

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

GABRIEL ARAGÃO FERNANDES

RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA-C (UV-C) EM SEMENTES DE ALGODOEIRO

UBERLÂNDIA/MG

2024

GABRIEL ARAGÃO FERNANDES

RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA-C (UV-C) EM SEMENTES DE ALGODOEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Larissa Barbosa de Sousa

Coorientador: Prof. Dr. Cláudio Ricardo da Silva

UBERLÂNDIA/MG
2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

F363
2024 Fernandes, Gabriel Aragão, 1998-
RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA-C (UV-C) EM SEMENTES DE
ALGODOEIRO [recurso eletrônico] / Gabriel Aragão
Fernandes. - 2024.

Orientadora: Larissa Barbosa de Sousa.
Coorientador: Cláudio Ricardo da Silva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.185>
Inclui bibliografia.

1. Agronomia. I. Sousa, Larissa Barbosa de, 1985-,
(Orient.). II. Silva, Cláudio Ricardo da, 1972-,
(Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em
Agronomia

Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP
38400-902

Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppgagro.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 001/2024, PPGAGRO				
Data:	Dezesseis de fevereiro de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	19:15	Hora de encerramento:	21:15
Matrícula do Discente:	12212AGR004				
Nome do Discente:	Gabriel Aragão Fernandes				
Título do Trabalho:	Radiação ultravioleta-C (UV-C) em sementes de algodoeiro				
Área de concentração:	Produção vegetal				
Linha de pesquisa:	Melhoramento de Plantas				

Reuniu-se no Anfiteatro do bloco 4K, Campus Umuarama, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Doutores: Adílio de Sá Júnior - UFU; Daniel Bonifácio Oliveira Cardoso - Pesquisador; Professores Doutores: Igor Souza Pereira - IFTM; Larissa Barbosa de Sousa - UFU orientador do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dra. Larissa Barbosa de Sousa, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Larissa Barbosa de Sousa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 16/02/2024, às 21:08, 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 **Adílio de Sá Júnior, Técnico(a) de Laboratório**, em 16/02/2024, às 21:10, 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 **Igor Souza Pereira, Usuário Externo**, em 16/02/2024, às 21:11, 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 **DANIEL BONIFACIO OLIVEIRA CARDOSO, Usuário Externo**, em 23/02/2024, às 11:38, 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 https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5176242** e o código CRC **3156243B**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, e pela força que me concede diariamente, possibilitando meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus pais, Osvaldo e Maricláudia, agradeço o amor, apoio e pelos valores transmitidos. Às minhas irmãs, Angélica e Érica, pelo incentivo e momentos compartilhados.

À minha amada esposa, Ana Flávia, agradeço o amor, apoio incondicional, carinho e pelos momentos memoráveis, motivando-me diariamente.

À Prof.a Dra. Larissa Barbosa de Sousa e ao Prof. Dr. Cláudio Ricardo da Silva, minha gratidão pela orientação, compreensão e ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Hugo César Rodrigues Moreira Catão e ao Dr. Adílio de Sá Júnior, agradeço pelos ensinamentos e suporte essenciais para a realização deste estudo. Ao Prof. Dr. Foued Salmen Espindola, à Dr^a Renata Roland Teixeira e aos integrantes do Laboratório de Bioquímica e Biologia Molecular (LABIBI), meu agradecimento pela contribuição indispensável à pesquisa.

Aos membros do Programa de Melhoramento Genético do Algodoeiro da Universidade Federal de Uberlândia, em especial a Daniel Bonifácio, Luiza Medeiros, Elvécio Júnior, Murilo Medeiros, José Augusto, Isabela Abreu e Vitória Emanuelle, agradeço a colaboração.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) agradeço a bolsa de estudos e apoio financeiro.

A todos que contribuíram para o planejamento, execução e conclusão deste trabalho, meu sincero agradecimento.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta para as variáveis do teste de germinação do genótipo BRS 286 sob a influência de diferentes níveis de radiação UV-C. Uberlândia, MG.	28
Tabela 2. Resumo da análise de variância para porcentagem de sementes classificada com notas entre I a IV provenientes do teste de tetrazólio para sementes de algodoeiro submetido a diferentes níveis de exposição à radiação UV-C. Uberlândia, MG.	32
Tabela 3. Matriz de correlação de Pearson para variáveis germinação (Germ), plântulas normais (FO), plântulas fracas (FA), comprimento parte aérea (PA), comprimento parte radicular (PR), matéria seca dos cotilédones (MSC), matéria seca da plântula (MSP), sementes viáveis (Viáveis) e sementes não viáveis (Não viáveis) do genótipo BRS 286 sob a influência de diferentes níveis de UV-C (UV). Uberlândia, MG.	34
Tabela 4. Resumo análise de variância para características de germinação e qualidade fisiológica dos genótipos BRS 286 e DP 555 BGRR sob a influência de níveis de UV-C. Uberlândia, MG.	40
Tabela 5. Porcentagem de plântulas normais (PPN), porcentagem de sementes viáveis (SV) e comprimento da parte radicular (CPR) de dois genótipos de algodoeiro submetidos à diferentes níveis de UV-C. Uberlândia, MG.	42
Tabela 6. Análises bioquímicas e enzimáticas dos genótipos BRS 286 e DP 555 BGRR submetidas à diferentes níveis de UV-C em condicionamento de sementes. Uberlândia, MG.	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Placas de acrílico contendo 200 sementes do genótipo BRS 286 para receber tratamento com radiação UV-C. Uberlândia, MG, 2024.	22
Figura 2. A – Corte superior da câmara desenvolvida para realizar o condicionamento utilizando radiação UV-C em sementes de algodoeiro. B e C – Vista frontal da câmara de radiação UV-C. Uberlândia, MG, 2024.	23
Figura 3. Padrão de plântulas normais e anormais utilizado como classificação durante a leitura do teste de germinação. Uberlândia, MG.	24
Figura 4. Escala de notas de 1 a 4 para o vigor de sementes de algodoeiro submetidos ao teste de tetrazólio. Uberlândia, MG.	26
Figura 5. Plântulas do genótipo BRS 286 submetidas ao condicionamento de sementes com diferentes níveis de exposição à radiação ultravioleta C. Uberlândia, MG, 2024.	29
Figura 6. Regressão linear para percentual de plântulas normais e fracas provenientes do teste de germinação da genótipo BRS 286 submetida à diferentes níveis de exposição à luz UV-C. Uberlândia, MG, 2024.	30
Figura 7. Regressão quadrática para matéria seca dos cotilédones (mg) (MSC) do genótipo BRS 286 submetidas à diferentes níveis de exposição à luz UV-C. Uberlândia, MG, 2024. ...	31
Figura 8. Sementes do genótipo BRS 286 classificadas como não viáveis segundo o teste de tetrazólio. A – Morte do meristema apical radicular associado a elevada taxa de respiração celular; B – Morte do eixo embrionário e lesão no meristema radicular; C – Morte dos tecido de reserva.	33
Figura 9. Regressão linear para porcentagem de sementes viáveis e não viáveis do genótipo BRS 286 submetido a diferentes níveis de UV-C. Uberlândia, MG, 2024.	33
Figura 10. Plântulas do genótipo BRS 286 que foram classificadas como normais e anormais após radiação com diferentes níveis de radiação UV-C. Uberlândia, MG, 2024.	43
Figura 11. Plântulas do genótipo DP 555 BGRR que foram classificadas como normais e anormais após radiação com diferentes níveis de radiação UV-C. Uberlândia, MG, 2024.	44
Figura 12. Modelo de regressão para porcentagem de plântulas normais (PPN) do genótipo BRS 286 sob a radiação UV-C. Uberlândia, MG, 2024.	45
Figura 13. Regressão linear para o genótipo BRS 286 e regressão quadrática para o genótipo DP 555 BGRR, proveniente da porcentagem de sementes viáveis após serem submetidas à diferentes níveis de UV-C. Uberlândia, MG, 2024.	45
Figura 14. Sementes dos genótipos BRS 286 (A) e DP 555 BGRR (B) classificados como nota 2, vigor médio, submetidos ao teste de tetrazólio após a irradiação com $11,484 \text{ kJ m}^{-2}$ de UV-C. Uberlândia, MG, 2024.	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1.HISTÓRICO DO ALGODOEIRO NO BRASIL.....	13
2.2.CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS DO ALGODOEIRO.....	14
2.3.ESTRESSES ABIÓTICOS.....	15
2.4.O USO DE CONDICIONAMENTO DE SEMENTES NA AGRICULTURA.....	16
2.5.USO E EFEITOS DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NO CONDICIONAMENTO DE SEMENTES	18
3. AVALIAÇÃO DE DIFERENTES NÍVEIS DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA-C EM UM GENÓTIPO SENSÍVEL AO DÉFICIT HÍDRICO	21
3.1.MATERIAL E MÉTODOS	22
3.2.RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3.3.CONCLUSÕES	35
4. SEMENTES DE ALGODOEIRO COM DIFERENTES NÍVEIS DE TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO SUBMETIDA À RADIAÇÃO UV-C	36
4.1.MATERIAL E MÉTODOS	37
4.2.RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.3.CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	50

RESUMO

A produção do algodoeiro é afetada pelas condições de salinidade, déficit hídrico, altas temperaturas do ar etc., que aumenta a produção Espécies Reativas de Oxigênio (EROs). Altos níveis de EROs ocasionam danos celulares, neste sentido, novas tecnologias como condicionamento de sementes vêm sendo testadas com o intuito de ativar previamente o sistema de defesa vegetal, conferindo maior robustez às plantas. Logo, este estudo teve como objetivo avaliar as respostas fisiológicas do algodoeiro submetido à diferentes níveis radiação ultravioleta. Este estudo foi dividido em duas etapas: I – Realizou-se uma análise conjunta com os dados obtidos por meio de dois experimentos utilizando o genótipo BRS 286, sensível ao déficit hídrico, sob os seguintes níveis de UV-C 0,00; 2,87; 4,78; 5,74 e 11,48 kJ m⁻², utilizando o delineamento em blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições. Foram avaliadas a porcentagem de germinação, porcentagem de plântulas normais e anormais, matéria seca dos cotilédones e plântula, comprimento de parte aérea e radicular e o vigor, com base no teste de tetrazólio. Foi realizado o teste de regressão para as variáveis significativas, e o teste de correlação de Pearson para todas as variáveis. II – O experimento foi realizado em esquema fatorial em DBC, em que foram avaliados os genótipos BRS 286 e DP 555 BGRR nos seguintes níveis 0,00; 5,74; 11,48 e 17,22 kJ m⁻², com quatro repetições. Realizou-se as mesmas avaliações da etapa I, além disso foram avaliadas as respostas bioquímicas. Foi realizado o teste de Tukey para comparação dos genótipos, regressão para comparação dos níveis de UV-C e foi calculado os parâmetros genéticos. O genótipo BRS 286 apresentou redução no número de plântulas normais e no vigor, de acordo com a exposição ao UV-C, enquanto o genótipo DP 555 BGRR não alterou seus parâmetros de vigor. Os danos correlacionados ao UV-C foram a morte do hipocótilo e a deformação radicular. Durante o teste de tetrazólio foi possível observar a morte do eixo embrionário e danos ao cilindro radicular de acordo com o aumento no nível UV-C. Corroborando os resultados dos testes de germinação e tetrazólio, as análises bioquímicas demonstraram que os parâmetros de dano oxidativo do genótipo BRS 286 foram superiores quando comparados ao DP 555 BGRR. O comportamento do algodoeiro quanto à exposição ao UV-C demonstrou-se variável de acordo com o genótipo, apresentando diferenciação quanto a tolerância ao déficit hídrico, onde o genótipo tolerante não apresentou perda de vigor.

Palavras-chave: Espécies Reativas de Oxigênio, Dano Oxidativo, Estresse Abiótico.

ABSTRACT

Cotton production is affected by salinity, drought, high air temperatures, etc., which increases the production of Reactive Oxygen Species (ROS). High levels of ROS cause cellular damage, in this sense, new technologies such as seed conditioning have been tested with the aim of previously activating the plant defense system, providing greater robustness to plants. Therefore, this study aimed to evaluate the physiological responses of cotton plants subjected to different levels of ultraviolet radiation. This study was divided into two stages: I – A joint analysis was carried out with data obtained through two experiments using the BRS 286 genotype, sensitive to water deficit, under the following levels of UV-C 0.00; 2.87; 4.78; 5.74 and 11.48 kJ m⁻², using a randomized block design (DBC), with four replications. Germination percentage, percentage of normal and abnormal seedlings, cotyledon and seedling dry matter, shoot and root length and vigor were evaluated, based on the tetrazolium test. The regression test was performed for significant variables, and the Pearson correlation test was performed for all variables. II – The experiment was carried out in a factorial scheme in DBC, in which the BRS 286 and DP 555 BGRR genotypes were evaluated at the following levels 0.00; 5.74; 11.48 and 17.22 kJ m⁻², with four repetitions. The same evaluations as in stage I were carried out, in addition, biochemical responses were evaluated. The Tukey test was performed to compare genotypes, regression to compare UV-C levels and genetic parameters were calculated. The BRS 286 genotype showed a reduction in the number of normal seedlings and in vigor, according to exposure to UV-C, while the DP 555 BGRR genotype did not change its vigor parameters. The damages correlated to UV-C were hypocotyl death and root deformation. During the tetrazolium test it was possible to observe the death of the embryonic axis and damage to the root cylinder according to the increase in the UV-C level. Corroborating the results of the germination and tetrazolium tests, biochemical analyzes demonstrated that the oxidative damage parameters of the BRS 286 genotype were superior when compared to DP 555 BGRR. The behavior of the cotton plant regarding exposure to UV-C proved to be variable according to the genotype, showing differentiation in terms of tolerance to water deficit, where the tolerant genotype did not show loss of vigor.

Keywords: Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, Abiotic Stress

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o quarto maior produtor de algodão do mundo, atrás da China, Índia e Estados Unidos. Na safra 2022/23, a área plantada atingiu 1,64 milhões de hectares em todo o país, com destaque para a região Centro-Oeste, responsável por 75% desse total, com 1,23 milhões de hectares. As regiões Nordeste e Sudeste contribuíram com aproximadamente 358 mil hectares e 41 mil hectares, respectivamente (Abrapa, 2023).

Nesse período, a produtividade média foi de 4.628 kg ha⁻¹ de algodão em caroço e 1.907 kg ha⁻¹ de pluma, representando um aumento de 18,03% e 19,48%, respectivamente, em comparação com a safra anterior (Conab, 2023).

O algodoeiro é a principal fonte de fibra natural no mundo, contribuindo para a indústria têxtil, com uma cadeia produtiva que movimenta cerca de 12 milhões de dólares por ano. Devido ser uma cultura de clima subtropical, o algodoeiro é bem adaptado às condições de seca e temperatura elevada. No entanto, longos períodos de exposição aos estresses abióticos como déficit hídrico, salinidade e elevadas temperaturas do ar, desencadeiam perdas em produtividade e qualidade de fibra (Bange *et al.*, 2016; Khan *et al.*, 2020; Arshad Awan *et al.*, 2021; Jans *et al.*, 2021).

Define-se como estresse abiótico quaisquer condições ambientais que impeçam que a cultura expresse seu potencial produtivo (Taiz *et al.*, 2017). Considerando as mudanças climáticas, que desencadearam um aumento na temperatura do ar global, e conseqüentemente, cenários de déficit hídrico, tem gerado preocupação quanto as conseqüências na cultura do algodoeiro.

A redução na produtividade da cultura por estresse abiótico, está correlacionada às alterações morfofisiológicas e bioquímicas desencadeadas pela produção excessiva de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs), que afetam processos como germinação e o desenvolvimento vegetal (Sharif *et al.*, 2019, Majeed *et al.*, 2021; Abdelraheem *et al.*, 2019).

O aumento na concentração das EROs ocorre durante os eventos metabólicos vegetais envolvendo oxigênio nas mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos. São subprodutos de processos de redução e oxidação, realizadas durante as etapas de fotossíntese, respiração celular, transporte de elétrons entre outros, que formam oxigênio singlete (O₂), radical aniônico superóxido (O₂⁻), radical hidroperoxila (HO₂), peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e radical hidroxila (OH). Em níveis normais sua função no metabolismo celular é de sinalização, imunidade inata e apoptose. No entanto, fatores ambientais, como déficit hídrico e exposição à radiação UV, influenciam no aumento da produção desses radicais livres que podem

desencadear danos físicos à uma variedade de moléculas, como proteínas e lipídios (D'Autréaux; Toledano, 2007; Bhattacharjee, 2010; Kovalchuk, 2010; Karuppanapandian *et al.*, 2011).

Como mecanismo de neutralização destes radicais livres estão as reações enzimáticas e não enzimáticas (Verslues *et al.*, 2006), como a produção de superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POX), ascorbato peroxidase (APX) entre outras (Simova-Stoilova *et al.*, 2008), que compõem o sistema de defesa antioxidante, além de outros metabólitos não enzimáticos, que, concomitantemente, atuam no controle dos níveis de concentração das EROs e na redução do dano oxidativo (Barbosa *et al.*, 2014).

O processo de estresse oxidativo causa injúrias no metabolismo vegetal (Debouba *et al.* 2006; Munns; Tester, 2008), desencadeia alterações fisiológicas, reduz do acúmulo de biomassa, altura de planta, área foliar, número de nós, condutância estomática, entre outros (Didonet, 2009).

Neste sentido, estratégias para mitigar os danos oxidativos, gerados pelo estresse abiótico, vêm sendo desenvolvidas e testadas, como o condicionamento das sementes. Que consiste em um conjunto de procedimentos com o objetivo de favorecer a germinação, a sanidade, o desenvolvimento uniforme das plântulas e otimizar as características físicas do lote (Ferreira; Borghetti, 2004).

O condicionamento de sementes vem sendo utilizado visando melhorar as características germinativas e de vigor das sementes, e aumentar a tolerância das plântulas quanto aos estressores abióticos, podendo estender essa resposta até o período vegetativo (Beckers; Conrath, 2007; Tanou *et al.*, 2012; Jisha *et al.*, 2013).

Existem diversos métodos de pré-condicionamento como aplicação ácidos giberélicos (GA₃), nitrato de potássio (KNO₃), água destilada, cloreto de potássio (KCl), cloreto de cálcio (CaCl₂), melatonina, glicina betaína, auxina, etileno, ácido salicílico e radiação ultravioleta (UV) que podem ser utilizadas em cereais, leguminosas e culturas hortícolas (Mahmoudi *et al.*, 2012; Rhaman *et al.*, 2020; Shumaila; Ullah, 2020; Gohari *et al.*, 2020; Sen; Puthur, 2021; Liu *et al.*, 2022).

A radiação UV, em condições naturais, compõe de 8 a 9% da radiação solar e pode ser subdividida em três faixas espectrais: UV-C (200-280 nm), UV-B (280-320 nm) e UV-A (320-400 nm), em que a UV-B e UV-C possuem maior capacidade de causar danos oxidativos às células (Mackerness, 2000; Hollósy, 2002).

De forma geral, níveis elevados de radiação UV podem provocar a redução da taxa de crescimento vegetal, alterar do metabolismo fotossintético, causar danos ao DNA e à membrana

celular entre outros (Kumar *et al.* 2016). Especificamente na cultura do algodoeiro o UV reduz a atividade fotossintética, o desenvolvimento de parte aérea e radicular, altera a morfologia floral, fertilização e frutificação (Kakani *et al.*, 2003; Wells, 2011). Com respostas diferenciais dependendo do genótipo, nível de radiação e fase fenológica da cultura (Ebbrahim, 2004).

No entanto, quando utilizado como condicionamento de sementes a radiação UV-B e UV-C promovem a ativação de processos fisiológicos regulados geneticamente, induzindo respostas adaptativas às condições de estresse (Bashir *et al.*, 2019). Estudos indicam que sua utilização apresenta o potencial de tolerância de diferentes genótipos ao estresse hídrico e salino, devido aumentar a concentração de enzimas antioxidantes (Dillon *et al.*, 2018; Thomas; Puthur, 2019; Xu *et al.*, 2019; Sen; Puthur, 2021).

O condicionamento com UV afeta positivamente a fotossíntese, por ser correlacionado ao aumento das concentrações foliares de ácido salicílico e citocininas. Evidencia-se que o ácido salicílico estimula a atividade da Rubisco (Janda *et al.*, 2014; Poór *et al.*, 2019), enquanto as citocininas aumentam a expressão de genes fotossintéticos que codificam proteínas do fotossistema I, fotossistema II e do complexo citocromo b6f (Cytb6f), que estão envolvidos na cadeia de transporte de elétrons fotossintética (Rivero *et al.*, 2007; Rivero *et al.*, 2009; Rivero *et al.*, 2010).

Além disso, este método pode ser utilizado para diferenciar genótipos tolerantes aos estresses abióticos, devido os genótipos sensíveis apresentarem maiores indicadores de estresse oxidativo, mesmo utilizando condicionamento de sementes, apresentando elevadas concentrações de O₂ e H₂O₂, e conseqüentemente, maiores concentrações de manoldialdeído (MDA), produto resultante da peroxidação lipídica, o que impacta na integridade da membrana celular e no vazamento de eletrólitos (Sen; Puthur, 2020; Sen; Puthur, 2021).

Isso ocorre pois em culturas como o algodoeiro, diferentes fontes de estresse abiótico desencadeiam as mesmas respostas bioquímicas. Genótipos tolerantes ao déficit hídrico apresentam cerca de 23 *quantitative trait loci* (QTL's) em comuns com genótipos tolerantes a salinidade (Adbelraheem *et al.*, 2021). Ademais, de acordo com Sen e Puthur (2020) plantas sensíveis e tolerantes ao estresse hídrico e salino apresentam comportamento diferencial de acordo com os níveis de radiação UV utilizada, em que genótipos tolerantes necessitam de maiores níveis de UV para ativar a atividade antioxidante e induzir respostas adaptativas (Kusvuran *et al.*, 2016; Faseela; Puthur, 2019). Neste sentido este trabalho tem como objetivo avaliar as respostas fisiológicas do algodoeiro submetido à diferentes níveis radiação ultravioleta.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Histórico do algodoeiro no Brasil

A história do cultivo de algodão é datada desde séculos antes de Cristo, com registros iniciais no Paquistão e no litoral norte do Peru. No Brasil, a cotonicultura teve início na região Nordeste durante o período colonial, ganhando expressividade a partir de 1750. Entretanto, a infestação do bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*) provocou uma redução significativa na produção, levando à migração da cultura para o Cerrado brasileiro na década de 1990, especialmente no estado de Mato Grosso, que se tornou o principal produtor (Araujo; Sofiatti, 2017; IBGE, 2022; Amipa, 2022).

O desenvolvimento da cotonicultura no Brasil foi impulsionado por associações como a Associação Mineira de Produtores de Algodão (AMIPA) e programas como o Programa Mineiro de Incentivo à Cultura do Algodão (Proalminas), que desempenharam papéis importantes na expansão dessa cultura em Minas Gerais (Amipa, 2022). Além disso, a Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (Abrapa), criada em 1999, atualmente é a responsável por 99% da área plantada, 99% da produção nacional e 100% da exportação de algodão no Brasil (Abrapa, 2022).

Os programas de melhoramento genético do algodoeiro no Brasil tiveram início em 1921, com a reativação do Serviço Federal do Algodão pelo Ministério da Agricultura. O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) liderou as pesquisas, seguido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em 1975. A pesquisa intensificou-se para atender às demandas do Cerrado a partir de 1993, envolvendo diversas instituições e empresas como a Fundação MT, Tropical Melhoramento Genético (TMG), Monsanto, Bayer Cropscience, Maeda DeltaPine Monsanto Algodão Ltda (MDM) e o Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt) (Freire, 2014; Vidal Neto; Freire, 2013; Freire *et al.*, 2015; Teles; Fuck, 2016; IMAmt, 2022).

Os programas de melhoramento visam desenvolver genótipos adaptados às condições do Cerrado, com alto teto produtivo e qualidade de fibra. A seleção de indivíduos superiores a partir de populações geneticamente heterogêneas, obtidas por meio de cruzamentos e busca atender às necessidades dos cotonicultores, empresas de beneficiamento e do complexo têxtil (Aguilar *et al.*, 2007). No contexto do Cerrado, a tolerância ao estresse hídrico é um fator crucial no desenvolvimento de novos genótipos de algodão (Zonta *et al.*, 2015).

2.2. Características fenotípicas do algodoeiro

Os estádios fenológicos do algodoeiro são distinguidos como vegetativo, florescimento e maturação que ocorrem de maneira simultânea e cíclica, evidenciando o surgimento dos botões florais em um padrão espiral. O tipo de reprodução do algodoeiro é classificado como intermediário, envolvendo autofecundação na ausência de agentes polinizadores e polinização cruzada na presença deles. As flores, hermafroditas, exibem coloração creme ou amarelada, que se torna violácea ao entrar em contato com a radiação solar (Penna, 1982; Lima *et al.*, 2014; Borém; Freire, 2014; Alves *et al.*, 2017).

Quanto à classificação botânica, o algodoeiro pertence à classe das dicotiledôneas, à ordem Malvales, à família Malvaceae e ao gênero *Gossypium*. Comercialmente, apenas quatro espécies são cultivadas, sendo a *G. hirsutum* responsável por mais de 90% da produção mundial (Zhang; Wang, 2008; Gadelha *et al.*, 2014). O fruto do algodão é do tipo indeiscente, abrindo quando maduro e gerando o algodão em caroço, composto pela pluma (fibra) e pelo caroço (semente envolta em fibras curtas, o línter) (Penna, 2005). As fibras longas e fiáveis são amplamente utilizadas pela indústria têxtil, além de ser determinante para o valor comercial do produto (Teles; Fuck, 2016).

Em linhas gerais, o algodoeiro é caracterizado como uma cultura semi-perene, com plantas eretas, porte arbustivo e crescimento indeterminado, apresentando um ciclo médio de 160 a 200 dias. A estrutura da planta consiste na haste principal, originando ramos reprodutivos (simpódios) e vegetativos (monopódios) (Penna, 1982; Borém; Freire, 2014).

O surgimento dos botões florais segue um padrão espiral, com o intervalo de emissão variando conforme as condições de cultivo e as características do genótipo (Borém; Freire, 2014; Alves *et al.*, 2017). As condições edafoclimáticas ideais para o desenvolvimento da cultura envolvem o índice pluviométrico médio de 700 mm durante o ciclo da cultura, bem distribuídos, com temperaturas médias entre 25 e 27°C, além de solos profundos e de boa drenagem (Luo *et al.*, 2013).

Atualmente, os genótipos disponíveis no mercado devem apresentar características morfológicas que se adapte às condições de cultivo e beneficiamento, assegurando elevada qualidade de fibra. Nesse contexto, os programas de melhoramento existentes no país têm como objetivo principal o desenvolvimento de genótipos com ciclo médio a precoce, alto rendimento de fibra, potencial produtivo e qualidade de fibras superiores, aliados à resistência e/ou tolerância aos principais estresses abióticos e bióticos (Khan *et al.*, 2018).

2.3. Estresses abióticos

Pode-se definir como estresse vegetal qualquer condição que impeça a planta de atingir seu potencial genético. O estado de estresse pode ser desencadeado por diversas variáveis, incluindo o ataque de pragas e fitopatógenos, denominado estresse biótico. Adicionalmente, condições como déficit hídrico, luminosidade elevada ou reduzida, salinidade, congelamento, temperaturas elevadas, escassez ou excesso de oxigênio (O_2), exposição à radiação ultravioleta (UV), entre outros fatores, são considerados estresses abióticos (Taiz *et al.*, 2017).

Tanto os estresses abióticos quanto os bióticos desencadeiam processos fisiológicos e bioquímicos de defesa para impedir os danos aos tecidos vegetais ocasionados pelas Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) (Mahajan; Tuleja, 2005; Didonet, 2009; Farooq *et al.*, 2009). As EROs, como peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ânion superóxido (O_2^-), radical hidroxila (OH^\cdot) e oxigênio (O_2), são moléculas que causam danos oxidativos aos lipídios, ao DNA e inibem enzimas por meio da oxidação de proteínas, podendo levar à morte celular em altas concentrações (Apel; Hirt, 2004; Miller *et al.*, 2010).

A exposição à altos níveis de radiação UV, ao déficit hídrico e à salinidade acarretam processos de estresse oxidativo, provocado pelas EROs, além de causar alterações morfológicas adaptativas para cada tipo de fator de estresse abiótico (Amorim *et al.*, 2011). O processo de estresse oxidativo desencadeia respostas fisiológicas, como alterações nas expressões gênicas, no metabolismo vegetal e provoca a redução no desenvolvimento e rendimento da cultura (Cavatte *et al.*, 2012).

A fim de neutralizar as EROs a planta ativa seu sistema de defesa, coordenados por genes capazes de regular a produção de enzimas antioxidantes, como catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD) e osmólitos, como a prolina e glicina betaína, além de alterar processos de abertura e fechamento estomático, induzir o crescimento radicular etc., a fim de neutralizar os danos aos tecidos vegetais (Bashir *et al.*, 2019).

As respostas adaptativas desencadeadas pelo déficit hídrico é a redução do acúmulo de biomassa, atividade fotossintética, absorção e distribuição de nutrientes, impactando na altura da planta, área foliar, número de nós, condutância estomática, entre outros (Parida *et al.*, 2007; IMAmt, 2014; Zhang *et al.*, 2017). Tais alterações são controladas pela ação da epigenética, que ativa genes relacionados a esse tipo de estresse, responsáveis por coordenar as alterações morfológicas e bioquímicas vegetais (Lu *et al.*, 2017).

A caracterização de tolerância ao estresse abiótico está associada à efetividade de reação enzimática e não enzimática na neutralização das EROs (Verslues *et al.*, 2006). Um dos

mecanismos para neutralização dos danos oxidativos é a produção de enzimas antioxidantes como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD), ascorbato peroxidase (APX) entre outras, que são ferramentas essenciais que conferem tolerância às plantas contra estresses abióticos (Simova-Stoilova *et al.*, 2008).

A SOD, por exemplo, transforma superóxidos de hidrogênio em peróxidos de hidrogênio, os quais são posteriormente peroxidados pela enzima APX (Venisse *et al.*, 2002; Lee; Lee, 2000). A CAT, no entanto, é sensível à fotoinativação e à degradação, podendo ser inativada em concentrações elevadas de peróxido de hidrogênio (Scandalios, 1993; Garcia-Limones *et al.*, 2002).

Segundo Adbelraheem *et al.* (2021), a tolerância ao déficit hídrico e salinidade na cultura do algodoeiro, está associada a quatro cromossomos em comum, correlacionados às características morfológicas, como altura da planta, matéria seca de parte aérea e radicular, e características bioquímicas, como a atividade enzimática. Isso ocorre devido aos fatores de estresse abiótico desencadearem respostas fisiológicas similares (Kusvuran *et al.*, 2016).

2.4.O uso de condicionamento de sementes na agricultura

Diversas estratégias de manejo que têm sido desenvolvidas na produção agrícola em favor de aumentar a qualidade das sementes e a robustez das culturas. Dentre estas, a utilização de técnicas de condicionamento de sementes se demonstra como estratégia eficiente para conferir tolerância aos fatores de estresse, bióticos e abióticos (Rifna *et al.*, 2019) Sua utilização demonstra ser uma abordagem eficiente e de baixo custo que promove uma redução do período germinativo e uniformização da germinação (Carvalho; Nakagawa, 2012).

Quanto a propriedade de conferir tolerância ao estresse abiótico, o condicionamento além de fortalecer a linha de defesa das plantas cultivadas controlam o nível de hidratação dentro da semente e permitem que processos metabólicos pré-germinativos (físico-químicos) prossiga (Rudnev, 2017; Orobinsky *et al.*, 2018).

Compreende-se como processos metabólicos pré-germinativos o período de embebição das sementes, ativação enzimática, liberação de inibidores, alterações hormonais, degradação das reservas energéticas, produção de adenosina trifosfato (ATP) e alterações na membrana celular que culmina no desenvolvimento da radícula e da plúmula (Taiz *et al.*, 2017).

O processo da germinação pode ser dividido em três etapas: I – as sementes secas (com aproximadamente 5-15% de umidade) reidratam rapidamente. Ao iniciar o processo de embebição ocorre a ativação de processos metabólicos internos, por inativar os inibidores enzimáticos. Por conseguinte, ocorre a ativação enzimática, como as amilases, que iniciam a

quebra das reservas, fornecendo energia, além de ocasionar alterações hormonais, como aumentar os níveis de giberelinas, que atuam na quebra da dormência das sementes e estimulam o crescimento vegetal, fazendo com que o embrião expanda, e a radícula emerja da casca da semente, completando a fase II. Na fase III é retomada a absorção de água, devido ao diferencial de potencial hídrico e nesta fase as reservas nutricionais das sementes são totalmente mobilizadas (Taiz *et al.*, 2017).

Segundo Sher *et al.* (2019), o condicionamento de sementes pode ser subdividido em duas categorias: 1. Convencional: que ocorre um processo de hidratação controlada (até a fase II da germinação), e após este processo é necessário realizar a secagem para reduzir a quantidade de água antes do armazenamento e estocagem. 2. Físico: em que se utiliza a ação de métodos não invasivos, sem a hidratação.

Os métodos convencionais consistem no controle da entrada de água ou solução de baixo potencial osmótico, ativando assim o metabolismo da germinação, no entanto, cessando a hidratação antes do evento da protrusão radical (fase III da germinação) (Sher *et al.* 2019). Nestas categorias as principais técnicas utilizadas são de hydropriming, halopriming, osmopriming, biopriming, nutripriming e reguladores de crescimento.

O hydropriming, também denominado hidrocondicionamento, é um método no qual as sementes são imersas em água por um período de exposição determinado, antes da germinação, com ou sem aeração. Após essa etapa, as sementes necessitam passar pelo processo de secagem, retornando próximo ao seu peso original (Sher *et al.* 2019). Esta técnica promove um aumento do vigor de lotes de sementes (Rifna *et al.*, 2019), elevando sua uniformidade na germinação, otimizando a produção de proteínas e melhorando o processo de solubilização de substâncias pela plântula (Rifna *et al.*, 2019; Pedrini *et al.*, 2020).

Já o halopriming é uma técnica que as sementes são imersas em soluções aeradas de sais inorgânicos (nitrato de potássio, cloreto de sódio, sulfato de cálcio e cloreto de cálcio) de concentração variável, que refletem principalmente na melhora da condição do estande, o crescimento das mudas e a produtividade de diversas espécies (Sher *et al.*, 2019).

No osmopriming, ou osmocondicionamento, as sementes são embebidas em solução aerada de açúcares, como manitol ou polietilenoglicol (PEG), seguida de secagem superficial e ressecagem até próximo ao peso original. Esta técnica é aplicada para otimizar o estabelecimento do talhão e o estabelecimento de plantas em condições ótimas e subótimas. Resultados demonstram que esta técnica aumenta o peso seco das plântulas, a estabilidade da membrana plasmática e ação na bomba de sódio e potássio (Sher *et al.*, 2019). Este método baseia-se na promoção do aumento energético em relação aos processos bioquímicos inerentes

as sementes em relação a germinação, mobilização de substâncias de reserva (Batista *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2016; Batista *et al.*, 2018; Antunes *et al.*, 2020; Carvalho *et al.*, 2020).

O biopriming é uma estratégia que combina processos fisiológicos, como a hidratação das sementes, com abordagens biológicas, incluindo a inoculação das sementes com organismos benéficos. Utilizado como um método alternativo com o objetivo de controlar patógenos presentes no solo e nas sementes. Em paralelo, o nutripriming envolve a imersão de sementes em soluções de micronutrientes, com objetivo melhorar a disponibilidade desses elementos para as plântulas, contribuindo para a biofortificação e reduzindo a deficiência nutricional. Além disso, o uso de reguladores de crescimento, como hormônios e rizobactérias promotoras de crescimento, durante o condicionamento de sementes demonstrou melhorar o estabelecimento, o crescimento e a produtividade (Sher *et al.*, 2019).

Os métodos físicos são caracterizados, principalmente, por promover quebra de dormência e aumentar a robustez das plântulas. Dentre eles pode-se citar a utilização de frequências de ultrassom, como agentes de quebra da resistência do tegumento e ativação de processos bioquímicos inerentes às sementes. Existem efeitos positivos do uso desta técnica para várias espécies de plantas (Rifna *et al.*, 2019).

O nanopriming é uma técnica que utiliza nanopartículas com tamanho inferior a 100 nm, de cálcio-fosfato, dióxido de silício, óxido de zinco, prata entre outros. A eficácia do nanopriming na promoção da germinação de sementes é atribuída ao tamanho dessas partículas, que facilita entrada sua através das membranas. O uso de nanopartículas à base de óxido de cobre otimiza o processo de embebição nas sementes. Além disso, compostos à base de óxidos de ferro favorecer a germinação de arroz (Sarkar *et al.*, 2021; Afzal *et al.*, 2021; Guhapor *et al.*, 2021).

A radiação UV é utilizada em condicionamento devido esta frequência luminosa entrar nos tecidos, mesmo com seu curto alcance de penetração, permitindo a potencialização energética de moléculas. A utilização do UV em sementes de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*) promove a ativação de componentes bioquímicos e realiza o controle de fitopatógenos presente nas superfícies (Hernandez-Aguilar *et al.*, 2021).

2.5. Uso e efeitos da radiação ultravioleta no condicionamento de sementes

A energia solar desempenha papel vital na manutenção da vida na Terra. Cerca de 8-9% da radiação solar é composta por radiação UV, pertencendo à região não-ionizante do espectro eletromagnético. A radiação UV é subdividida em UV-C (200-280 nm), UV-B (280-320 nm) e

UV-A (320-400 nm). Embora a fração seja relativamente pequena, sua alta energia as torna potencialmente danosas (Mackerness, 2000; Hollósy, 2002).

A exposição aos raios UV-B e UV-C pode resultar em danos significativos a diversas estruturas celulares, incluindo moléculas de DNA, proteínas, lipídios, membranas celulares, mecanismos fotossintéticos e cloroplastos. Esses danos são atribuídos à indução da produção das EROs (Mackerness, 2000; Kumar *et al.*, 2015; Fernández *et al.*, 2020).

No que diz respeito ao estresse oxidativo por UV, a resposta das plantas varia conforme a fluência, duração e/ou exposição previa à UV. Níveis baixos de radiação UV induzem alterações nas concentrações de antioxidantes, enquanto níveis elevados alteram a expressão de genes envolvidos na biossíntese de fenóis e na produção massiva de EROs (Müller-Xing *et al.*, 2014). Segundo Castronuoro *et al.* (2017) o teor de clorofila diminui à medida que aumenta o período de irradiação UV-C, além de alterar as dinâmicas de trocas gasosas a depender do genótipo e do tempo de exposição. Ademais, a exposição à irradiação UV-C de forma prolongada pode reduzir a matéria seca das plantas.

Devido desencadear respostas similares a outros fatores de estresse abiótico, a indução de baixos níveis de UV demonstra-se promissora na obtenção de plantas com maior robustez. Estudos com baixos níveis de radiação UV indicam respostas adaptativas precoces que conferem proteção contra fontes de estresse oxidativo (Müller-Xing *et al.*, 2014).

Além disso, a radiação UV-C pode causar uma ruptura no tegumento da semente (permitindo que as sementes absorvessem mais oxigênio e água e diminuindo a dormência) e aumenta a temperatura e a respiração das sementes (de Araújo *et al.*, 2019; Sharlaeva *et al.*, 2021). Segundo Sarghein *et al.* (2011), a radiação UV influencia o crescimento por meio de fitohormônios, fotodestruição ou reações enzimáticas, em que a luz UV causa impactos diferentes a depender das espécies e genótipos.

A luz UV-C apresenta efeito positivo em culturas como repolho, amendoim e feijão mungo (Brown *et al.*, 2001; Siddiqui *et al.*, 2011). Em comparação com o controle, sementes de feijão mungo tratados com UV apresentaram plantas com folhas com maior massa fresca e área foliar, com a respostas semelhantes observadas nas plantas de amendoim (Siddiqui *et al.*, 2011).

De acordo com Sharlaeva e Chirkova (2021) longos períodos de exposição ao UV-C tendem a reduzir a atividade da peroxidase, que ocorre devido ao aumento dos processos metabólicos que utilizam H₂O₂, bem como pela ativação dos mecanismos compensatórios que impedem a síntese de radicais livres, resultando na redução da síntese enzimática.

Ademais, o tratamento com exposição UV-C por 8 h aumentou o desenvolvimento da plúmula no milho e na beterraba sacarina, que foram 0,32 cm e 0,83 cm maiores em comparação às sementes controle, respectivamente (Sadeghianfar *et al.*, 2019).

Estudos em *Camelina sativa* cv. Calina, utilizando radiação UV-C em sementes, mostraram aumento significativo nos teores de osmólitos e atividade antioxidante, indicando potencial de sobrevivência sob estresse (Kumar *et al.*, 2015). Esses resultados são corroborados por estudos com irradiação UV-B, que observaram a geração de EROs dentro de membranas tilacoides (Hideg; Vass, 1996).

Tais efeitos podem ser associados à exposição aos raios UV que ativa o sistema de defesa das plantas, desempenhada por antioxidantes e osmólitos, que reduzem a concentração das EROs (Mackerness, 2000). A produção de antioxidantes, como POD, SOD e CAT, aumenta como parte do sistema de enzimas antioxidantes de defesa das plantas. Esse sistema também inclui as enzimas ascorbato peroxidase (APX), monodehidroascorbato (MDHAR), dehidroascorbato redutase (DHAR) e glutatona redutase (GR), que neutralizam as EROs, protegendo as células vegetais do estresse oxidativo (Alici; Arabaci, 2016).

Os osmólitos, aminoácidos orgânicos metabolizados pelas plantas, protegem contra estresses abióticos. Em situações de estresse, ocorre a indução gênica para a síntese de enzimas na rota biossintética da prolina e betaína aldeído desidrogenase, resultando no acúmulo de enzimas quaternárias, como a glicina betaína (GB). A GB atua como osmorregulador, sendo sintetizada nos cloroplastos pela oxidação irreversível da betaína aldeído com redução de NAD⁺ a NADP⁺ (Munôz-Clares; Valesco-Garcia, 2004).

A prolina livre atua como osmoprotetor e neutralizador de radicais livres. Sua presença está associada ao alívio da acidose citosólica em situações de estresse, contribuindo para a resistência e ajuste osmótico (Ashraf; Foolad 2007; Vicente *et al.*, 2016; Merwad *et al.*, 2018).

Sem e Puthur (2020) ao avaliar variedades de arroz sob estresse causado por polietilenoglicol e salinidade, observaram que genótipos tolerantes apresentaram respostas superiores às sensíveis, devido as tolerantes ao estresse hídrico apresentam melhor desempenho em condicionamento de sementes quando comparado às sensíveis (Faseela; Puthur, 2019).

**3. AVALIAÇÃO DE DIFERENTES NÍVEIS DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA-C
EM UM GENÓTIPO SENSÍVEL AO DÉFICIT HÍDRICO**

3.1.MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes (LASEM) da UFU, Campus Umuarama, entre o período de maio a junho de 2023. Foi realizado em delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando 20 parcelas.

Foi utilizado o genótipo BRS 286, desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), caracterizado como sensível ao déficit hídrico (de Macêdo *et al.*, 2019). O lote estava acondicionado em sacos de papel e foram armazenadas em câmara fria à 15°C, e apresentou germinação de 93% e vigor segundo teste de tetrazólio de 80%.

As sementes foram condicionadas com diferentes níveis de radiação UV-C, de 0,00; 2,87; 4,78; 5,74 e 11,48 kJ m⁻², que corresponde aos períodos de 0, 15, 25, 30 e 60 min de exposição, respectivamente, que são períodos e níveis de radiação semelhante ao utilizado por Hernandez-Aguilar *et al.* (2021) e Hassan *et al.* (2020).

O condicionamento das sementes foi realizado no Laboratório de Melhoramento de Plantas da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama (UFU). As sementes nuas que foram acondicionadas em placas de acrílico, totalizando 200 sementes por placa, a fim de obter uma distribuição uniforme, sem que houvesse a sobreposição de sementes (Figura 1).



Figura 1. Placas de acrílico contendo 200 sementes do genótipo BRS 286 para receber tratamento com radiação UV-C. Uberlândia, MG, 2024.

Após a contagem as sementes foram submetidas a radiação ultravioleta. O sistema foi composto por duas lâmpadas germicidas (OSRAM, PURITEC 9W G23) com pico espectral de emissão em 254 nm (UV-C), que corresponde a uma irradiância de 3,19 W m⁻² s⁻¹, como descrito

pelo fabricante, dispostas horizontalmente, com uma distância de 30 cm entre as lâmpadas à 28 cm de altura (Figura 2).

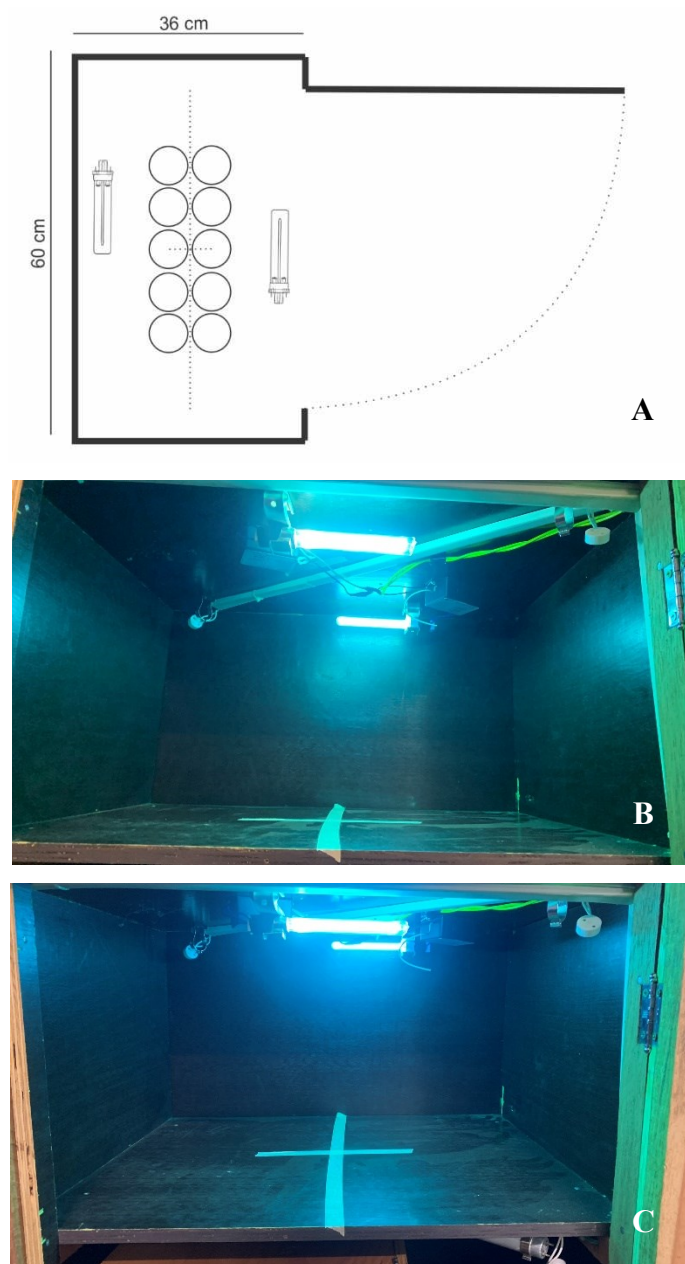


Figura 2. A – Corte superior da câmara desenvolvida para realizar o condicionamento utilizando radiação UV-C em sementes de algodoeiro. B e C – Vista frontal da câmara de radiação UV-C. Uberlândia, MG, 2024.

Durante o processo de condicionamento, as lâmpadas foram ligadas antecipadamente até que a temperatura da câmara ficasse constante. Em seguida, as placas de acrílico contendo as sementes foram adicionadas duas a duas, posicionadas no centro das duas lâmpadas, em intervalos de tempo decrescentes, iniciando com as sementes que receberam $11,48 \text{ kJ m}^{-2}$ (60

min) e encerrando com placas que receberam $2,87 \text{ kJ m}^{-2}$ (15 min). A testemunha, sem exposição à radiação UV-C, foi acondicionada em placas de acrílico e expostas à luz ambiente.

Teste de germinação

Para o teste de germinação foram realizados dois experimentos, e para o processo de condicionamento das sementes foi monitorada a temperatura do ar ($T_{\text{méd}}$) e a umidade relativa do ar (UR). Para o primeiro experimento foi observada uma $T_{\text{méd}}$ de $28,5 \pm 1,01^\circ\text{C}$ e UR de 63%. Para o segundo experimento foi observado $T_{\text{méd}}$ de $29,5 \pm 0,75^\circ\text{C}$ e UR de 64%.

Utilizou-se como substrato papel para germinação, conduzido em câmara de germinação, modelo Mangelsdorf, com temperatura constante de 25°C , com alternância entre luz e escuro de 16 e 8 horas, respectivamente. A leitura foi feita no 12º dia, de acordo com as Regras de Análise de Sementes (RAS) (Brasil, 2009). Foram avaliadas 400 sementes subdivididas em quatro blocos, totalizando 100 sementes por bloco.

A partir deste teste foram avaliados porcentagem de plântulas normais (PPN) e porcentagem de plântulas anormais (PPA) (Figura 3) e porcentagem de sementes não germinadas (GERM), como descritos na RAS (Brasil, 2009).

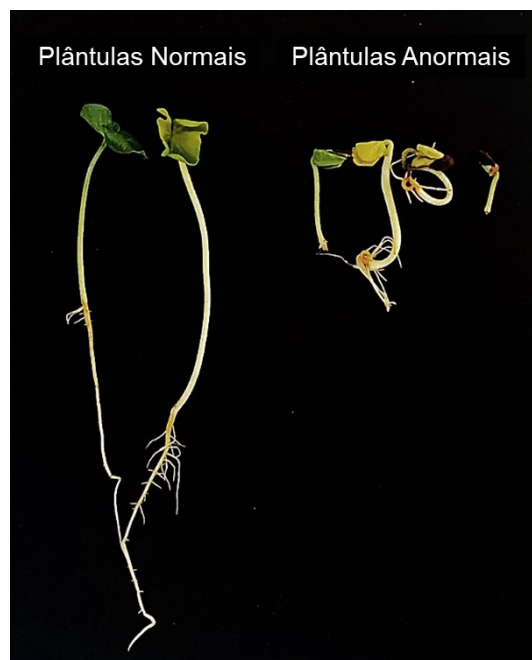


Figura 3. Padrão de plântulas normais e anormais utilizado como classificação durante a leitura do teste de germinação. Uberlândia, MG.

Comprimento de plântula: medição desde a base do hipocótilo até a extremidade da raiz primária (comprimento parte radicular – CPR) e medição desde a base do hipocótilo até o meristema apical (comprimento parte aérea – CPA), de dez plântulas por tratamento, segundo descrito por Nakagawa (1999). E matéria seca de cotilédones e plântula (em mg): as plântulas

normais tiveram seus cotilédones extraídos e tanto os cotilédones como a plântula (parte aérea e radicular) foram acondicionados em uma estufa a 60°C até obter o peso constante, após 72 horas, e posteriormente foram pesados utilizando uma balança de precisão, com quatro dígitos. Este teste foi repetido duas vezes, utilizando o mesmo lote de sementes e as mesmas condições de condução do experimento.

Teste de tetrazólio

Para o teste de tetrazólio utilizou-se a metodologia proposta por Cervi e Mendonça (2009) modificado, seguindo o delineamento em blocos ao acaso, utilizando o mesmo lote de sementes. Foram realizadas as seguintes etapas: embebição em água deionizada por 18 horas; remoção do tegumento e o pericarpo; imersão em solução de sal de tetrazólio (2,3,5 trifenil cloreto de tetrazólio) a 0,1% por quatro horas em estufa à 35°C. Cada parcela experimental foi composta por 50 sementes, totalizando 200 sementes por tratamento por bloco.

Foi estabelecido uma escala de notas para classificar o vigor das sementes, partindo da nota 1 a 4 (Figura 4). Foi atribuído a nota 1 – alto vigor (sementes sem danos e com todos os tecidos embrionários intactos); nota 2 – médio vigor (sementes com danos superficiais aos cotilédones, ou danos superficiais ao eixo embrionário ou ao cilindro); nota 3 – baixo vigor (sementes com danos severos aos cotilédones, ou ao eixo embrionário ou ao cilindro); nota 4 – inviáveis (sementes que apresentem algum componente embrionário morto, como cilindro, eixo embrionário ou cotilédones, que representa a inviabilidade das sementes).

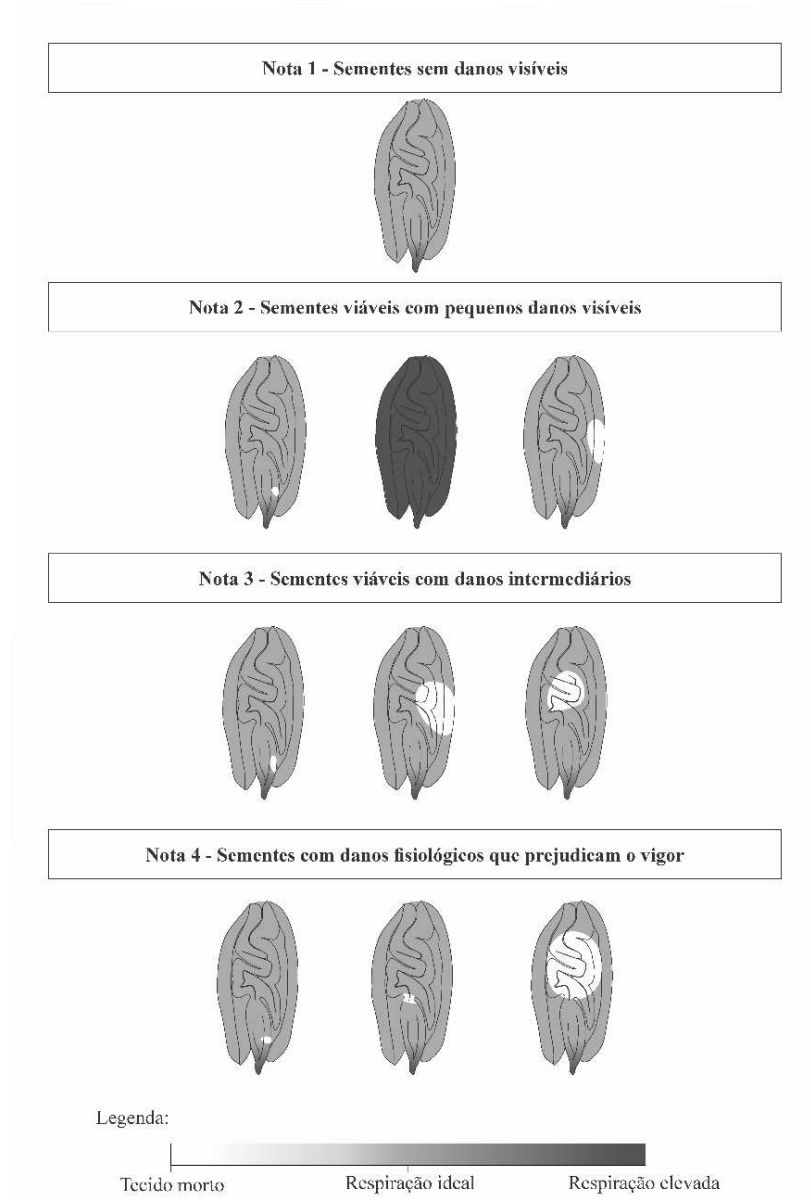


Figura 4. Escala de notas de 1 a 4 para o vigor de sementes de algodoeiro submetidas ao teste de tetrazólio. Uberlândia, MG.

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos as análises das pressuposições de normalidade dos resíduos, aditividade dos blocos e homogeneidade das variâncias, segundo o teste de Lilliefors-Kolmogorov-Smirnov, teste de Tukey e OneilMathews, respectivamente. Posteriormente, as variáveis foram submetidas ao teste de análise de variância (ANOVA) individual ($p \leq 0,05$).

Para o teste de germinação, que foi repetido duas vezes, realizou-se a ANOVA conjunta, a fim de avaliar se houve diferença no comportamento das sementes irradiadas com UV-C. A ANOVA conjunta foi realizada ao atender a pressuposição de homogeneidade dos resíduos para

esta análise e razão dos quadrados médios das análises individuais menor que 7. Para análise de variância conjunta utilizou-se a seguinte fórmula:

$$Y_{ijk} = m + b_j(k) + g_i + a_k + (g a)_{ik} + \epsilon_{ij}(k)$$

Em que:

i = tratamentos

j = blocos por experimento

k = experimentos

m = média

ϵ = erro

As variáveis significativas foram submetidas à análise de regressão ($p \leq 0,05$). Também foi realizado o teste de correlação de Pearson, que mensura a associação linear entre variáveis contínuas, e expressa sua relação. Para isso foi utilizado a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}}$$

em que:

x_i e y_i : valores medidos em ambas as variáveis.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Os valores variam de 1 a -1, que correspondem a correlações positivas e negativas respectivamente. O coeficiente de correlação expressa a força de associação linear entre as variáveis em questão. Os valores de ρ podem ser classificados como desprezível para valores menores que 0,3 (-0,3), fraca para o intervalo entre 0,3 e 0,5 (-0,3 e -0,5), moderada para o intervalo entre 0,5 e 0,7 (-0,5 e -0,7), forte para o intervalo entre 0,7 e 0,9 (-0,7 e -0,9) e muito forte para valores acima de 0,9 (-0,9) (Mukaka, 2012). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R (R CORE TEAM, 2020).

3.2.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar a análise conjunta, observou-se que não houve variação significativa ($p \leq 0,01$) entre os experimentos. Além disso, constatou-se que o vigor das sementes do genótipo BRS 286 foi influenciado pela radiação UV em ambos os experimentos, conforme revelado pela análise conjunta. A exposição à radiação UV-C apresentou efeito na matéria seca dos cotilédones (MSC) e na porcentagem de plantas normais e anormais (PPN e PPA). Para o

comprimento da parte aérea e radicular (CPA e CPR) das plântulas normais, porcentagem de germinação (GERM) e matéria seca das plântulas (MSP) não houve diferença significativa, ou seja, para as plântulas normais, a radiação UV-C não interferiu no seu desenvolvimento (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta para as variáveis do teste de germinação do genótipo BRS 286 sob a influência de diferentes níveis de radiação UV-C. Uberlândia, MG.

FV	GERM	PPN	PPA	CPA	CPR	MSC	MSP
Níveis (N)	40,9471 ^{ns}	948,7785 ^{**}	948,7785 ^{**}	0,5060 ^{ns}	2,4757 ^{ns}	13,7714 [*]	4,8835 ^{ns}
Experimento (E)	143,4173 ^{ns}	30,4316 ^{ns}	30,4316 ^{ns}	0,2709 ^{ns}	0,2202 ^{ns}	94,1897 ^{**}	301,8979 ^{**}
N x E	58,2555 ^{ns}	125,7768 ^{ns}	125,7768 ^{ns}	0,3098 ^{ns}	4,5512 ^{ns}	2,1099 ^{ns}	1,2222 ^{ns}
E x B	94,0241	179,0357	179,0357	0,8343	2,3414	3,4414	2,5166
Resíduo	51,0249	772,372	772,372	0,4647	71,963	4,5716	6,1587
CV (%)	7,65	12,58	29,14	8,16	23,67	9,67	11,52

^{**}, ^{*} e ^{ns}, significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, segundo teste F. CV – coeficiente de variação; E x B – experimento por bloco; N x E – níveis de UV por experimento; GERM – germinação; PPN – porcentagem de plantas normais; PPA – porcentagem de plantas anormais; CPA – comprimento de parte aérea; CPR – comprimento de parte radicular; MSC – matéria seca cotilédone; MSP – matéria seca plântula.

Resultados semelhantes foram observados por Sadeghianfar *et al.* (2019) em sementes de beterraba e milho que não apresentaram variação na porcentagem de germinação em função do nível de UV-C. Ademais, segundo Pournavab *et al.* (2019), a exposição das sementes ao UV-C afeta diferentes espécies vegetais, corroborando com os resultados observados neste estudo.

Teste de germinação

Ao avaliar a porcentagem de plântulas normais e anormais, observou-se a má formação e necrose do hipocótilo, associado ou não com a deformação radicular (Figura 5). Essas respostas são atribuídas à exposição a níveis elevados de radiação UV (Taiz *et al.*, 2017).



Figura 5. Plântulas do genótipo BRS 286 submetidas ao condicionamento de sementes com diferentes níveis de exposição à radiação ultravioleta C. Uberlândia, MG, 2024.

Nas condições deste experimento as plântulas caracterizadas como anormais apresentaram danos na parte aérea e radicular (Figura 5). Corroborando com resultados encontrados por Pournavab *et al.* (2019), que ao avaliar o efeito da radiação UV-C observou alterações em plântulas de soja (*Glycine max*) expostas à 43,1 kJ m⁻², manifestadas no hipocótilo, cotilédones e radícula, caracterizadas por necrose de tecidos danificados, hipocótilo retorcido e quebra ou divisão da radícula.

No entanto, o condicionamento de sementes com UV pode apresentar aumento no comprimento de parte aérea e radicular de acordo com o tempo de exposição ao UV (Sadeghianfar *et al.*, 2019). Isso ocorre pois em baixos níveis a radiação UV pode causar alterações no desenvolvimento de plântulas, como aumentar o comprimento e massa seca das partes aéreas e radiculares, a depender da espécie (Kacharava *et al.*, 2009; Hamid; Jawid, 2011; Shaukat *et al.*, 2013; Badridze *et al.*, 2016).

O genótipo BRS 286 apresentou uma média inicial de 82,582% e 17,592% de plântulas normais e anormais, respectivamente, e de acordo com o aumento dos níveis de radiação observou-se uma redução de porcentagem de plântulas normais em 6,18% na maior dosagem (11,48 kJ m⁻²) (Figura 6), seguindo um modelo linear. Isso ocorreu, pois o genótipo apresentou sensibilidade à exposição ao UV-C, o que reduziu o desenvolvimento da plântula, devido aos

danos causados à membrana celular e injúrias às células meristemáticas (Çavuşoğlu *et al.*, 2022).

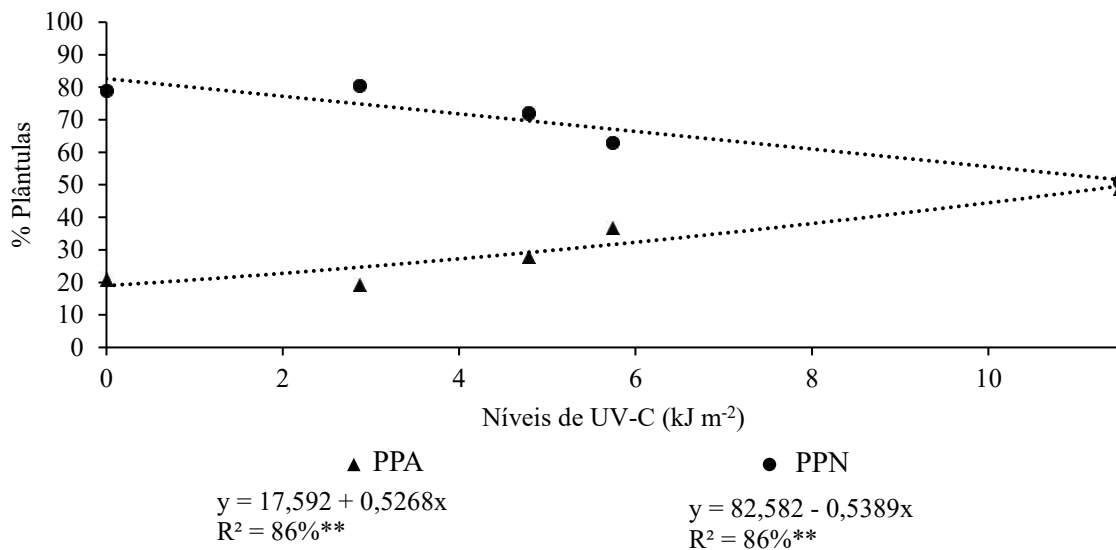


Figura 6. Regressão linear para percentual de plântulas normais e fracas provenientes do teste de germinação da genótipo BRS 286 submetida à diferentes níveis de exposição à luz UV-C. Uberlândia, MG, 2024.

Tais danos são decorrentes da absorção direta de fótons provenientes do UV pelo DNA, por mecanismos indiretos envolvidos na excitação de fotossensibilizadores e pela geração de EROs, que danificam as moléculas como os ácidos nucleicos, proteínas, lipídios, ácidos indol acéticos, flavoproteínas e fitocromos, e desencadeiam alterações fisiológicas. A tolerância a este tipo de dano pode ser caracterizada pela capacidade de reparo do DNA e pelos mecanismos de supressão da produção ou eliminação de EROs (Maharaj, 2015). Deste modo fica evidente que o genótipo BRS 286 apresenta sensibilidade à exposição ao UV, por apresentar redução do vigor.

Quanto à matéria seca dos cotilédones, houve um incremento que atingiu seu ponto máximo no nível de 7,61 kJ m⁻², após esse período as médias apresentaram redução, seguindo um modelo quadrático (Figura 7). Os cotilédones são tecidos de reserva das sementes composto por carboidratos, proteínas e lipídeos (Taiz *et al.*, 2017). Durante a segunda etapa do processo germinativo ocorre a mobilização das reservas como fonte de energia para o desenvolvimento estrutural da plântula (Corte *et al.*, 2006).

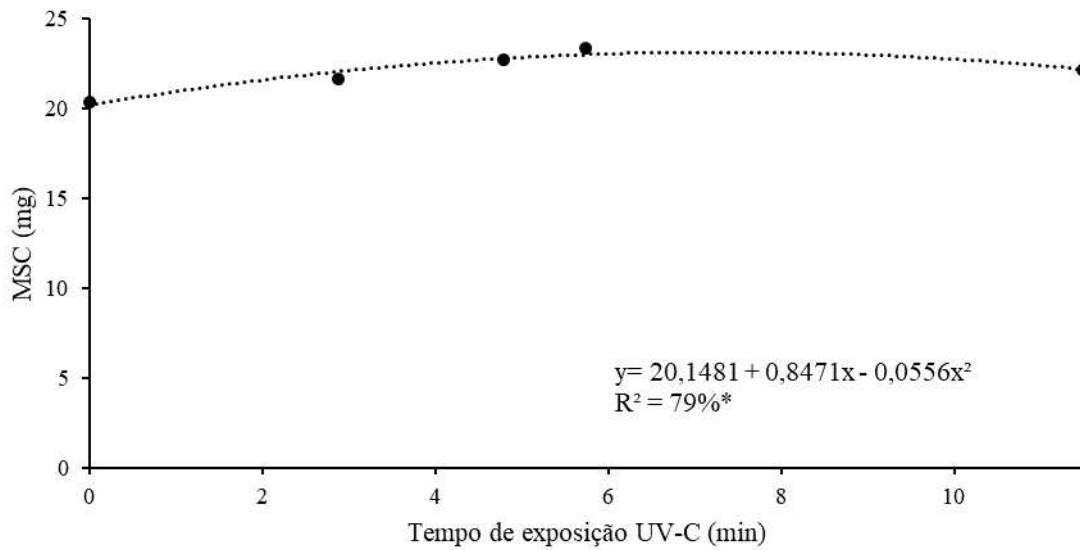


Figura 7. Regressão quadrática para matéria seca dos cotilédones (mg) (MSC) do genótipo BRS 286 submetidas à diferentes níveis de exposição à luz UV-C. Uberlândia, MG, 2024.

A quantidade de reservas presentes nos cotilédones pode ser correlacionada com o aumento no desenvolvimento da parte aérea e radicular das plântulas (Thomas; Costa, 1996; Corte *et al.*, 2006), o que demonstra que para as plântulas classificadas como normais apresentaram características benéficas quanto a mobilização de fontes energéticas nos cotilédones, o que por sua vez colabora para o desenvolvimento inicial da plântula. O decréscimo na MSC pode ser associado à ação de oxidação lipídica e proteicas promovida pelo UV-C (Ahmed, 2006).

Teste de tetrazólio

De acordo com o teste de tetrazólio, a exposição ao UV afeta a classificação em sementes viáveis e sementes não viáveis, ou seja, os níveis de UV-C utilizadas afetaram a qualidade fisiológicas das sementes testadas. As notas de 1, 2 e 3, classificadas como alto, médio e baixo vigor, respectivamente, foram agrupadas em sementes viáveis e a nota 4, sementes não viáveis (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para porcentagem de sementes classificada com notas I, II e III (Viáveis) e IV (Não viáveis), provenientes do teste de tetrazólio para sementes de algodoeiro submetido a diferentes níveis de exposição à radiação UV-C. Uberlândia, MG.

FV	GL	Viáveis	Não viáveis
UV	5	2220,8100**	2220,81**
Bloco	3	85,6800	85,6800
Resíduo	15	47,5100	47,5100
CV (%)		10,81	19,02

** significativo a 1% de probabilidade, segundo teste F.

No Brasil, o teste de tetrazólio é usado na rotina de diversos laboratórios de análises de sementes como um dos métodos de determinação da qualidade fisiológica (França-Neto; Krzyzanowki, 2018). A realização do teste de vigor, como de tetrazólio, está relacionada para caracterizar a perda da capacidade da semente em produzir uma plântula normal (França Neto *et al.*, 2001).

O teste de tetrazólio, utiliza uma solução à base de sal trifênil 2,3,5 cloreto de tetrazolol, que determina de forma indireta a atividade respiratória das células que compõem as sementes, fundamentada na atividade desidrogenase que são catabolizadas por reações respiratórias nas mitocôndrias, durante a glicólise, ciclo do ácido cítrico e/ou ciclo de Krebs (AOSA, 1983).

A partir da imersão das sementes na solução de tetrazólio, o sal reage com o ion H⁺ proveniente da resposta da respiração das células vivas formando um composto avermelhado, não difusível, chamado trifênilformazan, o que indica a atividade respiratória mitocondrial que, conseqüentemente, determina que o tecido é viável (vivo). Tecidos mortos (não viáveis) não reagem com a solução, observando-se uma coloração branca (Lemos, 2015).

Destaca-se que a coloração ideal para a realização da leitura deste teste é a vermelho carmim claro, que caracteriza tecidos vigorosos, enquanto a coloração vermelha intensa acusa elevada taxa respiratória, que corresponde tecido não viável ou de baixo vigor (Lemos, 2015).

Deste modo, os danos observados nas sementes foram principalmente morte do eixo embrionário e do meristema radicular, além do aumento na taxa de respiração das sementes de acordo com o nível de UV-C aplicada em condicionamento (Figura 8). A perda de viabilidade, ou vigor das sementes pode estar correlacionado ao aumento na taxa respiratória, que também está correlacionada com a lixiviação de solutos, indicando maior atividade metabólica (Dode *et al.*, 2013).

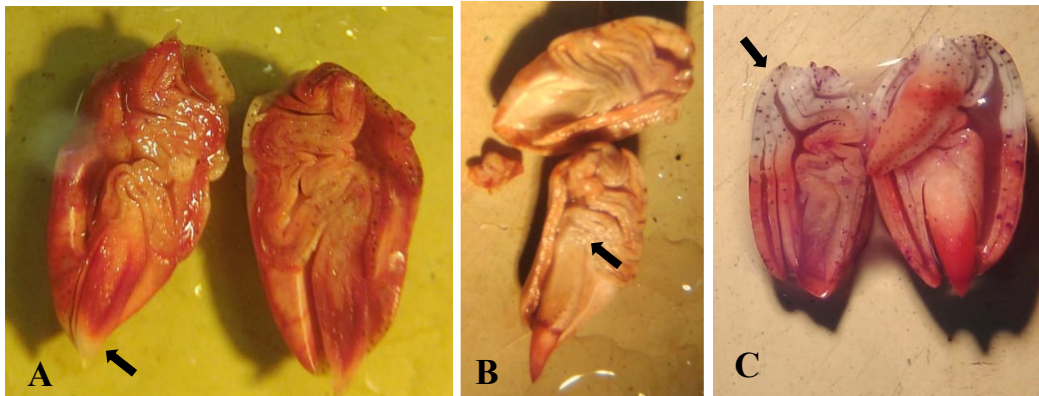


Figura 8. Sementes do genótipo BRS 286 classificadas como não viáveis segundo o teste de tetrazólio. A – Morte do meristema apical radicular associado a elevada taxa de respiração celular; B – Morte do eixo embrionário e lesão no meristema radicular; C – Morte dos tecido de reserva.

O comportamento das sementes viáveis e não viáveis de acordo com a dosagem de UV-C adequou-se a um modelo linear. De acordo com o aumento do nível de UV-C ocorre a redução da viabilidade das sementes em 4,6970% a cada 1 kJ m^{-2} (Figura 8). A avaliação de vigor com base no teste de tetrazólio corroborou com os resultados do teste de germinação.

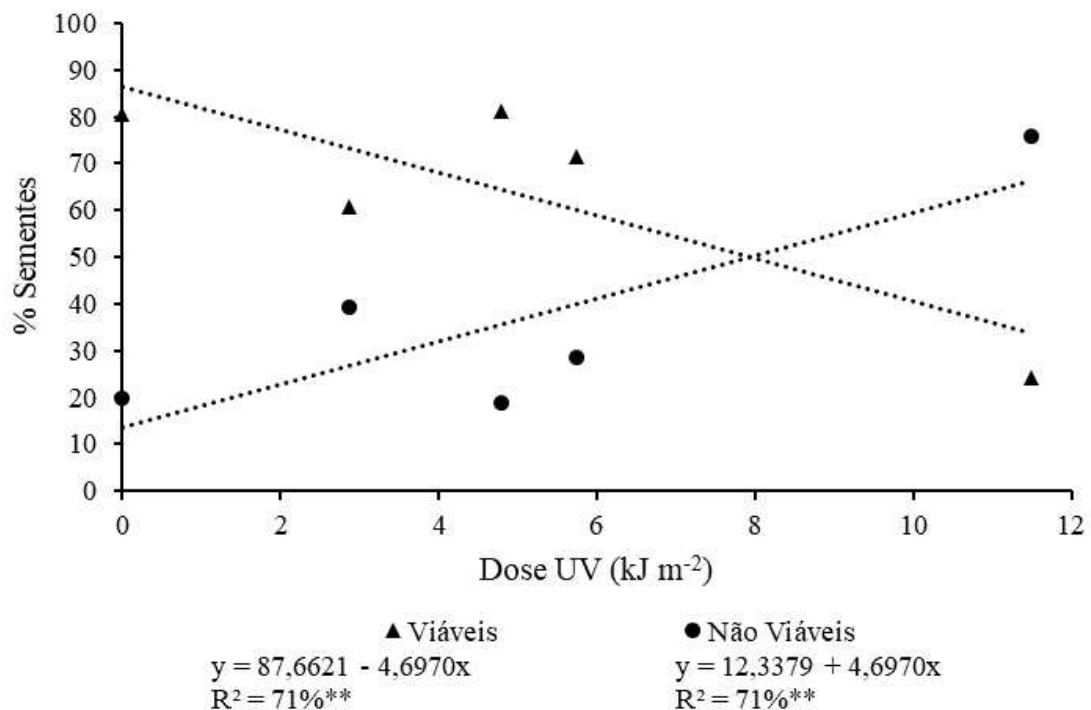


Figura 9. Regressão linear para porcentagem de sementes viáveis e não viáveis do genótipo BRS 286 submetido a diferentes níveis de UV-C. Uberlândia, MG, 2024.

O acúmulo das EROs desencadeia a peroxidação lipídica dos tecidos, acarreta a lixiviação de solutos e, em graus elevados, pode levar ao colapso celular e, conseqüentemente, a perda de viabilidade das sementes (Krzyzanowski *et al.*, 2022). No entanto, para algumas espécies a subdosagem de radiação UV-C promove o aumento na germinação, no vigor, no acúmulo de matéria seca e promove a tolerância à outros fatores de estresse abiótico, como a salinidade e a seca (Hamid; Jawai, 2011; Ouhibi *et al.*, 2014; Guajardo-Flores *et al.*, 2014). Já para o genótipo BRS 286 a exposição ao UV-C provocou decréscimo quanto ao vigor, corroborando com os resultados observados no teste de germinação.

De acordo com a análise de correlação pode-se confirmar o efeito da exposição ao UV-C quanto ao vigor das sementes do genótipo BRS 286, por demonstrar forte efeito negativo. Observou-se uma correlação forte positiva (0,75) entre a porcentagem de plântulas normais e a porcentagem de sementes viáveis, o mesmo comportamento é observado com a porcentagem de plântulas anormais e sementes não viáveis, no entanto, a correlação apresentada foi moderada (0,69) (Tabela 3).

Tabela 3. Matriz de correlação de Pearson para variáveis germinação (Germ), plântulas normais (FO), plântulas fracas (FA), comprimento parte aérea (PA), comprimento parte radicular (PR), matéria seca dos cotilédones (MSC), matéria seca da plântula (MSP), sementes viáveis (Viáveis) e sementes não viáveis (Não viáveis) do genótipo BRS 286 sob a influência de diferentes níveis de UV-C (UV). Uberlândia, MG.

	Germ	FA	FO	PA	PR	MSC	MSP	Viáveis	Não viáveis
UV	-0,56*	0,81**	-0,82**	-0,40 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	0,33 ^{ns}	-0,47*	-0,81**	0,81**
Germ		-0,45 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,57*	-0,57*
FA			-0,92**	-0,46*	-0,36 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,55*	-0,68**	0,68**
FO				0,48*	0,50*	-0,19 ^{ns}	0,64**	0,75**	-0,75**
PA					0,22 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,53*	0,42 ^{ns}	-0,42 ^{ns}
PR						-0,25 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,40 ^{ns}	-0,40 ^{ns}
MSC							0,19 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,09 ^{ns}
MSP								0,57*	-0,57*
Viáveis									-1,00**

** *: Significativo a 0,01 e 0,05 pelo teste t.

Resultados semelhantes foram encontrados por dos Santos *et al.* (1992) ao observar a correlação entre os testes de germinação e tetrazólio. Os resultados obtidos demonstraram que o teste de tetrazólio é uma alternativa para complementar o teste de germinação, principalmente quando há a influência de agentes externos.

Isto ocorre pois o teste de tetrazólio permite avaliar a qualidade fisiológica das sementes, por meio dos índices de viabilidade e de vigor. A partir da análise realizada é possível diagnosticar danos mecânicos, danos causados por insetos, danos em pré-colheita e a deterioração durante a armazenagem (França Neto; Krzyzanowski, 2019).

As características morfológicas das plântulas normais não foram afetadas e não apresentaram correlação significativa com os níveis de UV. Somente a MSP apresentou correlação fraca com os níveis de UV-C, e moderada para a porcentagem de sementes viáveis (0,57), porcentagem de plântulas normais (0,64) e porcentagem de plântulas anormais (-0,55), ou seja, o tamanho e o local da lesão afetam o vigor das sementes e conseqüentemente a deposição de matéria seca na plântula (Tabela 3).

A correlação entre o comprimento da parte aérea e a matéria seca das plântulas foi fraca positiva (0,53) (Tabela 3), demonstrando que há uma interação entre essas duas características, no entanto, a matéria seca é caracterizada pela deposição de moléculas de reserva energética, ou seja, carboidratos, proteínas e lipídios, e não necessariamente estes fatores podem estar correlacionados ao comprimento de estruturas vegetais (Taiz *et al.*, 2017).

3.3.CONCLUSÕES

Os níveis de radiação não influenciaram a germinação do genótipo BRS 286. No entanto, a porcentagem de plântulas normais foi reduzida de acordo com os níveis de UV-C.

A radiação UV-C demonstrou um efeito benéfico na matéria seca dos cotilédones, resultando em um aumento da massa dos tecidos de reserva observado até uma dose de 7,61 kJ m⁻².

Os principais efeitos observados com o aumento da exposição ao UV-C foram danos ao hipocótilo e deformação radicular.

Os resultados do teste de tetrazólio indicaram que o vigor das sementes foi afetado, com redução do número de sementes viáveis conforme o aumento da exposição à radiação UV-C.

**4. SEMENTES DE ALGODOEIRO COM DIFERENTES NÍVEIS DE
TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO SUBMETIDA À RADIAÇÃO UV-C**

4.1. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste experimento foram utilizados os genótipos BRS 286 e DP 555 BGRR, desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Deltapine, respectivamente. O genótipo BRS 286 é caracterizado como sensível ao déficit hídrico (de Macêdo *et al.*, 2019), enquanto o DP 555 BGRR é caracterizado como tolerante ao déficit hídrico, mantendo sua produtividade com 60% da disponibilidade hídrica (Soler; Hoogengoom, 2007). Os genótipos foram acondicionados em sacos de papel e armazenados em câmara fria à 15°C. O genótipo BRS 286 apresenta 93% de germinação e 80% de vigor, segundo teste de tetrazólio, enquanto o genótipo DP 555 BGRR apresenta 98% de germinação e 60% de vigor, segundo o teste de tetrazólio.

Antes de prosseguir com a pesquisa, foi realizado um pré-teste utilizando o genótipo DP 555 BGRR, no qual foi exposto a uma radiação UV-C de 11,18 kJ m⁻². Os resultados desse teste inicial não indicaram alterações significativas no vigor das plântulas. Para explorar possíveis efeitos adicionais, decidiu-se aumentar a exposição para 17,23 kJ m⁻², equivalente a 90 minutos de radiação. Os níveis inferiores de radiação de 2,87 kJ m⁻² (15 minutos) e 4,78 kJ m⁻² (25 minutos) foram excluídos da análise, uma vez que produziram resultados estatisticamente semelhantes ao nível de 5,74 kJ m⁻² (30 minutos).

Dessa forma, o experimento foi realizado em um esquema fatorial 2x4, com dois genótipos (BRS 286 e DP 555 BGRR) e quatro níveis de radiação UV (0,00; 5,74; 11,48 e 17,23 kJ m⁻²), correspondentes aos períodos de exposição de 0, 30, 60 e 90 minutos. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições, totalizando 32 parcelas.

Durante o processo de irradiação dos genótipos, cada um foi exposto individualmente. Durante a exposição do genótipo BRS 286 ao UV-C, a temperatura média foi de 30,8±0,7°C, com umidade relativa do ar registrada em 64%. Para o genótipo DP 555 BGRR, a temperatura média foi de 29,9±0,8°C, com UR de 64%, ambas medidas com um termo-higrômetro digital. A testemunha, não exposta à radiação UV-C, foi mantida em placas de acrílico e exposta à luz ambiente. Os procedimentos para os testes de germinação e tetrazólio seguiram os mesmos descritos no capítulo anterior.

Análises bioquímicas

Foram amostradas cinco amostras de plântulas normais e cinco anormais, totalizando 10 plântulas por tratamento. As plântulas foram maceradas em nitrogênio líquido para paralisar o metabolismo vegetal, e posteriormente foram acondicionadas em um freezer.

O extrato vegetal utilizado para realizar as análises foi preparado com 0,1g de macerado das plântulas diluído em proporção 1:10 de solução tampão, homogeneizados duas vezes com Tuvax durante um minuto na velocidade 1. Posteriormente a homogeneização foi realizada a centrifugação das amostras a 800 giros durante 10 minutos à 4°C, coletando o sobrenadante para utilizar como amostra de trabalho.

Proteína Total (PT, em $\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$): A determinação da concentração de proteína total foi realizada pelo método de Bradford (Bradford, 1976). As amostras foram incubadas com o reagente de Bradford em microplaca durante 10 minutos à temperatura ambiente e a leitura espectrofotométrica foi feita em 595 nm.

Peróxido de Hidrogênio (PH, em ml L^{-1}): A dosagem de d-ROM (Derivatives of Reactive Oxygen Metabolites) foi realizada de acordo com Kosaruk *et al.* (2023), com modificações. Foi adicionado em microplaca de 96 poços 25 μL das amostras diluídas 5 vezes em tampão acetato de sódio (0,1 M, pH 4,8) juntamente com 140 μL do mesmo tampão usado para diluir as amostras. Posteriormente, 100 μL do mix de reação (DEPPD 500 $\mu\text{g/mL}$ e sulfato ferroso 27.31 mM, 1:5 v/v) foi adicionado e a absorbância foi imediatamente obtida a 492 nm (EnSpire, PerkinElmer, EUA). Uma curva padrão de H_2O_2 (peróxido de hidrogênio) foi construída e os resultados foram expressos em unidades de H_2O_2 .

Manoldialdeído (MDA, em nm mg^{-1}): As amostras foram incubadas com solução contendo ácido tricloroacético (TCA) 10% e ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,67% por um período de 2 horas em banho-maria regulado a 100 °C. Após o período de incubação, foram introduzidos 400 μL de butanol para facilitar a extração do malondialdeído (MDA), subproduto da peroxidação lipídica. Posteriormente, a mistura foi centrifugada a 3.000 \times g por 10 minutos e a fluorescência foi quantificada em 532 nm utilizando um espectrofotômetro EnSpire (PerkinElmer, EUA). Os resultados foram quantificados em termos de nanomoles de malondialdeído por miligrama de proteína.

Capacidade de redução do ferro (CRF, em umol mg prot^{-1}): A capacidade antioxidante total foi avaliada através da metodologia de CRF. Esta se baseia na capacidade de redução do Fe^{+3} a Fe^{+2} , o qual é quelado pelo TPTZ (2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina) para formar o complexo Fe^{+2} -TPTZ, de coloração azul intensa (Benzie e Strain, 1999). Foram adicionados 10 μl de amostra ao meio de reação contendo tampão acetato de sódio 300 mM pH 3.6, TPTZ 10 mM em HCl 40 mM e cloreto férrico 20 mM (10:1:1, respectivamente). As amostras foram

incubadas por 6 min à 37°C e a absorbância foi lida a 593 nm. A capacidade antioxidante foi calculada a partir da curva padrão de trolox.

Glutationa reduzida (GSH, em nmol mg prot⁻¹): Os conteúdos proteicos das amostras foram precipitados inicialmente pelo ácido metafosfórico (MPA) na proporção 1:1 (homogeneizado / MPA). As amostras foram centrifugadas a 7000xg durante 10 minutos e o sobrenadante foi utilizado para as medições. Uma curva padrão de GSH (0,001-0,1 mM) foi feita para quantificar as amostras utilizando valores de regressão. O GSH reage com o ortoftalaldeído (OPT 1 mg ml⁻¹ de metanol) diluído em fosfato de sódio monobásico, tampão (0,1 M) e EDTA (0,005 M). A leitura foi feita em fluorômetro com excitação de 350 nm e emissão de 420 nm.

Análises estatísticas

As variáveis foram submetidas ao teste de análise de variância (ANOVA) ($p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$). Previamente foram realizadas as análises das pressuposições de normalidade dos resíduos, aditividade dos blocos e homogeneidade das variâncias, segundo o teste de Lilliefors-Kolmogorov-Smirnov, teste de Tukey e OneilMathews, respectivamente.

Foram estimados os parâmetros genéticos tais como variabilidade genética (σ^2_g) e ambiental (σ^2_e) e o coeficiente de determinação genotípico (h^2) da seguinte forma:

$$\sigma^2_g = \frac{(QMg - QMr)}{b}$$

$$\sigma^2_e = \frac{QMr}{b}$$

$$h^2 = \frac{\sigma^2_g}{\sigma^2_g + \sigma^2_e} \times 100$$

Em que:

σ^2_g : Variabilidade genética

σ^2_e : Variabilidade ambiental

b: número de blocos

h^2 : coeficiente de determinação genotípica

Também foi estimada a acurácia, razão de variâncias para os efeitos dos genótipos, associada à análise de variância, conforme demonstrado a seguir:

$$\hat{r}_{gg} = \left[1 - \frac{1}{1 + bCVr^2} \right]^{\frac{1}{2}}: \text{Acurácia}$$

Em que:

CVr: coeficiente de variação relativa

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R (R CORE TEAM, 2020).

4.2.RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento dos genótipos demonstrou variação em relação à radiação ultravioleta (UV-C), ou seja, observou-se interação entre os genótipos e os níveis de UV para a porcentagem de plântulas normais (PPN) e porcentagem de sementes viáveis (SV). Já o teor de proteína total (PT), glutatona reduzida (GSH), peróxido de hidrogênio (PH), manodialdeído (MDA), capacidade de redução do ferro (CRF), o comprimento da parte radicular (CPR) e a matéria seca da plântula (MSP) apresentaram resultados significativos apenas para os genótipos, enquanto as variáveis comprimento da parte aérea (CPA) e matéria seca dos cotilédones (MSC) não evidenciaram diferenças significativas (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo análise de variância para características fisiológicas dos genótipos BRS 286 e DP 555 BGRR sob a influência de níveis de UV-C. Uberlândia, MG, 2024.

FV	Bloco	Genótipo	UV	G x UV	Resíduo	CV (%)	Média	σ^2_g	σ^2_e	h ² (%)	Acurácia
PPN	659,14	3515,97**	93,75 ^{ns}	525,59*	141,35	15,59	76,24	843,66	35,3	95,97	0,99
CPA	0,92	0,14 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,32	22,98	8,62	0,05	0,10	38,46	0,81
CPR	31,73	217,50**	31,47 ^{ns}	12,07 ^{ns}	14,05	31,83	11,76	50,86	3,5	93,54	0,99
MSC	5,62	3,71 ^{ns}	3,51 ^{ns}	1,51 ^{ns}	4,45	10,16	20,77	0,19	1,10	14,57	0,64
MSP	3,61	122,85**	3,56 ^{ns}	7,27 ^{ns}	7,27	11,6	23,08	28,90	1,8	94,08	0,99
SV	30,27	3856,80**	1549,70**	2825,63**	61,98	13,04	60,38	948,70	15,50	98,39	0,99
PT	29,13	42,84**	4,64 ^{ns}	5,78 ^{ns}	4,49	20,24	10,47	9,59	1,12	89,51	0,95
GSH	4,32	42,15**	2,35 ^{ns}	1,81 ^{ns}	1,34	13,49	8,58	10,20	0,33	81,39	0,98
PH	0,23	0,53**	0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,04	19,77	1,075	0,12	0,01	92,45	0,96
MDA	12,19	75,64**	4,65 ^{ns}	4,33 ^{ns}	3,81	14,63	13,35	17,96	0,95	94,92	0,97
CRF	2,01	0,99**	0,91 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,94	9,48	3,21	0,23	0,48	92,92	0,56

**,* e ^{ns} significativo a 1, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, segundo o teste F. PPN – Porcentagem de plântulas normais; CPA – comprimento da parte aérea; CPR – Comprimento da parte radicular; MSC – Matéria seca dos cotilédones; MSP – Matéria seca das plântulas; SV – Porcentagem de sementes viáveis; PT – Proteína total; GSH – Glutatona reduzida; PH – Peróxido de hidrogênio; MDA – Manodialdeído; CRF – Capacidade de redução de ferro; CV – Coeficiente de variação; σ^2_g : Variância genética; σ^2_e – Variância ambiental; h² - Herdabilidade. Os dados de CPA, PT, GSH, PH, MDA e CRF foram transformados utilizando \sqrt{x} .

O efeito da radiação UV-C apresenta-se variável de acordo com o genótipo, manifestando distintos níveis de tolerância ao influenciar o desenvolvimento e o vigor das plântulas (Semenov *et al.*, 2020; Stefanello *et al.*, 2023). Entre os efeitos predominantes, destacam-se a redução no crescimento da plântula, na matéria fresca e seca, resultando em danos similares ou até mais severos do que os causados pelo déficit hídrico (Alexieva *et al.*, 2001; Tian; Lei, 2007).

Destaca-se que houve uma variação de 0,56 a 0,99 nos valores de acurácia obtidos neste experimento. As variáveis MSC e CRF apresentaram os menores valores de acurácia, 0,64 e 0,56, respectivamente, as demais variáveis obtiveram valores altos a muito altos de acurácia. A avaliação da acurácia possibilita uma análise mais precisa da qualidade experimental na avaliação de genótipos, ao complementar simultaneamente o coeficiente de variação experimental, o número de repetições e o coeficiente de variação genético. Assim, busca-se atingir valores próximos a 100%, classificando-se como muito alta a partir de 90%, alta entre 70 e 90%, moderada entre 50 e 70%, e baixa quando inferior a 50% (Resende; Duarte, 2007).

As variáveis com maiores coeficientes de determinação genotípica (h^2) também exibiram maior acurácia. As variáveis PF, CPR, MSP, SV, PH e MDA apresentaram acurácia acima de 0,90, juntamente com valores superiores a 90% para h^2 , corroborando os resultados de Miranda (2019) ao analisar os parâmetros genéticos de diversos genótipos de algodoeiro.

Os h^2 para PF, CPR, MSC, SV, PH e MDA foram de 95,97; 93,54; 94,08; 98,39; 92,45 e 94,92, respectivamente (Tabela 4). Esses valores indicam que a variação dessas características possui origem genética, sendo que h^2 acima de 70% é considerado alto. Contudo, vale ressaltar que esses valores podem variar de acordo com a espécie e a característica avaliada (Bonifácio *et al.*, 2015).

Teste de Germinação

Observou-se diferenciação entre os genótipos para a porcentagem de plântulas normais (PPN) nos níveis de 11,484 e 17,226 kJ m⁻² de UV-C. No que se refere à variável de porcentagem de sementes viáveis (SV), o genótipo DP 555 BGRR variou em relação ao BRS 286 nos níveis de 0,00; 11,484 e 17,226 kJ m⁻². As médias da testemunha indicaram que o genótipo BRS 286 foi superior ao DP 555 BGRR. Entretanto, esse padrão de comportamento se inverteu conforme a exposição ao UV-C, onde o DP 555 BGRR passou a apresentar maior viabilidade das sementes a partir do nível de 11,484 kJ m⁻². Apenas no nível de 5,742 kJ m⁻², as médias de viabilidade das sementes foram iguais entre os genótipos (Tabela 5).

Tabela 5. Porcentagem de plântulas normais (PPN), porcentagem de sementes viáveis (SV) e comprimento da parte radicular (CPR) de dois genótipos de algodoeiro submetidos à diferentes níveis de UV-C. Uberlândia, MG.

UV (kJ m ⁻²)	PPN		SV		CPR	
	BRS 286	DP 555	BRS 286	DP555	BRS 286	DP 555
0,00	75,71a	77,43a	80,34a	54,84b	10,19	13,02
5,742	74,11a	85,33a	71,58a	81,21a	11,67	12,78
11,484	67,16b	81,89a	24,09b	71,07a	10,24	11,68
17,226	61,14b	88,65a	21,59b	78,31a	11,67	12,92
					10,94b	12,58a

Letras minúsculas comparam médias das variáveis na linha, segundo teste Tukey.

Também foi possível distinguir os genótipos com base no CPR das plântulas, sendo que o genótipo DP 555 BGRR apresentou médias 14,99% superiores em comparação ao genótipo BRS 286 (Tabela 5). O desenvolvimento radicular está intimamente relacionado à tolerância ao déficit hídrico, considerando que o maior volume de raízes propicia maiores taxas de sobrevivência em condições de escassez hídrica (Sharp *et al.*, 2004; Padilla; Pugnaire, 2007).

Este comportamento também é evidente na cultura do algodoeiro. O aumento do desenvolvimento radicular na fase de plântula confere maior robustez, podendo ser uma estratégia no melhoramento genético para o desenvolvimento de genótipos tolerantes, permitindo a recuperação do estresse hídrico (Basal *et al.*, 2003).

Conforme apontado por Rodrigues *et al.* (2016), o genótipo BRS 286 apresenta características morfológicas que conferem tolerância ao déficit hídrico. No entanto, tanto Zonta *et al.* (2015) quanto Macêdo *et al.* (2019) ao avaliar o genótipo BRS 286 observaram que seu desempenho ótimo ocorre em ambientes irrigados, devido ao genótipo demonstrar variabilidade na produtividade em resposta ao potencial hídrico, apresentando maior produtividade em 130% da capacidade de campo. No entanto, nota-se uma redução proporcional na produtividade à medida que ocorre uma diminuição na capacidade de campo (Macêdo *et al.*, 2019). Por outro lado, o genótipo DP 555 BGRR mantém sua produtividade, mesmo diante a 60 % da capacidade de campo (Soler; Hoogenboom, 2007).

Essa variação pode ser explicada pelo desequilíbrio entre o dano causado pela exposição e a eficiência na reparação das funções fisiológicas, responsáveis por neutralizar os danos oxidativos. Tal comportamento é geneticamente determinado, entretanto apresenta influência de fatores ambientais, como a presença de outros estresses simultâneos e as condições do estágio fisiológico da cultura (Fedina *et al.*, 2010).

Diversos mecanismos estão envolvidos na conferência de tolerância ao déficit hídrico e a outros estresses abióticos, incluindo a regulação hormonal, que está associada a alterações morfológicas e fisiológicas das plantas, como o aumento do alongamento radicular, a produção de enzimas antioxidantes, a regulação osmótica, entre outros. A ação das enzimas antioxidantes é um mecanismo que atua em todos os tipos de estresses abióticos, prevenindo danos severos às estruturas celulares e aos tecidos (Lanna *et al.*, 2021).

Assim, a presença de danos nas estruturas das plantas pode ser utilizada como parâmetro de avaliação. Observou-se que as plântulas classificadas como anormais apresentaram hipocótilo retorcido ($5,742 \text{ kJ m}^{-2}$) e atrofia ou má formação da radícula ($11,484$ e $17,226 \text{ kJ m}^{-2}$) (Figura 10). Esses são efeitos que foram destacados por Taiz *et al.* (2017) como respostas fenotípicas aos danos oxidativos causados pela radiação UV.

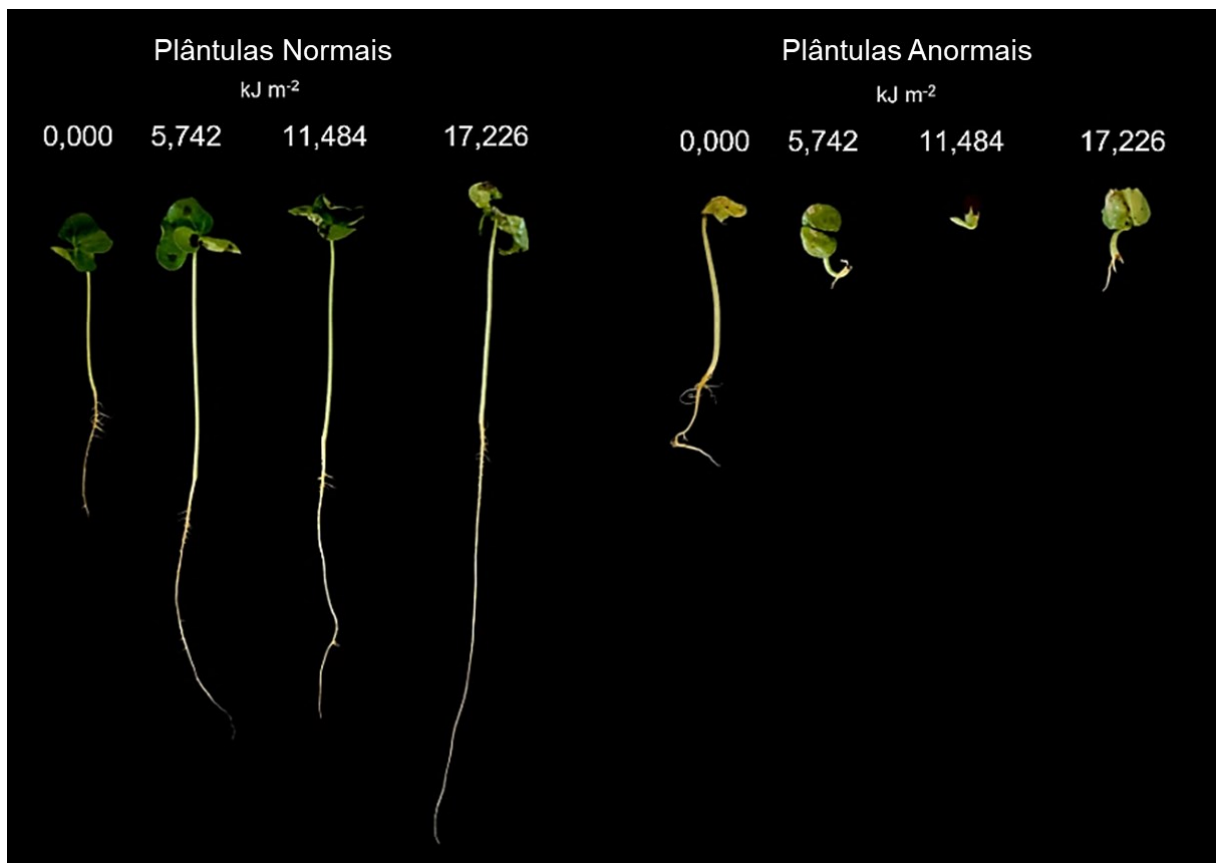


Figura 10. Plântulas do genótipo BRS 286 que foram classificadas como normais e anormais após radiação com diferentes níveis de radiação UV-C. Uberlândia, MG, 2024.

Embora não tenha comprometido a germinação, o estresse causado pela exposição ao UV-C reduziu o vigor das plântulas do genótipo BRS 286. Isso ocorre porque a radiação

interfere no desenvolvimento das plântulas, afetando a abertura dos cotilédones, por suprimir os níveis endógenos do ácido giberélico (Kumar *et al.*, 2016).

O comportamento das plântulas anormais do genótipo DP 555 BGRR foi equivalente ao observado no BRS 286 (Figura 11). No entanto, a exposição ao UV-C não interferiu na porcentagem de plântulas normais desse genótipo, evidenciando sua notável tolerância ao UV-C. O efeito diferencial nos genótipos ocorre devido à suscetibilidade dos tecidos vegetais ao UV, que varia de acordo com o genótipo utilizado e as características morfológicas da semente (Thomas; Puthut, 2017).

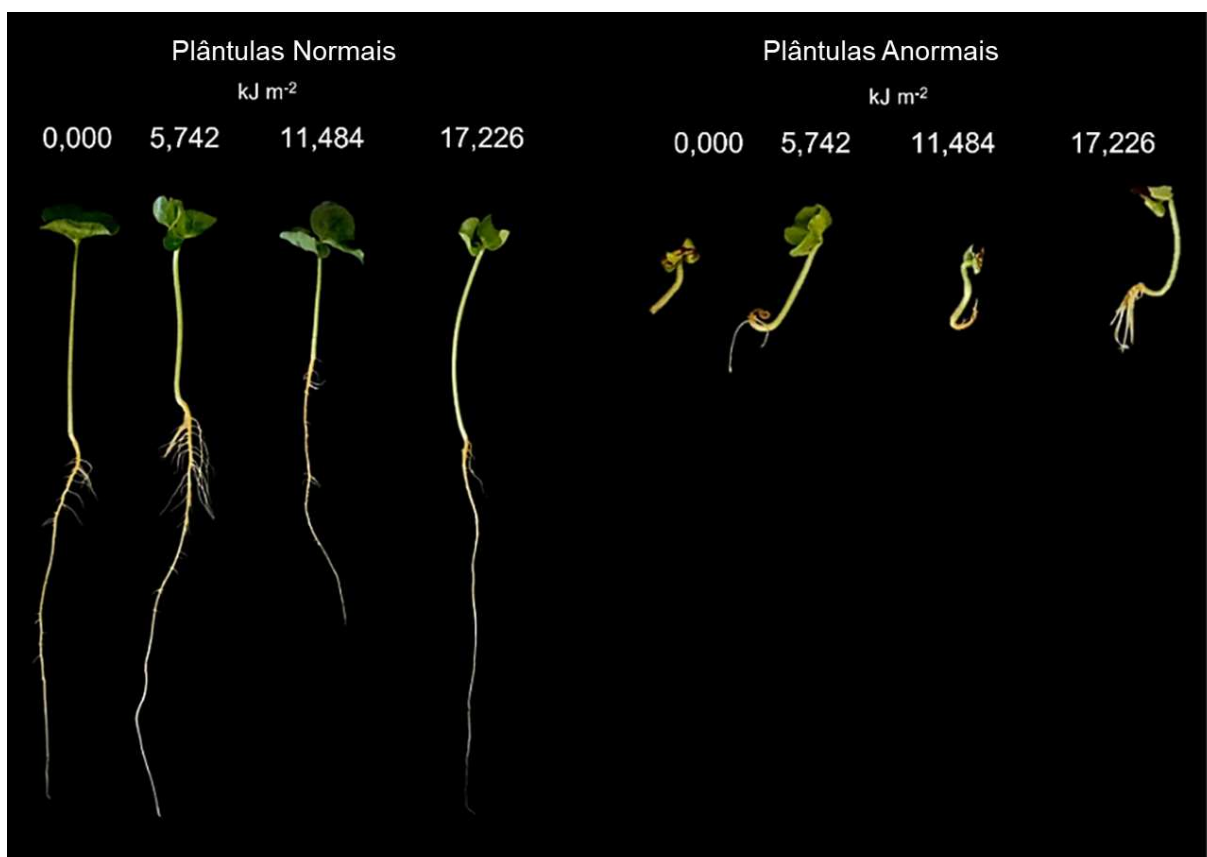


Figura 11. Plântulas do genótipo DP 555 BGRR que foram classificadas como normais e anormais após radiação com diferentes níveis de radiação UV-C. Uberlândia, MG, 2024.

Na análise dos níveis testados, foi estabelecido um modelo de regressão linear para a porcentagem de plântulas normais (PPN) no genótipo BRS 286 (Figura 12). Houve uma redução de 11,51% na PN no nível de 17,226 kJ m⁻², que corresponde ao nível mais elevado testado. Embora o genótipo DP 555 BGRR não tenha apresentado diferença significativa entre as médias, observou-se um aumento de 14,49% na PN em resposta à exposição ao UV-C, quando comparado à testemunha (Tabela 5).

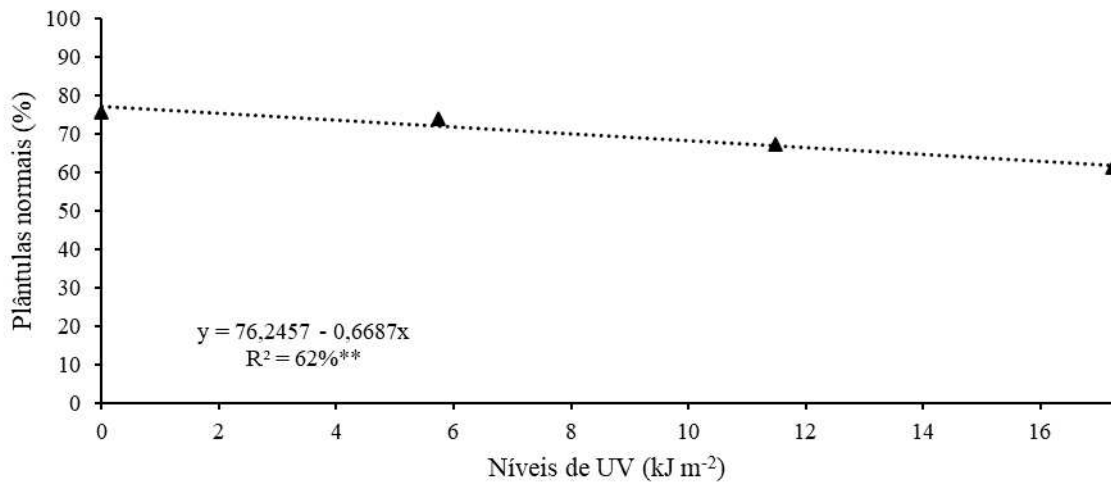


Figura 12. Modelo de regressão para porcentagem de plântulas normais (PPN) do genótipo BRS 286 sob a radiação UV-C. Uberlândia, MG, 2024.

Teste de Tetrazólio

Para a análise da viabilidade das sementes, foram estabelecidos modelos, sendo um linear para o BRS 286 e um quadrático para o DP 555 BGRR. Observou-se um aumento na porcentagem de sementes não viáveis de acordo com o aumento dos níveis de UV-C, atingindo a média de 67,12% no nível de 17,226 kJ m⁻², correspondente ao maior nível aplicado. Por outro lado, o genótipo DP 555 BGRR apresentou incremento nas médias de sementes viáveis, atingindo o ponto máximo no nível de 12,22 kJ m⁻² (Figura 13).

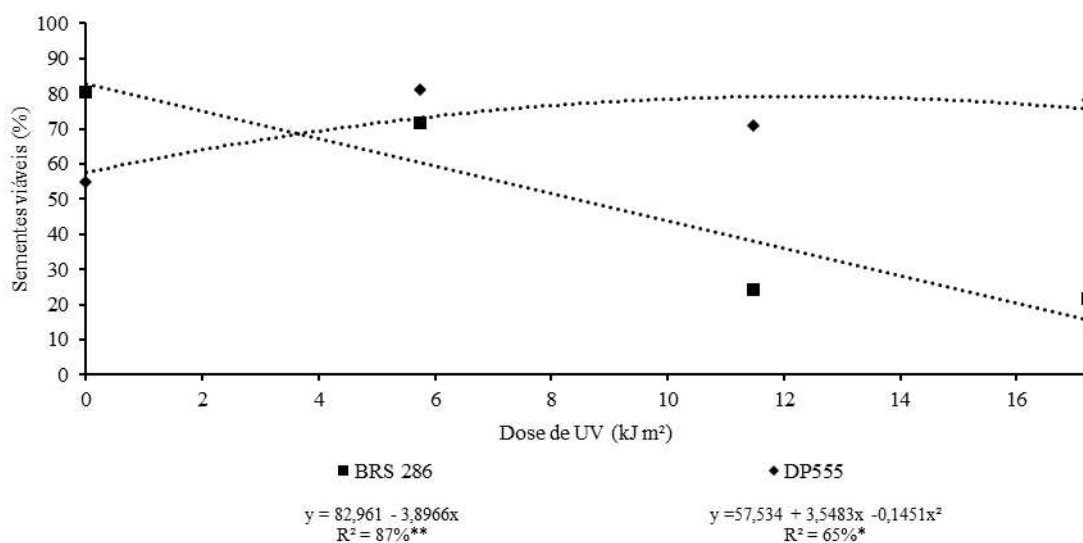


Figura 13. Regressão linear para o genótipo BRS 286 e regressão quadrática para o genótipo DP 555 BGRR, proveniente da porcentagem de sementes viáveis após serem submetidas à diferentes níveis de UV-C. Uberlândia, MG, 2024.

Além disso, observou-se uma coloração vermelho intensa para o genótipo BRS 286, enquanto o DP 555 BGRR apresentou tons de rosa claro, no nível de $11,484 \text{ kJ m}^{-2}$ de UV-C (Figura 14). A coloração no teste de tetrazólio é resultante da ação da enzima desidrogenase, que indica a taxa respiratória das sementes, ou seja, tecidos com taxas de respiração mais elevadas apresentam coloração mais intensa. Essa enzima está associada à deterioração das sementes (França-Neto; Krzyzanowski, 2018). O aumento na concentração dessas enzimas indica a progressão do processo de deterioração (Marcos Filho, 2005).

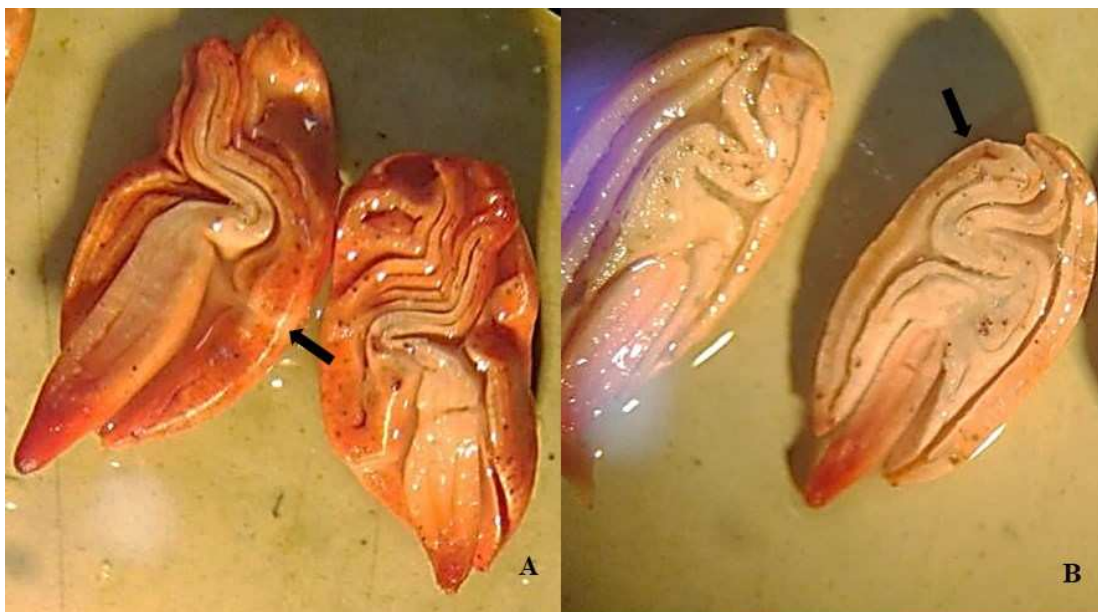


Figura 14. Sementes dos genótipos BRS 286 (A) e DP 555 BGRR (B) classificados como nota 2, vigor médio, submetidos ao teste de tetrazólio após a irradiação com $11,484 \text{ kJ m}^{-2}$ de UV-C. Uberlândia, MG, 2024.

Os danos predominantes resultantes da exposição à radiação UV-C incluem a morte do eixo embrionário e da radícula, o que compromete a viabilidade da semente. Esses resultados estão em concordância com o teste de germinação, onde as plântulas analisadas exibiram supressão do crescimento do hipocótilo, decorrente da peroxidação lipídica e oxidação de proteínas, RNA e DNA provocados pelo UV-C (Taiz *et al.*, 2017).

Além disso, o comportamento em relação ao déficit hídrico e à tolerância ao UV-C também foi observado na cultura da soja, onde o genótipo M7739 demonstrou tolerância ao nível de $31,1 \text{ kJ m}^{-2}$ e adaptação ao déficit hídrico, corroborando com os resultados encontrados neste experimento (Pereira *et al.*, 2019; Araújo *et al.*, 2020).

Uma das justificativas para o desempenho dos genótipos se dá pelo processo de neutralização das EROs, as quais são responsáveis por iniciar um processo autocatalítico de oxidação de membranas. Esse processo resulta na degradação de organelas e da membrana plasmática, culminando na morte celular (Taiz *et al.*, 2017).

Análises Bioquímicas

De acordo com as análises enzimáticas, observou-se uma diferenciação entre os genótipos testados (Tabela 6). Em relação ao teor de proteína total, o genótipo DP 555 BGRR apresentou médias superiores. De maneira geral, o genótipo BRS 286 exibiu indicativos bioquímicos de dano oxidativo, como índices elevados de glutathiona reduzida (GSH), malondialdeído (MDA), peróxido de hidrogênio (PH) e capacidade de redução de ferro (CRF). Esses resultados corroboram com as observações realizadas quanto à germinação e ao vigor dos genótipos.

Tabela 6. Análises bioquímicas dos genótipos BRS 286 e DP 555 BGRR submetidas à diferentes níveis de UV-C em condicionamento de sementes. Uberlândia, MG, 2024.

UV (kJ m ⁻²)	PT (µg µL ⁻¹)		PH (ml L ⁻¹)		MDA (nm mg ⁻¹)		CRF (umol mg prot ⁻¹)		GSH (nmol mg prot ⁻¹)	
	BRS 286	DP 555	BRS 286	DP 555	BRS 286	DP 555	BRS 286	DP 555	BRS 286	DP 555
0	0,70	1,72	281,38	355,75	1,49	0,63	249,11	117,2	144,97	60,06
5,742	0,73	1,09	327,00	280,12	2,03	0,99	279,85	159,95	182,81	95,41
11,484	0,88	1,12	358,25	337,62	1,16	0,97	178,51	143,40	106,38	94,93
17,226	0,75	1,02	293,25	331,38	1,46	1,11	208,4	144,04	142,21	114,38
Média	0,76b	1,23a	314,97a	326,22a	1,54a	0,93b	228,97a	141,14b	144,09a	91,19b

Letras minúsculas comparam médias das variáveis na linha, segundo teste Tukey.

No entanto, não foram observadas diferenças entre os níveis de UV-C testadas. Isso pode ser justificado pelo processo de recuperação do estresse, no qual a planta atinge um estado de homeostase em seus processos metabólicos, reciclando ou renovando todos os RNAs, proteínas, substâncias químicas protetoras e compostos desnecessários (Taiz *et al.*, 2017).

Uma outra possibilidade a ser considerada é com relação à composição da amostra, que incluía tanto plântulas normais quanto anormais. Esta heterogeneidade na amostra

possivelmente pode ter influenciado os resultados encontrados, dificultando a interpretação quanto aos diferentes níveis de UV-C.

O teor de proteínas nas plantas está correlacionado à sua capacidade de tolerar fatores de estresse, como a exposição ao UV, déficit hídrico, salinidade etc. Algumas proteínas apresentam domínio multifuncional de oxirredutase e atuam em várias vias metabólicas (Persson *et al.*, 1991).

De forma geral, algumas proteínas especializadas funcionam como sensores bioquímicos de estresse, sendo responsáveis por desencadear as respostas metabólicas vegetais. Entre essas proteínas, podem-se citar as proteínas quinases e fosfatases, responsáveis por regular a expressão gênica (Taiz *et al.*, 2017).

Não houve diferença entre os genótipos quanto à quantificação do peróxido de hidrogênio (H₂O₂). Por sua vez, o genótipo BRS 286 apresentou maiores concentrações de produtos de peroxidação lipídica, corroborando com os resultados encontrados, considerando os níveis de danos às plântulas observados neste experimento. Uma vez que os produtos da peroxidação lipídica da membrana, como o MDA, podem ser um indicador para estimar a extensão do dano celular causado por estresse oxidativo (Kruse *et al.*, 2006; Sharma *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2020).

Além disso, o genótipo BRS 286 também apresentou maior de GSH em comparação ao DP 555 BGRR. A GSH é um aminoácido capaz de neutralizar os efeitos negativos do estresse oxidativo, desempenhando papel fundamental no sistema de defesa das plantas durante o período de estresse abiótico (May *et al.*, 1998; Potter *et al.*, 2007).

Com base nas condições deste experimento, observou-se que o genótipo BRS 286 apresenta respostas de estresse oxidativo quando exposto à radiação UV-C, por apresentar maior concentração de produtos provenientes da oxidação, quando comparado ao genótipo DP 555 BGRR. A hipótese para este comportamento está em uma maior capacidade em neutralizar os efeitos do estresse oxidativo do genótipo DP 555 BGRR, o que indica que é necessária uma maior carga de radiação UV-C para ocasionar estresse oxidativo.

Deste modo são necessários mais estudos acerca da utilização da radiação UV-C em condicionamento do algodoeiro e na seleção de parentais com maior potencial de tolerância ao estresse oxidativo.

Sendo assim, são necessárias pesquisas adicionais para fornecer uma compreensão dos efeitos da irradiação com UV-C em sementes de algodoeiro, a depender do lote e genótipo analisado, aprofundando-se nos efeitos benéficos e deletérios da utilização desta tecnologia.

4.3.CONCLUSÕES

Houve interação entre Genótipo x Níveis de UV-C para as variáveis porcentagem de plântulas normais e porcentagem de sementes viáveis.

Os genótipos se diferiram quanto ao comprimento da parte radicular, matéria seca da plântula, proteína total, glutathiona reduzida, teores de peróxido de hidrogênio, manoldialdeído e capacidade de redução de ferro.

Foi possível diferir os genótipos quanto a resposta ao UV-C a partir da dose de 11,48 kJ m⁻² quanto a porcentagem de plântulas normais, em que o genótipo DP 555 BGRR apresentou maiores médias quando comparado ao BRS 286.

Segundo o teste de tetrazólio o vigor das sementes do genótipo DP 555 BGRR não apresentou diferença quanto ao nível de UV-C, enquanto para o genótipo BRS 286 reduziu seu vigor de acordo com o nível exposto.

As análises bioquímicas corroboraram as respostas encontradas no teste de germinação e tetrazólio, em que o genótipo BRS 286 apresentou indicativos de estresse oxidativo superiores quando comparado ao genótipo DP 555 BGRR.

REFERÊNCIAS

- ABDELRAHEEM, A. *et al.* Progress and perspective on drought and salt stress tolerance in cotton. **Industrial Crops and Products**. V. 130, p. 118-129, 2019. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.12.070
- ABDELRAHEEM, A. *et al.* Genome-wide association study for tolerance to drought and salt tolerance and resistance to thrips at the seedling growth stage in US Upland cotton. **Industrial Crops and Products**, 169, 113645, 2021. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.1136457
- AFZAL, S. *et al.* Eco-friendly synthesis of phytochemical-capped iron oxide nanoparticles as nano-priming agent for boosting seed germination in rice (*Oryza sativa* L.). **Environmental Science and Pollution Research**, v.28, p.40275-40287, 2021. DOI: 10.1007/s11356-020-12056-5
- AGUIAR, P. A. DE *et al.* Diallel analysis of upland cotton cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 7, p. 353–359, 2007.
- AHMED, R. G. Damage pattern as a function of various types of radiation. **International Journal of Zoology Research**, v. 2, p. 150-168, 2006.
- ALEXEIVA, V. *et al.* The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plan, Cell and Environment**, v. 24, p. 1337-1334, 2001. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x
- ALICI, E.; ARABACI, G. Determination of SOD, POD, PPO and CAT Enzyme Activities in *Rumex obtusifolius* L. **Annual Research & Review In Biology**, v. 11, n. 3, p. 1-7, 2016. DOI: 10.9734/arrb/2016/29809.
- ALVES, G. *et al.* Crescimento, produtividade e qualidade de fibra de algodão colorido influenciados pela população de plantas. **Ceres**, v. 64, n. 1, 2017. DOI: 10.1590/0034-737X201764010010
- AMORIM, L. *et al.* **Manual de fitopatologia**. 4. ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. 704 p.
- ANTUNES, C.G.C. *et al.* Osmopriming-associated genes in *Poincianella pyramidalis*. **Environmental and Experimental Botany**, v.10, n.43, e104345, 2020. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2020.104345
- APEL, K., HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annu Rev Plant Biol**, v.55, n.1, p.373–399, 2004. DOI: 10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701.
- ARAUJO, A. E. DE; SOFIATTI, V. **Cultura do Algodão no Cerrado**. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7718&p_r_p_-996514994_topicoId=7985>. Acesso em: 8 maio. 2022.

- ARAÚJO, R. S. L. *et al.* Ultraviolet-C radiation improves soybean physiological and sanitary quality. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, p. 1–15, 2020. DOI:10.1080/01140671.2020.1772321
- ARSHAD AWAN, Z. *et al.* Building climate-resilient cotton production system for changing climate scenarios using the DSSAT model. **Sustainability**. v. 13, n. 10495, 2021. DOI: 10.3390/su131910495
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE ALGODÃO – ABRAPA. Algodão no Brasil. 2023. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Brasil.aspx>. Acesso: 15 jun. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE ALGODÃO – ABRAPA. Algodão no Brasil. 2023. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Brasil.aspx>. Acesso: 15 jun. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE ALGODÃO - ABRAPA. **Cotonicultura brasileira é campeã de produtividade sem irrigação**, 2022. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/NoticiaAbrapa.aspx?noticia=319>. Acesso em: 8 maio. 2022.
- ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE PRODUTORES DE ALGODÃO - AMIPA. **História**. Disponível em: <https://amipa.com.br/sobre-o-algodao/historia>. Acesso em: 8 maio. 2022.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS –AOSA. **Seed vigor testing handbook. Stillwater**: Seed Vigor Test Committee of the Association of Official Seed Analysts. 1983. 93 p.
- BADRIDZE, G. *et al.* Effect of UV radiation and artificial acid rain on productivity of wheat. **Russ. J. Ecol.**, v. 7, n. 2, p. 158-166, 2016. DOI: 10.1134/S106741361602003X
- BANGE, M. *et al.* **Climate Change and Cotton Production in Modern Farming Systems**. Boston: CAB International; 2016. p. 61
- BARBOSA, M. R. *et al.* Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014. DOI: 10.1590/S0103-84782014000300011
- BASAL, H. *et al.* Root growth parameters of converted race stocks of upland cotton and two BC2F2 populations. **Crop Science**, v. 43, p. 1983-1988, 2003. DOI: 10.2135/cropsci2003.1983
- BASHIR, K. *et al.* Recent advances in the characterization of plant transcriptomes in response to drought, salinity, heat, and cold stress. **F1000Research**, v. 8, n. 658, 2019. DOI:10.12688/f1000research.18424.1
- BATISTA, T.B. *et al.* Appropriate hydration period and chemical agent improve priming in brachiaria seeds. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.46, n.3, p.350-356, 2016. DOI: 10.1590/1983-40632016v4638422

BATISTA, T.B. *et al.* Priming of brachiaria seeds with different sugar sources and concentrations. **Revista Caatinga**, v.31, n.4, p.843-849, 2018. DOI: 10.1590/1983-21252018v31n406rc

BECKERS, G. J. M.; CONRATH, U. Priming for stress resistance: from the lab to the field. **Curr. Opin. Plant Biol.**, v. 10, p. 452-431, 2007. DOI: 10.1016/j.pbi.2007.06.002

BENZIE, I. F.; STRAIN, J. J. Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. **Methods Enzymol**, v. 299, p. 15-27, 1999. DOI: 10.1016/S0076-6879(99)99005-5

BHATTACHARJEE, S. **Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell.** In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. Enfi eld: Science Publishers, 2010. p.1-30.

BONIFÁCIO, D. O. C. *et al.* Variabilidade genética e coeficiente de determinação em genótipos de algodoeiro quanto a qualidade de fibra. **Revista Verde**, v. 10, n. 3, p. 66-71, 2015. DOI: 10.18378/rvads.v10i3.3618

BORÉM, A.; FREIRE, E. C. **Algodão: do plantio a colheita.** Viçosa, UFV, 2014.

BORNMAN, J. F. New trends in photobiology. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 145-158, 1989. DOI: 10.1016/1011-1344(89)80001-6.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem*, v. 72, p. 248-54, May 07 1976. DOI: 10.1016/0003-2697(76)90527-3

BRASIL. **Regras para análise de sementes.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária, Brasília, Mapa,ACS, 2009. 399 p.

CARVALHO, A. *et al.* Seed osmopriming with PEG solutions in seeds of three infraspecific taxa of *Pinus nigra*: Impacts on germination, mitosis and nuclear DNA. **Forest Ecology and Management**, v.45, n.6, e117739, 2020. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.117739

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção.** 5.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012

CATRONUOVO, D. *et al.* Effects of UV-C Radiation on Common Dandelion and Purple Coneflower: First Results. **Int. J. Plant Biol.**, v. 8, n. 1, 2017. DOI: 10.4081/pb.2017.7255

CAVATTE, P. C. *et al.* The Physiology of Abiotic Stresses. **Plant Breeding For Abiotic Stress Tolerance**, p. 21-51, 2012. DOI: 10.1007/978-3-642-30553-5_3.

ÇAVUŞOĞLU, K. *et al.* Comparative investigation of toxicity induced by UV-A and UV-C radiation using *Allium* test. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 33988–33998, 2022. DOI: 10.1007/s11356-021-18147-1

CERVI, F.; MENDONÇA, E. A. F. Adequação do teste de tetrazólio para sementes de algodoeiro. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 177-186, 2009. DOI: 10.1590/S0101-31222009000100020

CHEN, S. *et al.* Proteomic analysis of salt-stressed tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings: effect of genotype and exogenous application of glycinebetaine. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 7, p. 2005–2019, 2009. DOI: 10.1093/jxb/erp075

CIA, E. *et al.* Melhoramento do algodoeiro no estado de São Paulo: obtenção da cultivar IAC 21. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 9–17, 2001. DOI: 10.1590/S0006-87052001000100002

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos safra 2022/23**. v.10, nº 9, 2023.

CORTE, V. B. C. *et al.* Mobilização de reservas durante a germinação das sementes e crescimento das plântulas de *Caesalpinia peltophoroides* Benth. (Leguminosae Caesalpinoideae). **Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa-MG, v.30, n.6, p.941-949, 2006. DOI: 10.1590/S0100-67622006000600009

D'AUTRÉAUX, B.; TOLEDANO, M.B. ROS as signalling molecules: mechanisms that generate specificity in ROS homeostasis. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v.8, p.813-824, 2007. DOI: 10.1038/nrm2256

DE ARAUJO, M. E. V. *et al.* Physiological and sanitary quality of castor oil plant seeds due to ultraviolet-C radiation. **Ind Culturas Prod.** v. 137, p. 9-15, 2019. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.05.014

DE MACÊDO, E. C. F. *et al.* Changes in osmoregulatory metabolism of cotton genotypes during water deficit and recovery period. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 23, n. 8, p. 607-613, 2019. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n8p607-613

DEBOUBA, M. *et al.* Salinity-induced tissue specific diurnal changes in nitrogen assimilatory enzymes in tomato seedlings grown under high or low nitrate medium. **Plant Physiology and Biochemistry**, Maryland, v. 44, n. 5-6, p. 409-419, 2006. DOI: 10.1016/j.plaphy.2006.06.017

DIDONET, A. D. **Estresse abiótico**. In: MELO, L. C. Procedimentos para condução de experimentos de valor de cultivo e uso em feijoeiro comum, 2009.

DILLON, F. M. *et al.* Solar UV-B radiation and ethylene play a key role in modulating effective defenses against *Anticarsia gemmatilis* larvae in field-grown soybean. **Plant, Cell & Environment**, v. 41, n. 2, p. 383-394, 2017.

DODE, J. S. *et al.* Teste de respiração em sementes de soja para avaliação da qualidade fisiológica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 2, p. 193-198, 2013. DOI: 10.1590/S0103-84782013000200001

DOS SANTOS, V. L. M. *et al.* Utilização do teste de tetrazólio na avaliação de germinação e do vigor de sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L.), como um teste complementar ao teste padrão de germinação. **Rev. Bras. de Sementes**, v. 14, n. 2, p. 155-159, 1992.

- EBHRAHUM, M. K. H. Stress tolerance responses of two cotton cultivars exposed to ultraviolet-a (366 nm) radiation: photosynthetic performance and chemical constituents. **Acta Agronomica Hungarica**, v. 52, n. 2, p. 113 – 124, 2004. DOI: [10.1556/AAgr.52.2004.2.1](https://doi.org/10.1556/AAgr.52.2004.2.1)
- FAROOQ, M. *et al.* Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 185-212, 2009. DOI:10.1051/agro:2008021
- FASEELA, P.; PUTHUR, J. T. Intraspecific variation in sensitivity of high yielding rice varieties towards UV-B radiation. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 25, n. 3, p. 727-740, 2019. DOI: 10.1007/s12298-019-00646-8.
- FEDINA, I. *et al.* UV-B induced stress responses in three rice cultivars. **Biologia Plantarum**, v. 54, n. 3, p. 571-574, 2010. DOI: 10.1007/s10535-010-0102-3
- FERNÁNDEZ, M. B. *et al.* Functional analysis of the UVR8 photoreceptor from the monocotyledonous *Zea mays*. **Plant Growth Regulation**, v. 92, p. 307-318, 2020. DOI: 10.1007/s10725-020-00639-8.
- FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Metodologia do teste de tetrazólio**. Embrapa Soja, Londrina, 2018. 108 p.
- FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. **J. Seed Sci.**, v. 41, n. 3, 2019. DOI: 10.1590/2317-1545v41n3223104
- FRANÇA-NETO, J. B., *et al.* Aferição da metodologia dos testes de tetrazólio de envelhecimento acelerado para a avaliação da qualidade de sementes de soja. **Informativo ABRATES**, Londrina, v.11, n.2, p.186 2001.
- FREIRE, E. C. **Fatores que afetam a qualidade das fibras**. In: FREIRE, E. C. Algodão no cerrado do Brasil. Brasília, DF: Positiva, 2015. p.653-750.
- FREIRE, E. C. **Melhoramento no Brasil**. In: BORÉM, A.; FREIRE, E. C. Algodão: do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2014. cap.6, p.113-132.
- GARCÍA-LIMONES, C. *et al.* Induction of an antioxidant enzyme system and other oxidative stress markers associated with compatible and incompatible interactions between chickpea (*Cicer arietinum* L.) and *Fusarium oxysporum* f. sp. *Ciceris*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Londres, v. 61, n. 6, p. 325-337, 2002. DOI: 10.1006/pmpp.2003.0445
- GOHARI, G. *et al.* Interaction between hydrogen peroxide and sodium nitroprusside following chemical priming of *Ocimum basilicum* L. against salt stress. **Physiol. Plantarum**, v.168, p. 361-373, 2020. DOI: 10.1111/ppl.13020
- GUAJARDO-FLORES, D. *et al.* Effect of germination and UV-C radiation on the accumulation of flavonoids and saponins in black bean seed coats. **Cereal Chem.**, v. 91, p. 276–279, 2014. DOI: 10.1094/CCHEM-08-13-0172-R
- GUHA, T. *et al.* Nanoprimering with zero-valent iron synthesized using pomegranate peel waste: A “green” approach for yield enhancement in *Oryza sativa* L. cv. Gonindobhog. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 163, p. 261-275, 2021. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.04.006

- HAMID, N., JAWAID, F. Influence of seed pre-treatment by UV-A and UV-C radiation on germination and growth of mung beans. **Pak. J. Chem.**, v. 1, p. 164-167, 2011. DOI: 10.15228/2011.v01.i04.p04
- HASSAN, A. B. *et al.* Effect of UV-C radiation treatment on microbial load and antioxidant capacity in hot pepper, fennel and coriander. **LWT**, v. 134, 2020. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109946
- HERNANDEZ-AGUILAR, C. *et al.* Characterization of bean seeds, germination, and phenolic compounds of seedlings by UV-C radiation. **J Plant Growth Regul.** v. 40, p. 642–55, 2021. DOI: 10.1007/s00344-020-10125-0
- HIDEG, E., VASS, I. UV-B induced free radical production in plant leaves and isolated thylakoid membranes. **Plant Science**, v. 115, n. 2, p. 251-260, mar. 1996. DOI: 10.1016/0168-9452(96)04364-6.
- HOLLÓSY, F. Effects of ultraviolet radiation on plant cells. **Micron**, v. 33, n. 2, p. 179-197, jan. 2002. DOI: 10.1016/s0968-4328(01)00011-7.
- IMAMT. **IMAmT - Instituto Mato-grossense do Algodão** . Disponível em: <<https://ampa.com.br/home/imamt-instituto-mato-grossense-do-algodao/>>. Acesso em: 9 maio. 2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Estatística da Produção Agrícola**. Acesso em: 8 maio. 2022.
- INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO - IMAMT. **IMAmT - Instituto Mato-grossense do Algodão**, 2022. Disponível em: <<https://ampa.com.br/home/imamt-instituto-mato-grossense-do-algodao/>>. Acesso em: 9 maio. 2022.
- JANDA, T. *et al.* Salicylic acid and photosynthesis: signalling and effects. **Acta Physiol. Plant**, v. 36, p. 2537–2546, 2014. DOI: 10.1007/s11738-014-1620-y
- JANS Y. *et al.* Global cotton production under climate change—Implications for yield and water consumption. **Hydrology and Earth System Sciences**. v. 25, p. 2027-2044. 2021. DOI: 10.5194/hess-25-2027-2021
- JISHA, K. C. *et al.* Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. **Acta Physiol. Plant.**, v. 35, p. 1381-1396, 2013. DOI: 10.1007/s11738-012-1186-5
- KACHARAVA, N. *et al.* Effect of seed irradiation on the content of antioxidants in leaves of kidney bean, cabbage and beet cultivars. **Aust. J. Crop Sci.**, v. 3, n. 3, p. 137, 2009.
- KAKANI, V. G. *et al.* Effects of Ultraviolet-B radiation on cotton (*Gossypium hirsutum*) morphology and anatomy. **Annals of Botany**, v. 91, p. 817-826, 2003. DOI: 10.1093/aob/mcg086
- KARUPPANAPANDIAN, T. *et al.* Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, v.5, n.6, p.709-725, 2011.

- KHAN, M. A. *et al.* **World cotton production and consumption: An overview.** In: AHMAD S, HASANUZZAMAN M. Cotton Production and Uses. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd; 2020. pp. 1-7. DOI: 10.1007/978-981-15-1472-2_1
- KHAN, M. E. *et al.* Genetic studies for morphological and fiber quality traits in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Science, Technology and Development**, Faisalabad, v.37, n.3, p. 131-138, 2018. DOI: 10.1007/978-981-15-1472-2_1
- KOSARUK, W. *et al.* Measures of Oxidative Status Markers in Relation to Age, Sex, and Season in Sick and Healthy Captive Asian Elephants in Thailand. **Animals**, v. 13, n. 9. 2023. DOI: 10.3390/ani13091548
- KOVALCHUK, I. **Multiple roles of radicals in plants.** In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. Enfi eld: Science Publishers, 2010. p.31-44. DOI: 10.1201/9781439854082-3
- KRUSE, N. D. *et al* Estresse oxidativo em girassol (*Helianthus annuus*) indica Sinergismo para a mistura dos herbicidas metribuzin e clomazone. **Planta Daninha**, v. 24, p. 379-390, 2006. DOI: 10.1590/S0100-83582006000200023
- KRZYZANOWSKI, F. C. *et al.* **Deterioração e vigor da semente.** Embrapa Soja, Circular técnica, 191, 2022, 25p.
- KUMAR, K. *et al.* Growth and physiochemical responses of *Camelina sativa* L. under UV-C stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 38, n. 5, p. 1-9, 28 abr. 2016. DOI: 10.1007/s11738-016-2143-5.
- KUSVURAN, S. *et al.* **Antioxidant Enzyme Activities and Abiotic Stress Tolerance Relationship in Vegetable Crops.** In: Shanker, A. K. Abiotic and Biotic Stress In Plants - Recent Advances And Future Perspectives, InTech, p. 481-506, 2016. DOI: 10.5772/62235.
- LANNA, A. C. *et al.* Mitigação dos estresses abióticos na agricultura mediada pela interação de microrganismos e plantas. **Documentos**, 2021, 319 p.
- LEE, D.; LEE, C. B. Chilling stress-induced changes of antioxidant enzymes in the leaves of cucumber: in gel enzyme activity assays. **Plant Science**, Shannon, v. 159, n. 1, p. 75-85, 2000. DOI: 10.1016/S0168-9452(00)00326-5
- LEMOS, B. S. Teste de tetrazólio para avaliação de sementes em feijão caupi: concentração do sal e período de coloração. 2015. 29f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.
- LIMA, T. C. *et al.* **Botânica.** In: Algodão: do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2014. p.50-66.
- LIU, Y. *et al.* Foliar-applied cerium oxide nanomaterials improve maize yield under salinity stress: reactive oxygen species homeostasis and rhizobacteria regulation. **Environ. Pollut.**, v. 299, n. 118900, 2022. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.118900
- LU, X, *et al.* Single-base resolution methylomes of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) reveal epigenome modifications in response to drought stress. **BMC Genomics**. v. 18, n. 1, 2017 DOI: 10.1186/s12864-017-3681-y.

- LUO, H. *et al.* Effects on water storage in deeper soil layers on growth yield, and water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in arid areas of northwestern china. **Irrigation and Drainage**, v.63, n.1, p.59-70, 2013. DOI: 10.1002/ird.1793
- MACKERNESS, S.A.H. Plant responses to ultraviolet-B (UV-B: 280–320 nm) stress: What are the key regulators? **Plant Growth Regulation**, v. 32, n. 1, p. 27-39, 2000. DOI: 10.1023/a:1006314001430.
- MAHAJAN, S, TUTEJA, N. Cold, salinity and drought stresses: an overview. **Arch Biochem Biophys**, v. 444, n. 2, p. 139–158, 2005. DOI: 10.1016/j.abb.2005.1 0.018
- MAHARAJ, R. **Effects of Abiotic Stress (UV-C) Induced Activation of Phytochemicals on the Postharvest Quality of Horticultural Crops**. Phytochemicals - Isolation, Characterisation and Role in Human Health. InTech. 2015. DOI: 10.5772/60050.
- MAHMOUDI, H. *et al.* Influence of different seed priming methods for improving salt stress tolerance in lettuce plants. **J. Plant Nutr.**, v. 35, p.1910-1922, 2012. DOI: 10.1080/01904167.2012.711410
- MAJEED, S. *et al.* Heat stress in cotton: A review on predicted and unpredicted growth-yield anomalies and mitigating breeding strategies. **Agronomy**, v. 11, n. 1825, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11091825
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.
- MAY, M. *et al.* Homeostase glutationa em plantas: implicações para a percepção ambiental e desenvolvimento da planta. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 3, p. 649-667, 1998. DOI: 10.1093/jexbot/49.321.649
- MERWAD, A. R. M. *et al.* Response of water deficit stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, v.228, p.132-144, 2018. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.10.008
- MILLER G. *et al.* Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant Cell Environ.**, v.33, n.4, p. 453-467, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x.
- MIRANDA, M. C. C. Diversidade genética entre genótipos de algodoeiro visando ampliação da variabilidade. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.
- MÜLLER-XING, R. *et al.* Footprints of the sun: memory of uv and light stress in plants. **Frontiers In Plant Science**, v. 5, p. 1, 2014. DOI: 10.3389/fpls.2014.00474.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, Oxford, v. 59, n. 1, p. 651- 681, 2008. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

MUNÔZ-CLARES, R. A.; VELASCO-GARCIA, R. Genio y figura de la betaína aldehído Deshidrogenasa. **Mensaje Bioquímico**, México, v. 28, p. 203-223, 2004.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.2.1-2.24.

OROBINSKY, V.L. *et al.* **Seed refinement in the harvesting and post-harvesting process**. In: International scientific and practical conference Agro-SMART-Smart solutions for agriculture. Atlantis Press, 2018. DOI: 10.2991/agrosmart-18.2018.163

OUHIBI, C. *et al.* Salt stress mitigation by seed priming with UV-C in lettuce plants, growth, antioxidant activity and phenolic compounds. **Plant Phys. Biochem**, v.83, p. 126–133, 2014 DOI: 10.1016/j.plaphy.2014.07.019

PADILLA, F. M.; PUGNAIRE, F. I. Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. **Funct Ecol**, v. 21, p. 489–495, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2007.01267.x

PARIDA, A. K. *et al.* Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery. **Plant Biotechnology Reports**, v. 1, n. 1, p. 37-48, 2007. DOI: 10.1007/s11816-006-0004-1.

PARIDA, A. K. *et al.* Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery. **Plant Biotechnology Reports**, v. 1, n. 1, p. 37-48, 2007. DOI: 10.1007/s11816-006-0004-1.

PEDRINI, S. *et al.* Seed enhancement: getting seeds restoration-ready. **Restoration Ecology**, v. 28, n. 3, p. 266-275, 2020. DOI: 10.1111/rec.13184

PENNA, J. C. V. **Melhoramento do algodoeiro anual**. Informe 21 Agropecuário, Belo Horizonte, v.8, n.92, p.10-13, 1982.

PENNA, J.C.V. **Melhoramento do algodoeiro**. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, 2005. p. 15-53.

PEREIRA, P. *et al.* Effect of water stress on the development of soybean crop. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-8, 2019. DOI: 10.9734/jeai/2019/v39i230330.

PERSSON, B. *et al.* Characteristics of short-chain alcohol dehydrogenases and related enzymes. **European Journal of Biochemistry**, v. 200, p.537-543, 1991. DOI: 10.1111/j.1432-1033.1991.tb16215.x

POÓR, P. *et al.* Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged darkness. **Photosynthetica**, v. 57, p. 367–376, 2019. DOI: 10.32615/ps.2019.040

POTTER, G. *et al.* Respostas morfogênicas induzida por estresse: crescer fora do problema? **Tendências em Fitotecnia**, v. 12, n. 4, p. 98-105, 2007.

POURNAVAB, R. F. *et al.* Ultraviolet Radiation Effect on Seed Germination and Seedling Growth of Common Species from Northeastern Mexico. **Agronomy**, v. 9, n. 269, 2019. DOI:10.3390/agronomy9060269

R CORE TEAM, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.Rproject.org/>

RANI, S.; KUMAR, P., SUNEJA, P. Biotechnological interventions for inducing abiotic stress tolerance in crops. **Plant Gene**. v. 7, n. 100315, 2021;. DOI: 10.1016/j.plgene.2021.100315

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

RHAMAN, M. S. *et al.* Seed priming methods: application in field crops and future perspectives. **Asian J Res Crop Sci**, v. 5, p. 8-19, 2020. DOI: 10.9734/ajrcs/2020/v5i230091

RIFNA, E.J. *et al.* Emerging technology applications for improving seed germination. **Trends Food Sci Tech**, v.86, p.95-108, 2019. DOI: doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.029

RIVERO R. M. *et al.* Cytokinin-dependent photorespiration and the protection of photosynthesis during water deficit. **Plant Physiol**. v. 150, p. 1530–1540, 2009. DOI: 10.1104/pp.109.139378

RIVERO R. M. *et al.* Delayed leaf senescence induces extreme drought tolerance in a flowering plant. **Proc. Natl. Acad. Sci**. v. 104, p. 19631–19636, 2007. DOI: 10.1073/pnas.0709453104

RIVERO R. M. *et al.* Enhanced cytokinin synthesis in tobacco plants expressing PSARK::IPT prevents the degradation of photosynthetic protein complexes during drought. **Plant Cell Physiol**. v. 51, p. 1929–1941, 2010. DOI: 10.1093/pcp/pcq143

RODRIGUES, J. D. Characterization of water-stress tolerant cotton cultivars based on plant growth and in activity of antioxidant enzymes. **Afr. J. Agric. Res.**, v. 11, n. 39, p. 3763-3770, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11301

RUDNEV, S.G. Principles of organization of post-harvest grain processing. In: **International Scientific and Practical Conference World science**. ROST, 2017. p.16-19

SADEGHIANFAR, P. *et al.* Exposure to Ultraviolet (UV-C) Radiation Increases Germination Rate of Maize (*Zea maize* L.) and Sugar Beet (*Beta vulgaris*) Seeds. **Plants**, v. 8, n. 49, 2019. DOI:10.3390/plants8020049

SARGHEIN, S. H. *et al.* The effects of UV radiation on some structural and ultrastructural parameters in pepper (*Capsicum longum* A.DC.) **Siavash. Turk J Biol**. v. 35, p. 35-69, 2011. DOI: 10.3906/biy-0903-11

SARKAR, N. *et al.* Innovative application of facile single pot green synthesized CuO and CuO@ APTES nanoparticles in nanoprimering of *Vigna radiata* seeds. **Environmental Science and Pollution Research**, v.28, n.11, p.13221-13228, 2021. DOI: 10.1007/s11356-020-11493-6

SCANDALIOS, J. G. Oxygen stress and superoxide dismutases. **Plant Physiology**, Rockville, v. 101, n. 1, p. 1-7, 1993. DOI: 10.1104/pp.101.1.7

SEMENOV, A. *et al.* Effect of UV-C radiation on basic indices of growth process of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds in pre-sowing treatment. **Acta agriculturae Slovenica**, v. 116, n. 1, p. 49-58, 2020. DOI: 10.14720/aas.2020.116.1.1563

SEN, A. *et al.* UV B Priming of *Oryza sativa* seeds augments the innate tolerance potential in a tolerant variety more effectively toward NaCl and PEG stressors. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 1166-1180, 2021. DOI: 10.1007/s00344-020-10177-2

SEN, A.; PUTHUR, J. T. Halo- and UV-B priming-mediated drought tolerance and recovery in rice seedlings. **Plant Stress**, v. 2, p. 100011, dez. 2021. DOI: 10.1016/j.stress.2021.100011.

SEN, A.; PUTHUR, J. T. Influence of different seed priming techniques on oxidative and antioxidative responses during the germination of *Oryza sativa* varieties. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 26, n. 3, p. 551-565, 2020. DOI: 10.1007/s12298-019-00750-9.

SHARIF, I. *et al.* Salinity stress in cotton: Effects, mechanism of tolerance and its management strategies. **Physiology and Molecular Biology of Plants**. v. 25, p. 807-820, 2019. DOI: 10.1007/s12298-019-00676-2

SHARLAEVA, E. A.; CHIRKOVA, V. Y. The Impact of Short-Wave UV Radiation on Peroxidase Activity in Soft Wheat Seeds. **IOP Conf Ser Earth Environ Sci.**, v. 670, p. 1-6, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/670/1/012008

SHARMA, P. *et al.* Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, p. 1-26. 2012. DOI: 10.1155/2012/217037

SHARP, R. E. *et al.* Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomic. **J. Exp. Bot.**, v. 55, p. 2343–2351, 2004. DOI: 10.1093/jxb/erh276

SHAUKAT, S. S. *et al.* Effect of enhanced UVB radiation on germination, seedling growth and biochemical responses of *Vigna mungo* (L.) Hepper. **Pak. J. Bot.**, v. 45, n. 3, p. 779-785, 2013.

SHER, A. *et al.* Methods of Seed Priming. In: **Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings**. Springer Singapore, 2019. DOI: 10.1007/978-981-13-8625-1_1

SHUMAILA, S.; ULLAH, S. Mitigation of salinity-induced damages in *Capsicum Annum* L. (sweet pepper) seedlings using priming techniques: a future perspective of climate change in the region. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 51, p. 1602-1625, 2020. DOI: 10.1080/00103624.2020.1791154

SIDDIQUI A. *et al.* Role of ultra violet (UV-c) radiation in the control of root infecting fungi on groundnut and mung bean. **Pak. J. Bot.** v. 43, n. 4, p. 2221–2224, 2011.

SILVA, L.C. *et al.* Physiological and antioxidant insights into common bean resistance to common bacterial blight. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 111, n. 101505, 2020. DOI: 10.1016/j.pmpp.2020.101505

SIMOVA-STOILOVA, L. *et al.* Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage. **Plant, Soil and Environment**, v. 54, n. 12, p. 529-536, 2008. DOI: 10.17221/427-PSE.

SOLER, C. M. T.; HOOGERNBOOM, G. **Determining irrigation scheduling for cotton and peanut using cropping system models**. World Environmental and Water Resources Congress, 2007. DOI: 10.1061/40927(243)226.

STEFANELLO, R. *et al.* UV-B and UV-C radiation on the germination of soybean seeds. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 18, n.2, e2964, 2023. DOI: 10.5039/agraria.v18i2a2964

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

TANOUE, G. *et al.* Priming against environmental challenges and proteomics in plants: update and agricultural perspectives. **Front. Plant Sci.**, v. 3, p. 2016, 2012. DOI: 10.3389/fpls.2012.00216

TELES, G. C. T.; FUCK, M. P. Pesquisa e Desenvolvimento de Cultivares: O Perfil Tecnológico da Cotonicultura. **Informe Gepec**, Toledo, v. 20, n. 1, p. 61–77, 2016.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Influência do déficit hídrico sobre o tamanho das sementes e vigor das plântulas de soja. **Pesq. Agrop. Gaúcha**, v. 2, n. 1, p. 57-61, 1996.

THOMAS, D. T.; PUTHUR, J. T. Amplification of abiotic stress tolerance potential in rice seedlings with a low dose of UV-B seed priming. **Functional Plant Biology**, v. 46, n. 5, p. 455, 2019. DOI: 10.1071/FP18258

THOMAS, T.T.D.; PUTHUR, J.T. UV radiation priming: A means of amplifying the inherent potential for abiotic stress tolerance in crop plants. **Environ. Exp. Bot.**, v. 138, p. 57–66, 2017. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2017.03.003

TIAN, X. R.; LEI, Y. B. Physiological responses of wheat seedlings to drought and uv-b radiation. Effect of exogenous sodium nitroprusside application. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 54, n. 5, p. 676-682, 2007. DOI: 10.1134/S1021443707050160

VEIGA, A. D. *et al.* Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, p. 953-960, 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000400022

VENISSE, J. S. *et al.* Modulation of defense responses of *Malus* spp. during compatible and incompatible interactions with *Erwinia amylovora*. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 15, n. 12, p. 1204-1212, 2002. DOI: 10.1094/MPMI.2002.15.12.1204

VERSLUES, P. E. *et al.* Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, v. 45, n. 4, p. 523-539, 2006. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02593.x

VICENTE, O. *et al.* Contribution of osmolyte accumulation to abiotic stress tolerance in wild plants adapted to different stressful environments. **Osmolytes and Plants Acclimation to Changing Environment: Emerging Omics Technologies**, p. 13-25, 2016. DOI: 10.1007/978-81-322-2616-1_2. DOI: 10.1007/978-81-322-2616-1_2

VIDAL NETO, F. DAS C.; FREIRE, E. C. **Melhoramento genético do algodoeiro**. In: *Melhoramento genético de plantas no Nordeste*. Brasília, 2013. p. 49–82.

WELLS, R. Light and the cotton plant. In: OOSTERTHUIS, D. M. *Stress physiology in cotton*, ed. 7. p. 77-84, 2011.

XU, Y. *et al.* Ultraviolet-C priming of strawberry leaves against subsequent *Mycosphaerella fragariae* infection involves the action of reactive oxygen species, plant hormones, and terpenes. **Plant, Cell & Environment**, v. 42, n. 3, p. 815-831, 2019. DOI: 10.1111/pce.13491

ZHANG, H. *et al.* Rational water and nitrogen management improves root growth, increases yield and maintains water use efficiency of cotton under mulch drip irrigation. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 912, 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.00912.

ZONTA, J. H. *et al.* Yield of cotton cultivars under different irrigation depths in the Brazilian semi-arid region. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 748-754, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p748-754