a terceira ocorre por volta dos 30 dias após a emergência (DAE) onde surge os primeiros botões florais. A quarta fase se caracteriza pelo aparecimento das flores, entre os 45 e 60 DAE. Na quinta fase, entre 90 e 120 DAE, ocorre a abertura da primeira maçã. Finalmente, a colheita ocorre quando as maçãs estão completamente abertas, por volta dos 120 DAE, dependendo do genótipo e das condições ambientais (SILVA, 2022).

O algodão é considerado uma das culturas mais antigas e importantes na produção agrícola. A sua fibra possui múltiplas aplicações na indústria, como na produção de fios, tecidos, linhas, cotonetes, ataduras, filmes fotográficos e placas radiográficas, além de ser utilizada na extração de celulose e na preparação de algodão absorvente para enfermagem. O óleo extraído do caroço do algodão tem utilidade na alimentação de ruminantes e é aproveitado na produção de adubo, óleo refinado, margarina e biodiesel (MANIÇOBA et al., 2021).

No Brasil, o cultivo do algodão já existia quando os colonizadores chegaram, e foi então que começou o seu plantio nas capitanias hereditárias. No período colonial, a produção era apenas caseira e o produto apenas para consumo interno. No século XVII, houve um considerável desenvolvimento da cultura no estado do Maranhão, sendo o principal produto de exportação da capitania. (FREIRE, 2015)

Com a revolução industrial, no século XVIII, houve um crescimento da indústria têxtil inglesa e com isso Portugal passou a incentivar a produção. No início do século XIX, o Brasil já se destacava como tradicional exportador de pluma, porém sofria com a má qualidade do produto, carregado de muita impureza. No começo do século XX, a importação já era menor que a produção nacional de tecidos. A crise do café em 1929 foi vantajosa para a produção de algodão, consolidando a cultura no eixo sudeste, fazendo com que o estado de São Paulo assumisse a liderança da produção (FREIRE, 2015).

3.2 Lâminas de Irrigação

O uso eficiente da água na agricultura é essencial, especialmente em regiões com escassez hídrica. A lâmina de irrigação adequada pode melhorar a eficiência no uso da água, maximizando a produção sem que ocorra desperdício. O controle do manejo da irrigação pode reduzir perdas por drenagem excessiva, tornando a irrigação mais eficiente (Fernandes et al., 2020). Pesquisas indicam que a lâmina de irrigação deve ser ajustada conforme as necessidades específicas da planta e condições edfoclimáticas, para maximizar o uso eficiente da água (LIMA et al., 2019).

Em culturas como o milho, por exemplo, diferentes lâminas de irrigação podem resultar em variações significativas na altura das plantas, no número de folhas e no diâmetro do caule. Estudos apontam que, quando as lâminas de irrigação são superiores à determinação de velocidade de infiltração básica (VIB), pode haver um desperdício de água e até uma diminuição na eficiência do crescimento devido ao encharcamento do solo (SOUZA et al., 2018).

Estudos demonstram que o algodoeiro apresenta sensibilidade tanto ao déficit quanto ao excesso hídrico, sendo necessária uma lâmina de irrigação adequada a cada fase fenológica da planta. Durante o florescimento, por exemplo, a demanda hídrica é mais elevada, exigindo maior atenção dos produtores (MEDEIROS et al., 2019). O fornecimento insuficiente de água nestas fases pode reduzir o número de capulhos e comprometer a qualidade da fibra.

Segundo Lopes et al. (2021), o manejo da irrigação com base no balanço hídrico do solo permite uma aplicação mais eficiente das lâminas, evitando perdas por percolação profunda e reduzindo o consumo de água. Métodos como o uso de tensiômetros ou sensores de umidade têm sido empregados para estimar com maior precisão o momento ideal para irrigar.

Portanto, o manejo adequado das lâminas de irrigação é uma estratégia fundamental para a sustentabilidade do cultivo do algodão, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e aumento da produtividade. A adoção de tecnologias de monitoramento do solo e clima pode auxiliar o produtor na tomada de decisão e na racionalização da irrigação (OLIVEIRA et al., 2020).

3.3 Trifosfato de adenosina (ATP)

O trifosfato de adenosina (ATP) é uma molécula fundamental no metabolismo energético das células. Conhecido como a "moeda energética" do organismo, o ATP armazena e transfere energia para diversos processos biológicos, como contração muscular, síntese de macromoléculas e transporte ativo através da membrana plasmática (NELSON; COX, 2018). A capacidade do ATP de fornecer energia vem da quebra de suas ligações fosfato de alta energia, especialmente a ligação entre o segundo e o terceiro fosfato, que libera cerca de 7,3 kcal/mol de energia em condições padrão. (NELSON; COX, 2018)

Sua estrutura consiste em uma base nitrogenada adenina, um açúcar ribose e três grupos fosfato ligados por ligações de alta energia. O ATP é gerado principalmente nas mitocôndrias por meio de processos como a fosforilação oxidativa e a glicólise, e é consumido em grande quantidade nas células para processos como a síntese de proteínas, o transporte ativo através das membranas celulares, e a contração muscular (ALBERTS et al., 2002).

A energia liberada pela hidrólise das ligações fosfato do ATP é utilizada em uma ampla variedade de processos celulares. Quando o ATP se converte em ADP (difosfato de adenosina) e fosfato inorgânico (Pi), uma grande quantidade de energia é liberada, que pode ser aproveitada pelas células para atividades como a ativação de enzimas e o movimento dos filamentos do citoesqueleto. Essa transformação é vital para o funcionamento adequado das

células e para a manutenção da homeostase celular (BERG et al., 2002). Além disso, o ATP também desempenha um papel crucial em processos de sinalização celular, como a ativação de proteínas quinases em vias de transdução de sinais (STYVER, 1995).

A principal via de produção de ATP é a respiração celular, que pode ser aeróbica ou anaeróbica. Na respiração aeróbica, a glicose é completamente degradada em dióxido de carbono e água, com produção de até 36 a 38 moléculas de ATP por molécula de glicose, dependendo do tipo celular e das condições metabólicas (BERG et al., 2012). Essa produção ocorre principalmente na mitocôndria, por meio do ciclo de Krebs e da cadeia transportadora de elétrons.

O ATP também atua como molécula sinalizadora. Ele participa de vias de sinalização extracelular por meio de receptores purinérgicos, influenciando funções como inflamação, neurotransmissão e regeneração celular (BURNSTOCK, 2006). Assim, além de seu papel central no metabolismo energético, o ATP desempenha funções regulatórias que afetam diretamente o funcionamento dos tecidos e órgãos.

Em organismos multicelulares, a produção e o consumo de ATP são regulados de forma extremamente precisa. No caso de tecidos musculares, por exemplo, a regeneração de ATP é rápida e contínua durante atividades intensas, como o exercício físico, onde a quantidade de ATP disponível determina a capacidade do músculo de realizar trabalho (LODISH et al., 2000).

A manipulação da produção e do metabolismo de ATP em algodão pode ter implicações significativas para a melhoria do rendimento e da resistência a estresses ambientais. Estudos recentes têm investigado o impacto de modificações genéticas que afetam a produção de ATP, como a sobreexpressão de genes envolvidos na fosforilação oxidativa, com o objetivo de aumentar a tolerância do algodão a condições adversas, como a seca e o ataque de pragas (HU et al., 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área experimento

A pesquisa foi realizada em ambiente protegido na cidade de Campina Grande -PB, (06° 48' 50" S e 37° 56' 31 W, e altitude 550 m). A casa de vegetação pertencente a Universidade Federal de Campina Grande – UFCG do tipo capela com estrutura em aço galvanizado, coberta com tela de plástico, e laterais envolvidas com telado que permitem a passagem parcial do vento, amenizando a temperatura interna.

4.2 Fatores em estudo e delineamento estatístico

Os tratamentos resultaram da combinação entre dois fatores: quatro lâminas de irrigação (40, 60, 80 e 100% da umidade correspondente a da capacidade de campo) e da aplicação de trifosfato de adenosina ATP (A_1 - aplicação foliar com trifosfato de adenosina (10 mM), A_2 - aplicação foliar com água destilada), distribuídos no delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 4×2 , com cinco repetições, perfazendo o total de 40 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por uma planta, conforme observado na Figura 1.

Fonte: autora (2025).



Figura 1. Vista da distribuição das plantas no plano experimental

4.3 Instalação e condução do experimento

Para instalação do experimento foram utilizadas sementes do algodoeiro cv. FM 966 de fibra branca, conforme características resumidas encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características agrônômicas das cultivares a serem utilizada

Cultivar	Tipo	AA	Características
FM 966	H	Cerrado	FB, PA, ARM

H - Herbáceo; AA - Adaptação Ambiental; FB - Fibra Branca, PA - Produtividade Alta, ARM - Alto Rendimento de Maças Maduras.

A cultivar de algodoeiro FM 966 foi desenvolvida em estudos nos Estados Unidos pelo programa de melhoramento da Fibermax. A cultivar foi especialmente desenvolvida com foco em alta produtividade e resistência a diversas pragas e doenças comuns aos algodoeiros. Ela é amplamente cultivada no Brasil devido a sua adaptação a condições de sequeiro, alta produtividade, e fibra de bom comprimento, uniformidade e resistência (DEVER, 2000).

As plantas de algodoeiro foram cultivadas em recipientes plásticos (vasos), em cada vaso de plantio foram semeadas cinco sementes e após a emergência, quando as plantas estavam com uma folha definitiva, foi realizado o desbaste, deixando apenas a planta mais vigorosa, o solo utilizado foi oriundo do município de Lagoa Seca – PB, o qual foi realizado física e química no laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), caracterizado como Areia franca (80,77 % de areia, 12,94% de silte e 6,29% de argila), pH de 5,9 e 8,28% de disponibilidade de água. Os recipientes utilizados foram de aproximadamente 20 L de capacidade (35 cm de altura x 31 cm de diâmetro superior x 20 cm de diâmetro inferior) os quais receberam uma camada de 3 cm de brita e uma tela cobrindo a superfície da base do recipiente, para evitar a obstrução pelo material de solo. Em cada vaso foi adaptada uma mangueira transparente de 4 mm de diâmetro, conectada à sua base, de modo a facilitar a drenagem de cada lisímetro, acopladas a recipientes com capacidade volumétrica de 1,0 L, para coleta da água drenada, nos tratamentos os quais receberam a lâmina de 100%.

4.4 Manejo da irrigação

As irrigações foram realizadas diariamente, às 17 horas, com aplicação em cada lisímetro (vaso) do volume de água correspondente a lâmina de irrigação conforme o

tratamento. Durante todo o período experimental foi mantido dois vasos com uma planta de algodão, no qual serviu como testes para determinação das lâminas de irrigação a serem aplicadas em cada tratamento. O volume aplicado em cada evento de irrigação nos vasos teste foi estimado por meio de balanço hídrico, tomando-se como base os termos da Eq. 1,

$$C_H = V_a - V_d \quad (\text{Eq. 1})$$

em que:

C_H - consumo hídrico (mL)

V_a - volume de água aplicado às plantas no dia anterior (mL)

V_d - volume drenado, quantificado na manhã do dia seguinte (mL)

De posse dos dados de água aplicado e consumido pela planta, foi determinado a quantidade de água a ser aplicada em cada tratamento, levando em consideração as porcentagens de 40, 60, 80 e 100% da necessidade hídrica da cultura.

4.5 Manejo da adubação

A adubação com NPK foi realizada conforme recomendações para ensaios em vasos, de Novais et al. (1991), nas quantidades de 100, 300 e 150 mg dm⁻³ de solo de N, P e K, respectivamente, nas formas de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio. Em fundação, foi aplicada apenas fósforo, e as adubações de N e K foram realizadas em cobertura, parceladas em três vezes (fase vegetativa, fase de aparecimento dos primeiros botões florais e na abertura da primeira flor).

4.6 Aplicação dos tratamentos e preparo das soluções

As pulverizações foram realizadas ao 35 e 45 dias após a emergência da plantas, sempre ao final da tarde, com auxílio de um pulverizador de compressão de 10 litros. Visando evitar a deriva para outras plantas, causada pelo vento, durante as pulverizações as plantas de cada unidade experimental foram protegidas com um tecido (TNT). Do mesmo modo, para evitar o escoamento superficial para o solo, a base das plantas de cada unidade experimental foi forrada com o mesmo material. Esse procedimento foi realizado para cada uma das plantas que receberam determinado tratamento (solução de trifosfato de adenosina (ATP) e água destilada nos tratamentos controle - placebo).

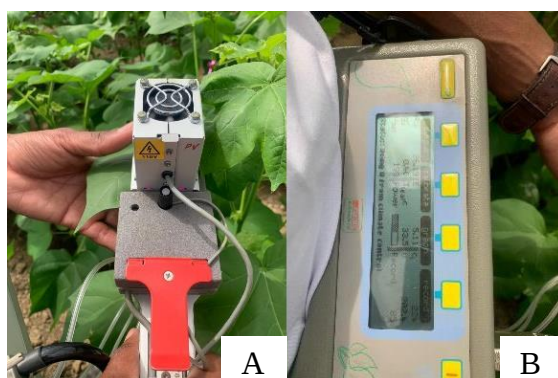
4.7 Tratos culturais e fitossanitários

Para manter a população de pragas e as doenças sob controle, foi feito o monitoramento constante das plantas, e, conforme a necessidade, foram utilizados defensivos preconizados para a cultura. Da mesma forma, o controle de plantas daninhas foi realizado periodicamente de forma manual.

4.8 Variáveis analisadas

4.8.1 Trocas gasosas

A avaliação de trocas gasosas foi realizada aos 50 dias após a emergência da plantas, no horário entre 7 e 10 horas da manhã. Foram obtidos os dados de condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), utilizando-se o equipamento portátil de trocas gasosas IRGA (Infra Red Gas Analyser-RGA, marca ADC BioScientific Ltd, modelo 31 LC-Pro), com fonte artificial de radiação de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.



Fonte: Da autora (2025).

Figura 2. Posicionamento da câmara de medição sobre a folha para registro das trocas gasosas, como fotossíntese, transpiração e condutância estomática (A). Interface do analisador portátil de gás infravermelho (IRGA – Infrared Gas Analyzer), modelo LCpro+ (ADC BioScientific Ltd.), utilizada para visualizar e registrar os dados em tempo real durante os ensaios (B).

4.8.2 Fluorescência da clorofila *a*

Após a avaliação dos parâmetros de trocas gasosas (50 DAE) foram avaliados os parâmetros de fluorescência, com uso de fluorômetro de pulso modulado, modelo OS5p da Opti Science, sendo utilizado o protocolo eficiência quântica (F_v/F_m). Foram mensuradas as

variáveis de indução de fluorescência: Fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável ($F_v = F_m - F_o$) e máxima eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m). As avaliações foram mensuradas em folhas com adaptação de parte do limbo ao escuro por um período de 30 minutos, com uso de um clipe do equipamento, de modo a garantir que todos os aceptores primários estivessem totalmente oxidados (KONRAD et al., 2005).

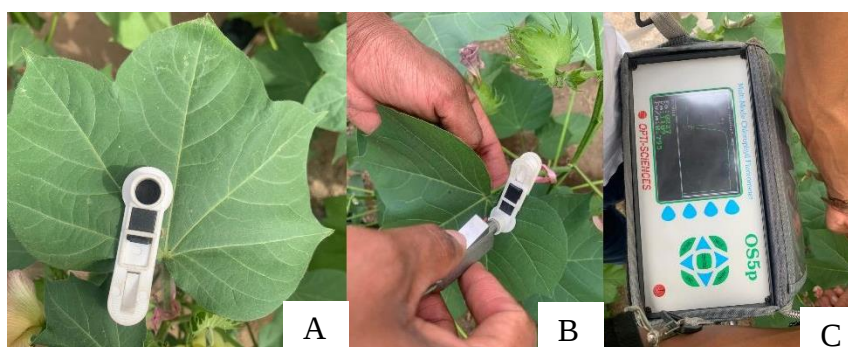


Figura 3. Determinação dos parâmetros de clorofila *a*

Fonte: Da autora (2025).

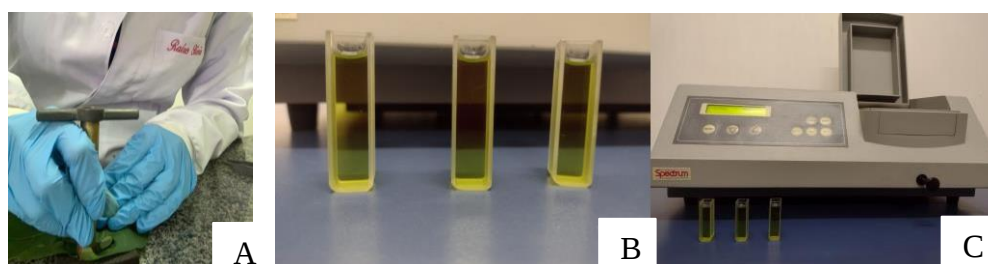
4.8.3 Pigmentos fotossintéticos

Na mesma ocasião foram realizadas coletas de material vegetal para quantificação dos teores de clorofila *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*), total (Chl T) e de carotenoides (Car), conforme método laboratorial desenvolvido por Lichthenthaler (1987). A partir dos extratos, foi determinada a concentração de clorofila pelo processo de espectrofotometria, nas absorvâncias (ABS) 470, 646, e 663 nm, calculadas por meio das equações 2, 3 e 4.

$$\text{Clorofila } a \text{ (Cl } a) = 12,21 \text{ ABS}_{663} - 2,81 \text{ ABS}_{646} \quad (2)$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (Cl } b) = 20,13 \text{ A}_{646} - 5,03 \text{ ABS}_{663} \quad (3)$$

$$\text{Carotenoides (Car)} = (1000 \text{ ABS}_{470} - 1,82 \text{ Cl } a - 85,02 \text{ Cl } b)/198. \quad (4)$$



Fonte: Da autora (2025)

Figura 4. Coleta de material vegetal para análise (A) Cubetas contendo os extratos foliares utilizados na quantificação de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides (B). Equipamento espectrofotômetro utilizado para análise dos pigmentos fotossintéticos (C).

4.8.4 Extravasamento de eletrólitos

No intuito de avaliar a capacidade de ruptura da membrana celular, foi determinado o extravasamento de eletrólitos das células em amostras de discos foliares, acondicionamento de 5 discos de área conhecida, em beakers com 50 mL de água destilada e fechados, hermeticamente, com papel alumínio. Foram obedecidos os procedimentos contidos em Scott Campos & Thu Pham Thi (1997), conforme a Eq. 5.

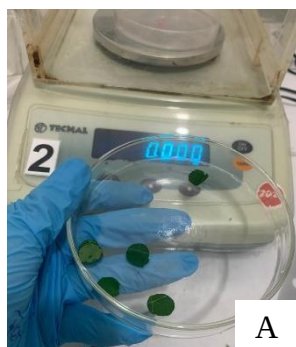
$$EE (\%) = (CE_1/CE_2) * 100 \quad (5)$$

Em que

EE- Extravasamento de eletrólitos na membrana (%)

CE₁- condutividade elétrica inicial (dS m⁻¹)

CE₂ – condutividade elétrica final (dS m⁻¹)



Fonte: Da autora (2025)

Figura 5. Determinação do extravasamento de eletrólitos em discos foliares de algodão

4.8.5. Variáveis de crescimento

A Figura 6 ilustra os procedimentos utilizados para a quantificação das características morfológicas das plantas de algodão, incluindo altura da planta e diâmetro da haste. As medições foram realizadas em ambiente protegido, com auxílio de instrumentos de precisão,

a fim de garantir a padronização e a confiabilidade dos dados obtidos ao longo do experimento.

Altura de planta (AP): considerando o comprimento da parte aérea, em centímetros, do nível do solo (colo da planta) até a gema apical do ramo principal.

Diâmetro da haste (DH): determinado a 2 cm do solo, com uso de paquímetro digital, com leituras em ‘mm’.



Fonte: Da autora (2025).

Figura 6. Mensuração das variáveis de crescimento, altura de planta (A), diâmetro da haste (B) e comprimento de raiz (C) em algodoeiro.

4.8.6 Variáveis de produção e acúmulo de massa

As plantas foram colhidas, armazenadas em sacos de papel, identificadas e levadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C por 72 horas. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança de precisão (0,01 g) para a determinação da massa seca.

Quanto aos componentes de produção, foi avaliado o número de capulhos (Ncap), massa de capulhos completo (Mcap -g), massa seca da haste (MSH -g) e da massa seca de raiz (MSR – g) por planta.

4.8.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de normalidade das variâncias (Shapiro-Wilk) para, em seguida, serem submetidos à ANOVA e teste F ($p \leq 0,05$). Nos casos de significância, foi aplicada a regressão polinomial para comparação das lâminas de irrigação. A aplicação de ATP foi comparada pelo teste F. Para o processamento dos dados foi utilizado o software estatístico Sisvar 5.8 (FERREIRA, 2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Trocas gasosas

De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 2) a interação lâminas de irrigação e aplicação de Trifosfato de Adenosina (ATP) não foi significativa para os parâmetros de trocas gasosas ($p \leq 0,05$). Todavia, houve diferença significativa de forma isolada entre as lâminas de irrigação sobre a transpiração (E), condutância estomática (gs) e taxa de assimilação de CO_2 (A). A aplicação exógena de ATP foi efetiva sobre a condutância estomática (gs) e a taxa de assimilação de CO_2 (A). A concentração interna de carbono (Ci) não foi influenciada por nenhum dos fatores em estudo, indicando estabilidade fisiológica desse parâmetro para aos fatores analisados.

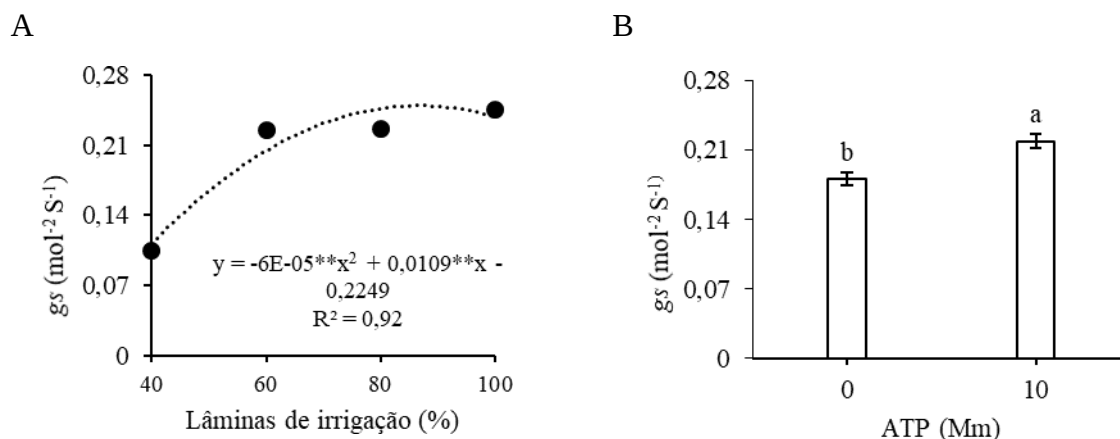
Tabela 2. Concentração interna de CO_2 (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa assimilação de CO_2 (A) em algodoeiro aos 50 DAE

FV	GL	Ci	Quadrados Médios		
			gs	E	A
Bloco	4	71,72 ^{ns}	0,011**	0,92**	12,08*
ATP	1	792,10 ^{ns}	0,014**	1,01 ^{ns}	10,00**
Lâminas	3	824,20 ^{ns}	0,041**	6,05**	61880,90*
Lâminas*ATP	3	19,76 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,09 ^{ns}	19369,96 ^{ns}
Resíduo	28	861,62	0,0009	0,25	17515,16
CV(%)		14,89	15,53	15,64	13,34

^{ns}, *, **, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F respectivamente.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Na Figura 7A, observa-se que a máxima condutância estomática ($0,27 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtida pela lâmina de irrigação estimada de 90,83%, pontuando um equilíbrio entre suprimento hídrico e atividade fisiológica, visto que o excesso ou déficit hídrico inibe a abertura dos estômatos e consequentemente reduz a condutância estomática. Diante dos resultados obtidos, constata-se que lâminas de água inferior a 60% da necessidade da cultura, tende a reduzir acentuadamente a condutância estomática do algodoeiro FM 966, influenciando negativamente nas demais trocas gasosas.



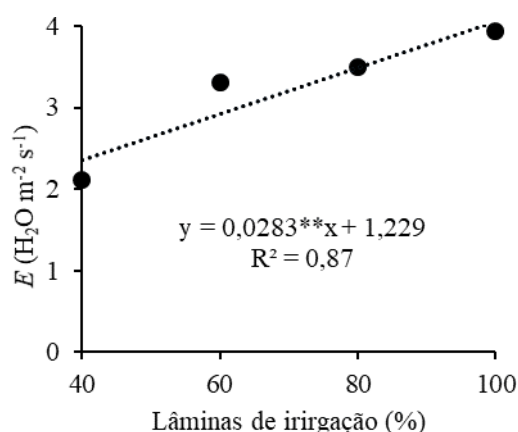
Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Figura 7. Condutância estomática (g_s) em função das lâminas de irrigação (A) e da aplicação de ATP (B).

A aplicação exógena de ATP (Figura 7B) promoveu um aumento significativo na condutância estomática (20,99%) do cultivar de algodoeiro FM 966, em comparação às plantas que não receberam o tratamento. Esses resultados indicam que a aplicação foliar de ATP pode contribuir positivamente para os processos fisiológicos da cultura do algodoeiro, considerando-se que o ATP é uma molécula de alto valor energético, sintetizada durante a respiração celular.

A abertura estomática exerce papel regulador sobre os demais parâmetros das trocas gasosas; à medida que os estômatos se encontram totalmente abertos, observa-se aumento na difusão de CO_2 para a câmara subestomática, favorecendo a taxa fotossintética. Paralelamente, há intensificação da transpiração, a qual desempenha papel fundamental na absorção e no transporte de água e nutrientes ao longo da planta.

Em função do fechamento parcial dos estômatos em plantas submetidas a lâminas de irrigação inferiores a 60% da necessidade hídrica da cultura, a taxa de transpiração (Figura 8) também foi significativamente influenciada pelo nível de reposição hídrica. Observou-se que, com o aumento da lâmina de irrigação, houve incremento na taxa transpiratória, atingindo um acréscimo de 71,91% ao se comparar os tratamentos com 40% e 100% de reposição hídrica. Esses resultados indicam que a variação na taxa de transpiração está diretamente associada à condutância estomática, pois a redução na abertura estomática implica diminuição na perda de água pela planta, via transpiração.

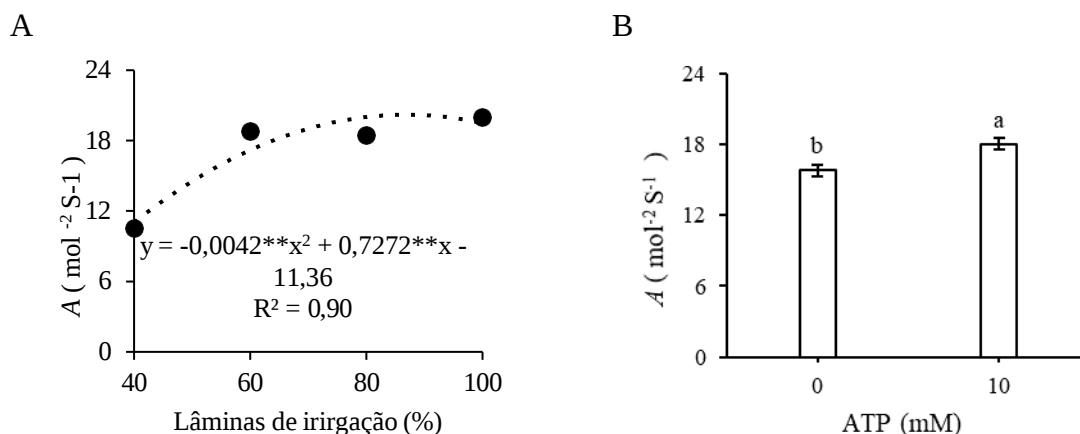


Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Figura 8. Transpiração (E) do algodoeiro em função das lâminas de irrigação

A taxa de assimilação de CO₂ (Figura 9A), foi significativamente influenciada pelas lâminas de irrigação, com ajuste quadrático e elevado coeficiente de determinação (R^2 0,90). O aumento da irrigação até a lâmina estimada de 86,57%, resultou em maior taxa de assimilação de CO₂ (20,11 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ponto a partir do qual os valores tendem a decrescer. Esse comportamento evidencia o papel da disponibilidade hídrica na eficiência fotossintética, possivelmente por favorecer a abertura estomática e a atividade enzimática.

Além disso, a aplicação de ATP exógeno (Figura 9B) promoveu aumento significativo da assimilação de CO₂, indicando efeito bioestimulante. Plantas tratadas com 10 mM de ATP obtiveram maiores valores na taxa de assimilação de CO₂ (18,05 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) o equivalente a 14,09% quando comparado com as plantas que não foram tratadas com ATP (15,82 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), confirmando que o Trifosfato de Adenosina (ATP) atua positivamente nos processos energéticos ligados à fotossíntese. A aplicação de ATP pode modular a fotossíntese por vias ainda pouco exploradas, abrindo caminhos para pesquisas futuras (TAIZ, LINCOLN, ZEIGER 2017; VASSILEV et al., 2018).



Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Figura 9. Taxa de assimilação de CO₂ (A) em função das lâminas de irrigação (A) e da aplicação de ATP (B).

5.2 Fluorescência da Clorofila a

Embora os parâmetros de trocas gasosas sejam muito importantes para determinar o desenvolvimento fisiológico das plantas, elas por si só podem não ser suficiente para avaliar os efeitos nocivos dos estresses abióticos nos cloroplastos (Hamani et al., 2020). Diante disso, uma alternativa complementar a essas análises é a avaliação do rendimento da fluorescência da clorofila a, que por sua vez fornece subsídios para estimar a inibição ou o dano causado no processo de transferência de elétrons do fotossistema II (PSII). Nesse contexto, no presente estudo, foram avaliados os parâmetros: fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e a eficiência quântica máxima do PSII (Fv/Fm).

Pelos resultados da análise de variância (Tabela 3) constatou-se que não houve efeito significativo da interação entre os fatores em estudo (Lâminas x ATP) sobre nenhuma das variáveis de fluorescência. A ausência de significância nas interações entre ATP e lâminas de irrigação indica que o efeito do ATP não é dependente do nível de irrigação para os parâmetros avaliados, ou que a magnitude da resposta pode ser mais sutil e exigir estudos complementares. Ao analisar os fatores de forma isolada, observou-se efeito significativo entre as lâminas de irrigação apenas sobre a fluorescência máxima (Fm) e a fluorescência

variável (Fv). A aplicação de ATP não influenciou nenhum dos parâmetros de fluorescência da clorofila a.

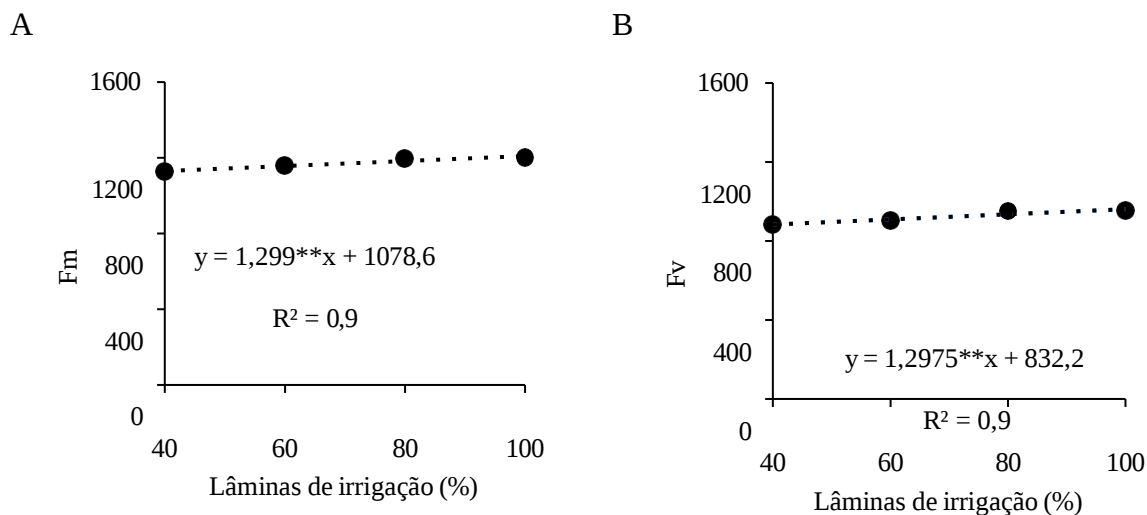
Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis de fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e eficiência quântica máxima do PSII (Fv/Fm) em plantas de algodoeiro cv. FM 966 submetidas a diferentes lâminas de irrigação e aplicação foliar de ATP.

FV	GL	Quadrados Médios			
		Fo	Fm	Fv	Fv/Fm
Bloco	4	946,46 ^{ns}	12040,58**	12,08*	0,96 ^{ns}
ATP	1	302,50 ^{ns}	5593,22 ^{ns}	49,97 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Lâminas	3	392,90 ^{ns}	12330,42**	187,73**	0,64 ^{ns}
Lâminas*ATP	3	27,30 ^{ns}	522,42 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,60 ^{ns}
Resíduo	28	415,36	3158,20	5,10	0,26
CV(%)		8,08	11,55	13,34	2,50

^{ns}, *, **, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F respectivamente.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025

De acordo com a Figura 10A, observa-se elevação nos valores de Fm com o aumento da lâmina de irrigação, seguida de estabilização nos níveis mais altos. Apesar das variações, os valores de Fm permaneceram elevados em todos os tratamentos, inclusive com as lâminas baixas (40% e 60%), sugerindo que a eficiência do fotossistema II foi mantida mesmo sob menor disponibilidade hídrica. Esse resultado indica que a disponibilidade hídrica que exerce influência direta na capacidade do fotossistema II de atingir o estado máximo de fluorescência, refletindo o estado funcional dos complexos fotossintéticos (BAKER, 2008)



Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Figura 10. Fluorescência máxima (Fm) e fluorescência variável do algodoeiro cv. FM 966 em função das lâminas de irrigação, aos 50 DAE.

Na Figura 10B, encontra-se os resultados da fluorescência variável em função das lâminas de irrigação. Os valores de fluorescência variável foram lineares crescentes a medida em que houve o aumento na porcentagem de água aplicada, os valores de Fv também aumentam. No entanto, o aumento na Fv é relativamente pequeno (8,8%) quando comparado as plantas irrigadas com lâminas de 40 e 100% da necessidade hídrica. Sugerindo que, mesmo usando lâminas intermediárias, os valores de Fv continuam altos, indicando que esses fatores interferem na capacidade das plantas de dissipar energia e otimizar a eficiência fotoquímica (MAXWELL & JOHNSON, 2000).

Os coeficientes de variação (CV) relativamente baixos, observados nos parâmetros de fluorescência, evidenciam a robustez dos dados e a confiabilidade dos resultados obtidos. Esses resultados corroboram com outros estudos, onde demonstram que a fluorescência da clorofila *a* é uma ferramenta sensível e eficaz para avaliar a eficiência fotoquímica da fotossíntese em plantas submetidas a diferentes condições hídricas. Monteiro et al. (2008) observaram que lâminas intermediárias de irrigação, como 80% da ETo, promovem maior eficiência do fotossistema II em meloeiro, indicando que a irrigação adequada contribui para manter altos valores de fluorescência variável (Fv), fundamentais para a dissipação de energia e eficiência do processo fotossintético. De forma semelhante, Melo et al. (2010) verificaram que plantas de melancia apresentaram redução da eficiência fotoquímica sob déficit hídrico, ressaltando o uso da fluorescência como parâmetro para o manejo da irrigação. Krause e Weiss (1991) destacam que o estresse hídrico pode inativar o fotossistema

II e comprometer a cadeia de transporte de elétrons, interferindo negativamente na produção de ATP e NADPH₂. Complementando essa abordagem, Suassuna et al. (2010) afirmam que a fluorescência da clorofila *a* permite detectar alterações fisiológicas em plantas antes mesmo que ocorra manifestação de sintomas visuais, reforçando sua importância como indicador precoce de estresse hídrico e eficiência metabólica.

5.3 Teores de pigmentos fotossintéticos e extravasamento de eletrólitos

Pelo resumo da análise de variância (Tabela 4) constata-se diferença significativa entre os tratamentos aplicados para variáveis analisadas. Para as lâminas de irrigação houve efeito significativo ($p < 0,01$) sobre a clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*) e carotenoides (CAR) indicando que os diferentes níveis de aplicação de lâminas de água influenciaram substancialmente o comportamento das características mensuradas. Para o fator ATP, observou-se efeito significativo ($p < 0,05$) apenas sobre os parâmetros de clorofila *a* (Chl *a*) e clorofila *b* (Chl *b*). A interação entre lâminas de irrigação e ATP não foi significativa para nenhum dos parâmetros avaliados, sugerindo que os efeitos desses dois fatores são independentes entre si.

Tabela 4. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis de clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides e extravasamento de eletrólitos.

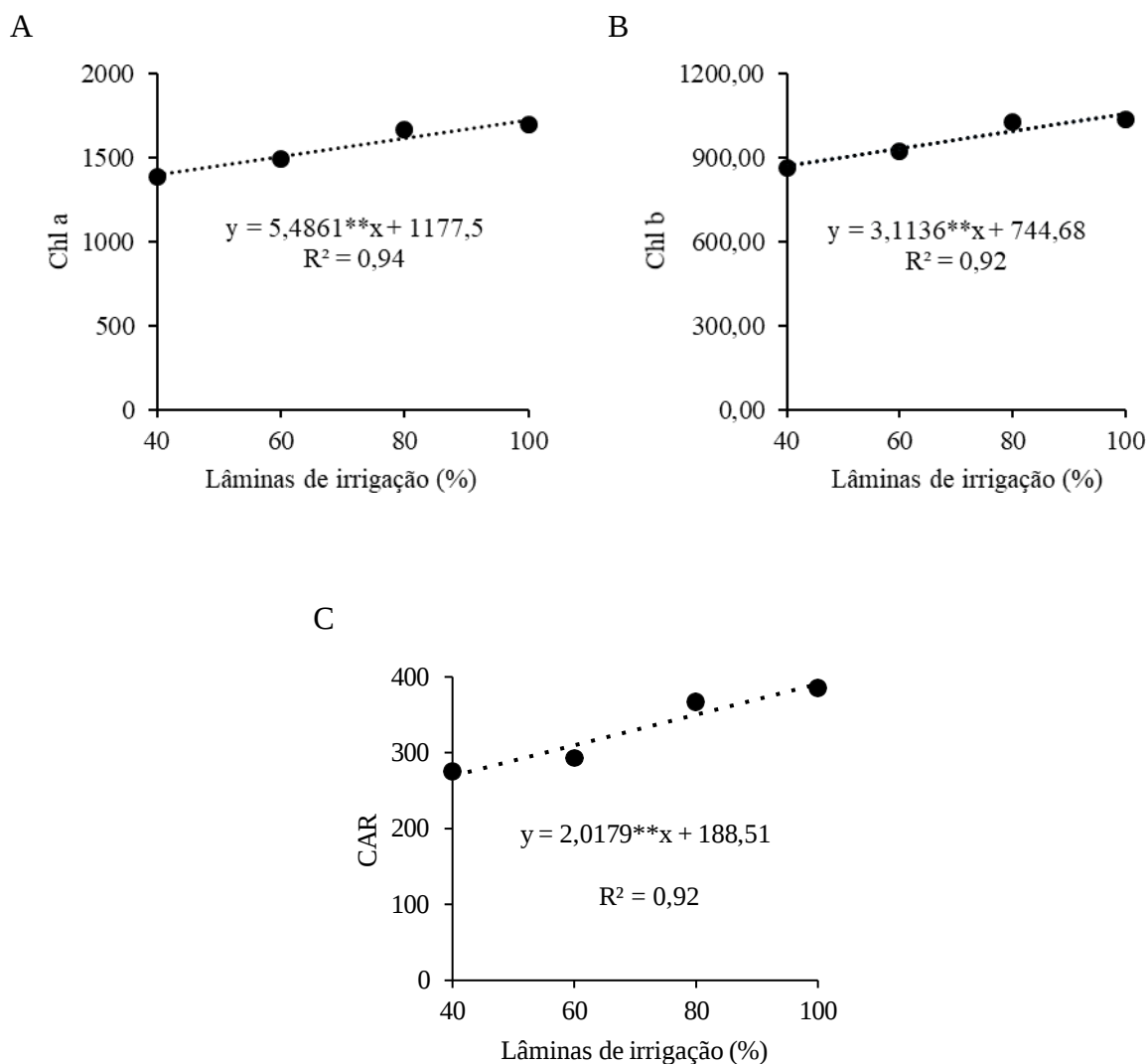
FV	GL	Quadrado Médio			
		Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	CAR	EE
Bloco	4	12,08 ^{ns}	6,42*	1.757,30 ^{ns}	0,92*
ATP	1	49,97*	18,77*	2.895,44 ^{ns}	1,01 ^{ns}
Lâminas	3	187,73**	64,06**	29.252,33*	6,05 ^{ns}
Lâminas*ATP	3	1,35 ^{ns}	1,36 ^{ns}	60,63 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Resíduo	28	5,10	3,62	947,42	0,25
CV(%)		13,34	10,61	9,33	15,64

^{ns}, *, **, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F respectivamente.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025

De acordo com a Figura 11A, os teores de clorofila foram elevados em função do aumento da lâmina de irrigação aplicada com ajuste linear crescente. O aumento nos níveis de Chl *a* foi de 23,5% quando comparado as lâminas de 40 e 100% da necessidade hídrica da

cultura. Esse resultado evidencia a disponibilidade hídrica promove elevação nos níveis de clorofila *a* melhorando atividade fotossintética das plantas e consequentemente o crescimento vegetal. Esses resultados corroboram com estudos prévios que apontam a influência da disponibilidade hídrica sobre a resposta fisiológica e produtiva de plantas, refletindo-se nos parâmetros bioquímicos e de crescimento (Silva et al., 2019; Oliveira et al., 2021).



Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Figura 11. Teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*) e carotenoides (CAR) do algodoeiro FM 966 em função das lâminas de irrigação aos 50 DAE

A clorofila *b* (Chl *b*) (Figura 11B), obteve resultados semelhantes aos observados na clorofila *a*, sendo constatado aumento de 21,49% quando comparada as plantas irrigadas com

40 e 100% da necessidade hídrica da cultura. Esse resultado sugere que a irrigação tem efeito positivo sobre a produção de clorofila b, o que pode ajudar no processo fotossintético da planta. Além disso, mesmo com aumentos pequenos na irrigação, já se observa melhora nos níveis de Chl b, indicando que o uso da água, quando bem manejado, pode trazer bons resultados para o desenvolvimento da planta.

Para os teores de carotenoides (Figura 11C), constatou-se aumento de 44,97% entre a lâmina de 40 e 100% da necessidade hídrica da cultura. O comportamento crescente indica que, com maior disponibilidade de água, há um estímulo na produção desses pigmentos, que têm funções importantes como proteção contra estresse oxidativo e atuação na fotoproteção. O alto valor de R^2 sugere que a irrigação explica grande parte da variação na concentração de carotenoides, destacando a importância da água como fator determinante na síntese desses compostos. Isso pode indicar um efeito benéfico do manejo hídrico adequado sobre a qualidade fisiológica e bioquímica das plantas.

5.4 Crescimento, acúmulo de massa e componentes de produção

Com base na análise de variância (Tabela 5), observa-se efeito significativo da aplicação de ATP sobre a altura de planta (AP), diâmetro da haste (DH), massa seca de raiz (MSR), massa seca da haste (MSH) e o número de capulhos por planta (Ncap). AP, DH, MSR, MSH e Ncap. Para o comprimento de raiz (CRAIZ) e a massa de capulhos por planta (Mcap), o efeito de ATP não foi significativo, indicando que o tratamento aplicado não influenciou essas variáveis de forma estatisticamente comprovada.

Em relação às lâminas de irrigação, foi observado efeito altamente significativo ($p \leq 0,01$) para maioria das variáveis, exceto CRAIZ. A interação entre Lâmina e ATP não foi significativa para nenhuma das variáveis analisadas. Isso indica que os efeitos dos dois fatores foram independentes, ou seja, o resultado de um não depende do outro. O coeficiente de variação (CV%) foi baixo para a maioria das variáveis, como AP (3,42%) e DH (3,58%), o que demonstra boa precisão dos dados. No entanto, o CV de CRAIZ foi de 21,53%, indicando uma maior variação nos dados dessa variável, o que pode ser resultado de fatores ambientais ou variações naturais entre plantas (Tabela 5)

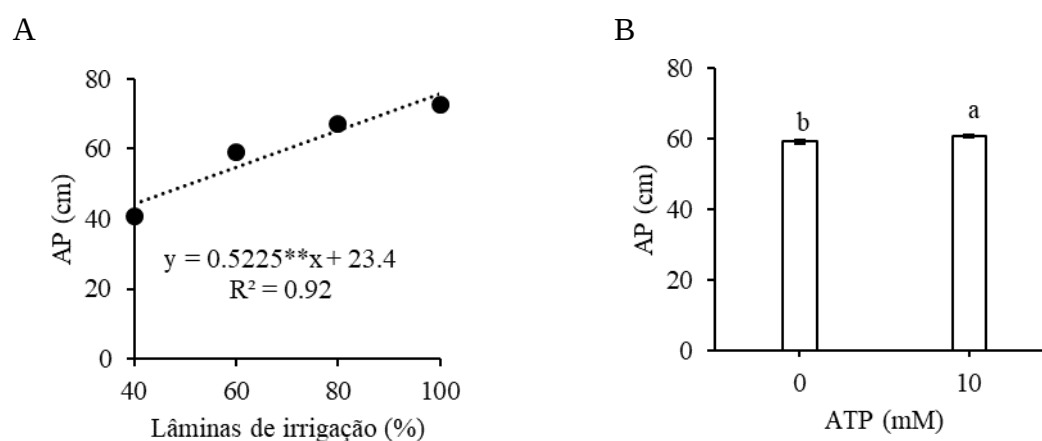
Tabela 5. Os resultados da análise de variância (ANOVA) para as variáveis de altura da planta - AP, diâmetro da haste - DH, massa seca da raiz - MSR, massa seca do caule - MSC, número de capulhos - Ncap e massa de capulho - Mcap.

FV	GL	Quadrado Médio					
		AP	DH	MSR	MSH	Ncap	Mcap
Bloco	4	10,21*	0,12 ^{ns}	1,50 ^{ns}	43,83 ^{ns}	0,96 ^{ns}	12,80 ^{ns}
ATP	1	27,22**	1,91**	24,77**	68,67**	10,00**	42,97 ^{ns}
Lâminas	3	1968,09**	21,85**	143,74**	540,32**	227,53**	1133,28**
Lâminas*ATP	3	4,22 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,82 ^{ns}	5,06 ^{ns}	0,86 ^{ns}	3,07 ^{ns}
Resíduo	28	4,21	0,12	2,60	6,46	0,59	20,90
CV(%)		3,42	3,58	5,38	47,91	7,69	7,62

^{ns}, *, **, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F respectivamente.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Na Figura 12A, Observa-se que a altura da planta aumentou proporcionalmente com o aumento da lâmina de irrigação, indicando que a disponibilidade de água é essencial para o bom desenvolvimento vegetal. Além disso, a aplicação de ATP exógeno (Figura 12 B) também resultou em incremento (2,78%) na altura das plantas em comparação ao controle. Isso sugere que o ATP pode atuar como um regulador fisiológico, contribuindo para processos relacionados ao crescimento, como o transporte de nutrientes e a ativação de respostas metabólicas.

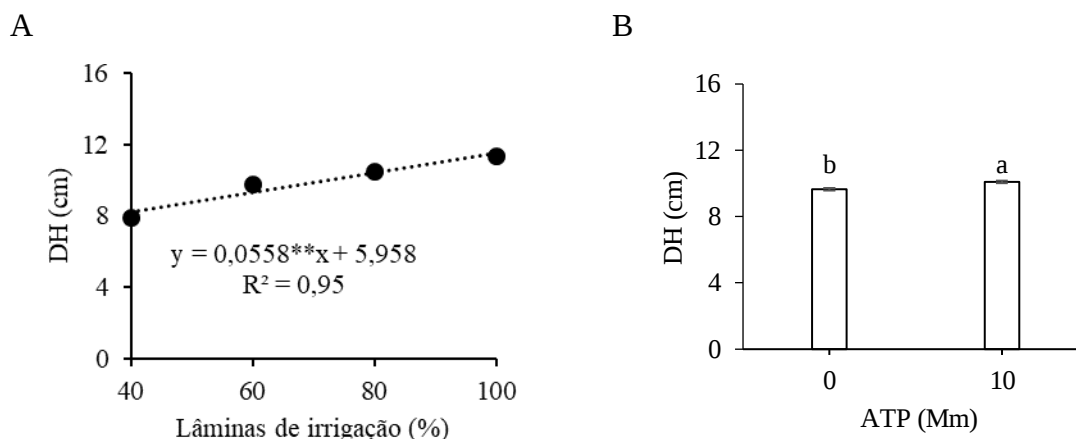


Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Figura 12. Altura de planta em função das lâminas de irrigação (A) e da aplicação de ATP (B)

De acordo com a Figura 13 A, o diâmetro da haste das plantas aumentou conforme foram aplicadas maiores lâminas de irrigação, indicando que a água teve um papel importante no desenvolvimento estrutural da planta. Plantas que foram submetidas a maiores lâminas

(80% e 100%) apresentaram hastes mais robusta, o que pode estar relacionado ao melhor transporte de nutrientes e maior acúmulo de biomassa. Além disso, a aplicação de ATP (Figura 13B) também influenciou positivamente essa característica. As plantas tratadas com ATP obtiveram aumento (4,55%) no diâmetro da haste em comparação ao controle, com diferença estatística significativa. Isso sugere que o ATP pode ter atuado como um estímulo fisiológico, favorecendo o crescimento da planta mesmo em pequenas quantidades.



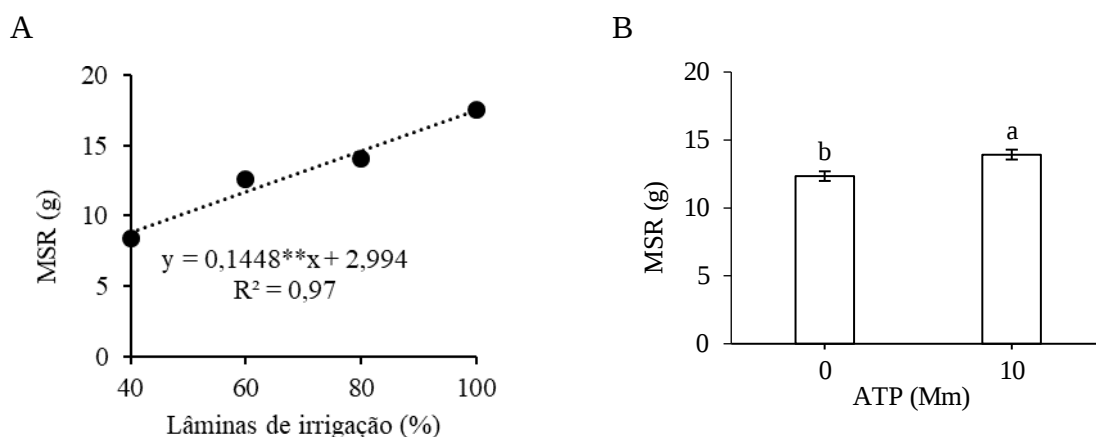
Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Figura 13. Diâmetro da haste em função das lâminas de irrigação (A) e da aplicação de ATP (B)

De acordo com a Figura 15, o comportamento das plantas foi influenciado tanto pela aplicação de ATP quanto pelos diferentes níveis de irrigação. Demonstrando que a aplicação de 10 (mM) de ATP promoveu um aumento significativo na MSR em comparação ao controle 0 (mM), indicando que o ATP favorece o crescimento radicular. Da mesma forma, o aumento das lâminas de irrigação resultou em maior MSR, mostrando uma relação positiva entre a disponibilidade de água e o desenvolvimento das raízes. Esses resultados sugerem que tanto o suprimento de energia (via ATP) quanto a adequada irrigação são fatores importantes para o crescimento radicular das plantas.

Para a massa seca da raiz (Figura 15A) os aumentos das lâminas de irrigação subsidiaram maior acúmulo de massa de raízes, isso ocorreu em virtude do crescimento gradual na formação de raízes tornando-as mais desenvolvidas. Isso indica que a água, além de ser essencial para os processos vitais da planta, também estimula o crescimento do sistema radicular, que é responsável por absorver nutrientes e manter a planta firme no solo (TAIZ et al., 2017).

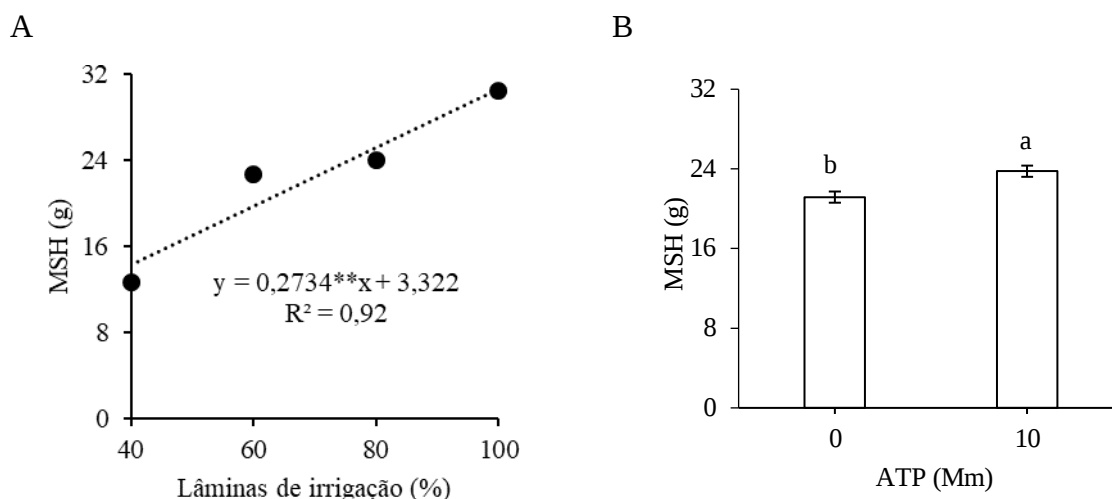
Em relação a aplicação de ATP (Figura 15B), as plantas que receberam ATP obtiveram maior porcentagem de massa seca de raiz (12,8%) em comparação àquelas que não foram tratadas. Isso sugere que o ATP pode ter atuado como um reforço metabólico, ajudando a planta a crescer de forma mais eficiente mesmo sob condições controladas. De forma geral, podemos atribuir que tanto a irrigação adequada quanto o uso de ATP contribuíram positivamente para o crescimento radicular, o que é essencial para garantir o bom desenvolvimento da planta como um todo e melhorar sua capacidade de suportar variações no ambiente.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Figura 15. Massa seca da raiz em função das lâminas de irrigação (A) e da aplicação de ATP (B)

As lâminas de irrigação também influenciaram a massa seca da haste (MSH). À medida que se aplicaram maiores volumes de água, observou-se um crescimento significativo da parte estrutural da planta, o que demonstra que a irrigação adequada favoreceu o acúmulo de biomassa (Figura 16A). Tais resultados comprovam que o fornecimento de água em quantidades suficientes é essencial para o desenvolvimento saudável da haste, que é responsável por sustentar a planta e transportar nutrientes (TAIZ et al., 2017). Além disso, também foi possível verificar que a aplicação de ATP (Figura 16B) contribuiu para o aumento da massa seca da haste. As plantas tratadas com ATP obtiveram hastes mais desenvolvidas em comparação às que não receberam o composto. Essa diferença foi estatisticamente significativa, o que reforça o papel do ATP como potencial estimulador do crescimento vegetal, possivelmente atuando em processos relacionados ao metabolismo e à eficiência no uso dos recursos disponíveis.

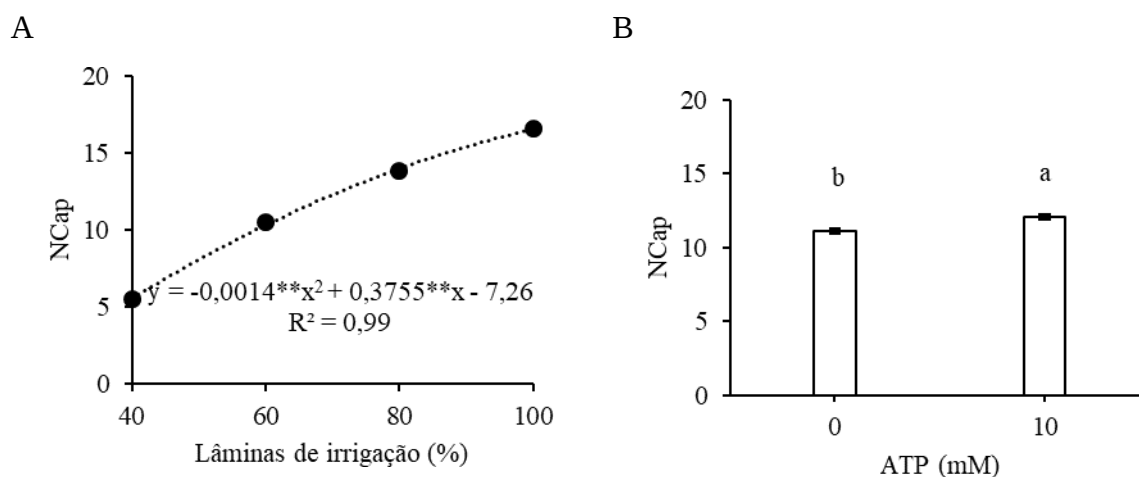


Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Figura 16. Massa seca da haste em função das lâminas de irrigação (A) e da aplicação de ATP (B)

Na Figura 17A, observa-se efeito claro no número de capulhos por planta em função das lâminas de irrigação. À medida que se aplicaram lâminas maiores de água (80% e 100%), observou-se um aumento significativo, indicando que a disponibilidade de água é fundamental para o bom desenvolvimento reprodutivo da cultura. Esse comportamento reforça a importância de um manejo hídrico adequado, já que a escassez de água pode limitar diretamente o potencial produtivo da planta. Além disso, o uso de ATP (Figura 17B) também influenciou positivamente o número de capulhos.

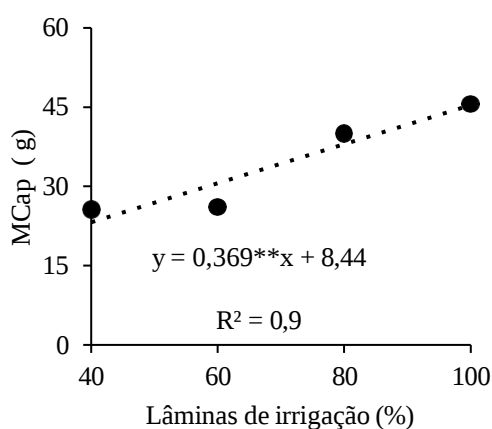
As plantas tratadas com ATP (10 mM) obtiveram maiores médias de capulhos em comparação àquelas que não receberam o composto (0 mM). Essa diferença foi estatisticamente significativa, sugerindo que o ATP pode ter atuado como um estimulante do desenvolvimento reprodutivo, possivelmente melhorando processos fisiológicos que favorecem a formação dos capulhos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Figura 17. Número de capulhos em função das lâminas de irrigação (A) e da aplicação de ATP (B)

Para a massa de capulhos por plantas (Figura 18), observou-se que o aumento das lâminas de irrigação promoveu um incremento gradual na massa de capulho (MCap), indicando uma relação positiva entre a disponibilidade hídrica e o acúmulo de massa, ou seja, plantas submetidas a maiores níveis de irrigação (80% e 100%) apresentaram maior desenvolvimento em termos de massa.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Figura 18. Massa de capulhos por plantas em função das lâminas de irrigação

CONCLUSÕES

Não há interação significativa entre lâminas de irrigação e aplicação exógena de Trisfosfato de Adenosina sobre os aspectos fisiológicos, bioquímicos e de produção do algodoeiro FM 966, nas condições em que este estudo foi realizado.

O fornecimento exógeno de Trifosfato de Adenosina promove aumento significativas nos parâmetros fisiológicos, bioquímicos e nos componentes de produção do algodoeiro FM 966.

A lâmina de irrigação de 40% reduz significativamente os parâmetros fisiológicos, bioquímicos e os componentes de produção do algodoeiro FM 966 em condições de ambiente protegido.

REFERÊNCIAS

- ABRAPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. **A importância do algodão para o Brasil e o mundo**. 2023. Disponível em: <https://abrapa.com.br>. Acesso em: 11 jun. 2025.
- ABRAPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. **Relatório de sustentabilidade da cotonicultura brasileira** – safra 2023/2024. Brasília: ABRAPA, 2025. Disponível em: <https://abrapa.com.br>. Acesso em: 11 jun. 2025.
- AGÊNCIA BRASIL. Brasil supera EUA e se torna maior exportador de algodão do mundo. **Brasília: EBC**, 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br>. Acesso em: 11 jun. 2025.
- ALBERTS, B. et al. *Molecular biology of the cell*. 4. ed. New York: Garland Science, 2002.
- ALVAREZ, J. M. et al. Exogenous ATP application enhances drought tolerance in maize by modulating root architecture and hormonal balance. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 150, p. 138–147, 2020.
- BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, v. 59, p. 89–113, 2008.
- BERG, J. M.; TYMOCZKO, J. L.; GATTO, G. J. *Biochemistry*. 5. ed. New York: W. H. Freeman, 2002.
- BERG, J. M.; TYMOCZKO, J. L.; STRYER, L. *Bioquímica*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.
- BURNSTOCK, G. Purinergic signaling — an overview. *Novartis Foundation Symposium*, v. 276, p. 26–48, 2006.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim de acompanhamento da safra de algodão** – fevereiro de 2025. Brasília: CONAB, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 11 jun. 2025.
- COSTA, J. P.; ANDRADE, L. M.; FERREIRA, M. R. Aplicação de bioestimulantes e sua influência em parâmetros morfofisiológicos de plantas cultivadas. *Revista Verde*, v. 15, n. 3, p. 230–238, 2020.
- DANIEL, D. B. O. et al. Fitotoxicidade causada por produtos fitossanitários em sementes e plântulas de algodão. 2021. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia**. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/32900>. Acesso em: 10 maio 2025.
- FERNANDES, M. S. et al. Irrigation depths and water use efficiency in agricultural systems. *Water Resources Research*, v. 56, n. 12, e2020WR028462, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2020WR028462>.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. Tratado de fisiologia médica. 13. ed. **Rio de Janeiro: Elsevier**, 2017.

HU, Z. H.; ZHANG, X. J.; JIANG, L. Y. Genetic modification of ATP production in cotton for drought resistance. *Journal of Experimental Botany*, v. 65, n. 8, p. 2219-2228, 2014.

KORNBERG, H. L.; PRICER, W. A. The role of pyruvate in plant metabolism. *Plant Physiology*, v. 123, n. 3, p. 1321-1329, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.123.3.1321>.

KRAUSE, G. H.; WEISS, H. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 20, n. 2, p. 118-125, 1991.

LIMA, L. C. et al. Effects of different irrigation depths on crop yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, v. 221, p. 311-318, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.023>

LODISH, H. et al. Molecular cell biology. 4. ed. **New York: W. H. Freeman**, 2000.

LOPES, P. R. C.; SOUSA, E. F. de; ANDRADE, C. L. T. de. Eficiência do uso da água no cultivo do algodão irrigado com base no balanço hídrico do solo. *Irriga, Botucatu*, v. 26, n. 1, p. 78-90, 2021.

MANIÇOBA, M. P. et al. Genetic parameters and selection index in intraspecific cotton (*Gossypium hirsutum* L.) progenies. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 21, n. 3, e20210034, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cbab/a/sDmgnyds7kcpCtWcKzxKcHR/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MEDEIROS, J. F. de; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, C. R. da. Necessidades hídricas do algodoeiro em diferentes estádios fenológicos no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 23, n. 2, p. 95-100, 2019.

MEDEIROS, J. F.; NUNES, J. A.; LOPES, F. G. Interação entre estresses abióticos e reguladores de crescimento: implicações para a produção vegetal. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 48, n. 4, p. 423-430, 2018.

MELO, A. S. de et al. Fluorescência da clorofila a como indicadora da eficiência fotoquímica em plantas de melancia sob diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 4, p. 353-359, 2010.

MONTEIRO, J. A. et al. Eficiência fotoquímica e produtividade do meloeiro sob diferentes lâminas de irrigação. *Revista Caatinga*, v. 21, n. 4, p. 1-8, 2008.

MORSY, M. R. et al. Molecular and physiological aspects of pyruvate metabolism in cotton (*Gossypium* spp.) under environmental stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 48, n. 3, p. 122-128, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.12.002>.

NELSON, D. L.; COX, M. M. Lehninger – Princípios de bioquímica. 7. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2018.

OLIVEIRA, A. B.; MARTINS, L. A.; RIBEIRO, D. F. Influência do manejo da irrigação no desempenho bioquímico de culturas agrícolas. *Scientia Agraria*, v. 22, n. 1, p. 45-53, 2021.

OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, J. A.; COSTA, F. M. Tecnologias de monitoramento para irrigação no cultivo do algodão: uso eficiente da água no semiárido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 7, p. 433-439, 2020.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002.

QAMER, F. M. et al. Antioxidant defense in cotton under environmental stresses: Unraveling the complex mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*, v. 190, 2021, 104580. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942823006526>. Acesso em: 18 abr. 2025.

RAO, S. Y.; YANG, Z. M.; FENG, J. L. Role of ATP in growth and stress response in cotton. *Plant Physiology*, v. 45, n. 3, p. 567-574, 2011.

ROSSI, R. M. et al. Cadeia produtiva do algodão no Brasil. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, e821997951, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/31730/27768/368675>. Acesso em: 24 abr. 2025.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a non-intrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: SCHULZE, E. D.; CALDWELL, M. M. (Ed.). *Ecophysiology of Photosynthesis*. Springer, 1995.

SILVA, R. A.; SOUZA, F. C.; LIMA, V. J. Respostas fisiológicas de plantas submetidas a diferentes regimes hídricos. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 13, n. 2, p. 101-110, 2019.

SILVA JÚNIOR, E. G. Redes neurais artificiais para previsão de qualidade de fibra do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). 2022. 47 f. **Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia**, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/37122>. Acesso em: 18 abr. 2025.

SOUZA, F. C. et al. Influence of irrigation depths on the growth and yield of maize crops. *Field Crops Research*, v. 225, p. 70-80, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.06.019>.

STRYER, L. Biochemistry. 4. ed. New York: **W. H. Freeman**, 1995.

SUASSUNA, J. F. et al. Fluorescência da clorofila a no estudo da fotossíntese em plantas submetidas a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, n. 2, p. 275-280, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology and development. 6. ed. **Sunderland: Sinauer Associates**, 2017.

TAIZ, Lincoln et al. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2013.

VASUDEVAN, M. V.; GRESSHOFF, P. M. Modulating pyruvate metabolism to enhance cotton fiber quality. ***Plant Biotechnology Journal***, v. 11, n. 5, p. 425-435, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pbi.12073>.

VASSILEV, V. et al. Exogenous ATP enhances photosynthetic efficiency in plants under stress conditions. ***Plant Science***, v. 270, p. 62-69, 2018.

YANG, J. W.; ZHANG, S. J.; LI, W. L. ATP production and defense responses in cotton plants during pathogen attack. ***Journal of Plant Physiology***, v. 168, n. 4, p. 542-550, 2013.

ZHANG, F. et al. Role of pyruvate metabolism in the stress response of plants. ***Journal of Experimental Botany***, v. 65, n. 12, p. 3487-3498, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/eru053>.