



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Biociências
Campus do Litoral Paulista



AMANDA APARECIDA SOUSA

**EFEITOS DO ESTRESSE HÍDRICO EM DOIS CULTIVARES DE ARROZ E SUAS
IMPLICAÇÕES PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEGURANÇA ALIMENTAR**

SÃO VICENTE - SP
2024

Instituto de Biociências - Campus do Litoral Paulista
Praça Infante D. Henrique s/nº - CEP 11330-900 - São Vicente (SP) - Brasil
Tel. (13) 3569-7100 – diretor.clp@unesp.br

AMANDA APARECIDA SOUSA

**EFEITOS DO ESTRESSE HÍDRICO EM DOIS CULTIVARES DE ARROZ E SUAS
IMPLICAÇÕES PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEGURANÇA ALIMENTAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Instituto de Biociências, Campus do Litoral
Paulista, como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de bacharel em Ciências Biológicas, com
habilitação em Biologia Marinha.

Orientador(a): Prof. Dr. Milton Costa Lima Neto

SÃO VICENTE - SP
2024

S725e Sousa, Amanda Aparecida

Efeitos do estresse hídrico em dois cultivares de arroz e suas implicações para as mudanças climáticas e segurança alimentar / Amanda Aparecida Sousa. -- São Vicente, 2024

27 f. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, São Vicente

Orientador: Milton Costa Lima Neto

1. Oryza sativa. 2. Seca. 3. Arroz de sequeiro. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família. Por todo apoio e incentivo durante meus estudos. Especialmente à minha mãe, Edilene, por ansiar meu sucesso com tanto amor e sempre estar ao meu lado.

Agradeço aos amigos que fiz durante minha graduação, tornando a trajetória mais proveitosa e divertida. Especialmente aqueles que contribuem para a construção de uma universidade democrática, coletiva e diversa em todos os aspectos.

Aos professores que contribuíram com minha formação em todos os âmbitos, especialmente ao Profº Dr. Fabio Stucchi Vannucchi, que me ajudou desde o início. Seja com questões da permanência, com física ou com a mobilização estudantil.

Gostaria de agradecer também à Coordenadoria de Permanência Estudantil COPE, não apenas pela bolsa COPE Conecta, que fez toda a diferença para minha vida e desenvolvimento desse trabalho, mas principalmente a todas as medidas de auxílios socioeconômicos da Unesp. Que são fundamentais para tantos alunos em vulnerabilidade social assim como foram a garantia da minha graduação.

Agradeço a todos os funcionários do IB - CLP que também fazem parte da formação de todos os discentes, e contribuem crucialmente para a nossa comunidade.

À Hellen Sabo, André Guedes de Toledo, Marcelo Francisco Gomes e à Sandra Regina Abud de Almeida. Amigos dos quais dedico parte das minhas conquistas acadêmicas e que estarão sempre no meu coração.

Ao LAMEP, meus colegas de laboratório, pelo ambiente leve e pela troca de conhecimento. Sobretudo ao Gabriel Ferraz Guimarães por ser tão gentil e prestativo.

Por fim, agradeço ao Profº Dr. Milton Costa Lima Neto. Pela oportunidade de pesquisa, orientações e ensinamentos desde que entrei no laboratório. Obrigada por ter me acolhido, acreditado em mim e sempre ter me respeitado. Meu amor pelas plantas e o interesse pela fisiologia vegetal apenas aumentou desde que entrei no LAMEP.

RESUMO

O cenário crítico de mudanças climáticas tem como consequência a alteração dos regimes hidrológicos do planeta. Dessa forma, a procura por cultivares tolerantes ao estresse hídrico se tornou cada vez mais necessária para a agricultura mundial. Diante de tais justificativas, o objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas fisiológicas de dois cultivares de arroz de terras altas, submetidos a seca. Os cultivares estudados foram BRS Esmeralda e Soberana, obtidos pela EMBRAPA. Através da fluorescência da clorofila a , o período de seca foi delimitado a fim de realizar as coletas dos parâmetros bioquímicos. Sendo estes Conteúdo Relativo de Água, Dano de Membrana e Determinação de pigmentos. Houve melhor desempenho do aparato fotossintético de BRS Esmeralda em comparação a BRS Soberana, sobretudo na eficiência quântica e transporte de elétrons. Assim como em relação à maior parte dos parâmetros, com exceção das taxas de pigmentos. Onde a redução dos pigmentos após a restrição hídrica foi maior no cultivar BRS Esmeralda. Portanto há necessidade de aprofundar os estudos relacionados à resistência desses cultivares, especialmente no que tange à origem desses mecanismos e a manipulação dessas características.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, seca, arroz de sequeiro.

ABSTRACT

The critical climate change scenario results in variation of the planet's hydrologic regimes. Therefore, the search for drought-resistant cultivars has become increasingly necessary for global agriculture. In light of this, the objective of this work was to evaluate the physiological responses of two upland rice cultivars, subjected to drought. The cultivars used in this work were BRS Esmeralda and Soberana, obtained by EMBRAPA. Using chlorophyll *a* fluorescence, the dry period was delimited in order to collect biometric parameters. These values being Relative Water Content, Membrane Damage and Pigment Determination. A better performance in the photosynthetic apparatus of BRS Esmeralda occurred in contrast to BRS Soberana, especially in quantum efficiency and electron transport. So with most parameters, except pigment rates. The reduction of pigments after water restriction was greater in the BRS Esmeralda cultivar. Thus, there is a need to enhance knowledge related to the resistance of these cultivars, especially regarding the origin of these mechanisms in order to manipulate these characteristics.

Keywords: *Oryza sativa*, drought, upland rice.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL – Actinic Light

C₁ – Leitura de condutividade 1

C₂ – Leitura de condutividade 2

CH₄ – Gás Metano

CO₂ – Dióxido de Carbono

CRA – Conteúdo Relativo de Água

DM – Dano de Membrana

ETR – Taxa Aparente de Transporte de Elétrons

EPF – Extração de Pigmentos Fotossintetizantes

EROs – Espécies Reativas de Oxigênio

FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

F_m – Fluorescência máxima

F_o – Fluorescência mínima

F_v/F_m – Eficiência Quântica Potencial

GEE – Gases do Efeito Estufa

MF – Massa Fresca

MS – Massa Seca

MT – Massa Túrgida

NPQ – Quenching Não Fotoquímico

PSII – Fotossistema II

SP – Saturation Pulse

YII – Eficiência Quântica Efetiva

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 Geral.....	4
2.2. Específicos.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3.1. Design experimental.....	5
3.2. Biometria e Pesagem.....	6
3.3. Fluorescência da Clorofila <i>a</i>	6
3.4. Conteúdo Relativo de Água.....	7
3.5. Dano de Membrana.....	7
3.6. Determinação do teor de Clorofilas e Carotenoides.....	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	8
5. CONCLUSÃO.....	13
6. REFERÊNCIAS.....	15

1. INTRODUÇÃO

A frequência de eventos climáticos extremos são um dos principais agentes de risco para a agricultura nas próximas décadas, especialmente sobre a produção de cereais (AYDINALP & CRESSER, 2008). Estudos recentes indicam que o acúmulo de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, tem como principal consequência o aumento da temperatura no globo terrestre (MANABE, 2019). E de forma paralela dentre uma série de alterações ecossistêmicas, esse aumento de temperatura também modifica os regimes hidrológicos do planeta (IPCC, 2023). Devido a imprevisibilidade progressiva dos regimes pluviométricos e períodos de estiagem, a procura de cultivares tolerantes ao estresse hídrico se tornou cada vez mais necessária para a agricultura mundial. Fatores abióticos como o dióxido de carbono (CO₂), raios UV-B, temperatura e disponibilidade de água no solo influenciam diretamente o metabolismo das plantas. Mais especificamente nos processos de fotossíntese, respiração, transpiração, assimilação de nitrogênio e defesa contra patógenos (AHMAD *et al*, 2009). Portanto as mudanças climáticas são determinantes para o futuro da produção agrícola, em especial no que tange às necessidades e demandas alimentares da população.

O arroz (*Oryza sativa*) pertence ao grupo das angiospermas monocotiledôneas, mais especificamente à família Poaceae. Cereal globalmente cultivado desde sua domesticação há cerca de 13.000 anos (BERNIER *et al*, 2008). No Brasil seu cultivo lidera aproximadamente 31% da produção na América, e se encontra em nono lugar na escala global cerca de 1,5% (Portal EMBRAPA, 2023). O arroz compõe grande parte da dieta mundial, sendo considerado um alimento básico para 2,4 bilhões de pessoas no mundo. Estimativas desenvolvidas pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) apontam a necessidade em duplicar a produção atual até 2050. Para que a demanda nutricional da população seja atendida, dez milhões de toneladas por ano deverão ser alcançadas em sua maioria pelo desenvolvimento agrícola dos demais produtores mundiais, desconsiderando o

continente asiático, em função do racionamento hídrico regional para a industrialização e uso doméstico (SANTOS *et al*, 2006). Diferentemente da Ásia, no Brasil e na África o arroz de terras altas ou arroz de sequeiro também é utilizado na agricultura. O cultivo do arroz de sequeiro nacional ocorre em grande parte nas regiões de cerrado, que devido aos períodos de estiagem e baixa capacidade na retenção de água pelo solo, torna-se uma produção desafiadora (KLUTHCOUSKI *et al*, 1995). Para contornar a dependência de precipitação pluvial, a irrigação suplementar por aspersão tornou-se uma alternativa diante de tais implicações (STONE & SILVEIRA, 2004).

O arroz comumente cultivado por inundação, além do grande consumo hídrico, provoca o acúmulo de ácidos orgânicos no solo e consequentemente a emissão de gases do efeito estufa como o metano (CH_4), onde 90% de sua difusão ocorre no continente asiático. Solos inundados com esse tipo de arroz contribuem numa escala de 7/10 com a liberação do metano em relação a substratos ausentes desse plantio devido a ação de microrganismos anaeróbios metanogênicos (LIMA & CABRAL *et al*, 2001). Nesse aspecto, o arroz de terras altas se torna vantajoso para diminuição das concentrações de GEE na atmosfera. Além disso, a tolerância hídrica dos cultivares de arroz de terras altas é uma das melhores alternativas para combater a insegurança alimentar em regiões de estiagem (TERRA *et al*, 2015).

O estresse hídrico nos organismos vegetais tem como alteração primária o fechamento dos estômatos que por consequência afeta o crescimento, produtividade metabólica e capacidade reprodutiva (TERRA *et al*, 2010). Isso ocorre pela limitação das trocas gasosas, gerando um efeito em cadeia sob a taxa de fotossíntese, volume celular, vigor e altura da planta, fertilidade, absorção de nutrientes, área e estiramento foliar, influenciando também a dissipação de energia das folhas. Também segundo Terra *et al* (2010), o arroz possui baixa capacidade de proteção foliar devido principalmente à baixa deposição de cera em suas cutículas. A produção e biomassa das plantas, inclusive no arroz, está diretamente atrelada à

taxa de fotossíntese. O déficit hídrico interfere tanto na quantidade de pigmentos fotossintetizantes quanto nas enzimas que atuam nesse processo (NAHAR *et al*, 2016). Um sistema de raízes longas e ramificadas presente no arroz de terras altas, é uma característica de extrema importância justamente por propiciar maior efetividade na absorção da água disponível no solo (FONSECA *et al*, 2008). Pois essas raízes alongadas e profundas, se desenvolvem em razão do crescimento direcionado a regiões mais úmidas no solo (UGA *et al*, 2013). O arroz apresenta maior sensibilidade à seca durante seu crescimento reprodutivo, além disso o estresse hídrico pode afetar o rendimento dos grãos (VENUPRASAD *et al*, 2008).

BRS Esmeralda é um cultivar com alta produtividade e resistência à seca, além de apresentar senescência tardia e baixa propensão ao acamamento. Entre 2003 e 2006 passou por diversos ensaios preliminares de rendimento, valor de cultivo e uso, testes de resistência a doenças, pragas, tolerância à seca, distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade (CASTRO, 2014). Graças à sua tolerância em relação a estresses abióticos, o cultivar possui grande adaptabilidade e estabilidade em diferentes regiões de produção. Sua resistência em relação às doenças foi observada sobre mancha-parda (*Bipolaris oryzae*), escaudadura-das-folhas (*Xanthomonas albilineans*) e brusone (*Pyricularia grisea*), que comumente atingem plantações de arroz. As folhas de BRS Esmeralda são menos descumbentes e de perfilhamento moderado, área foliar mediana e altura aproximada entre 95 e 108 cm. Características essas favoráveis às adaptações de acamamento em conjunto a persistência de sua coloração esverdeada durante a maturação dos grãos (CASTRO, 2014). Segundo estudos prévios, a redução hídrica de 50% no cultivo de BRS Esmeralda, diminui sua produtividade em 50% a 70%. Ainda assim, em comparação aos cultivares BRS Primavera e AN Cambará, apresenta vantagem produtiva (OLIVEIRA *et al*, 2018).

O cultivar de BRS Soberana é um cultivar de ciclo curto, recomendado para plantio em solos pouco férteis em razão de sua suscetibilidade ao acamamento. O registro da linhagem resultante CNA 8711 ocorreu entre 1996 e 1997 e após seguidos ensaios de avaliação do cultivo e uso, foi comercializada em 2003. Esse cultivar apresenta um ciclo breve com maturação dos grãos em 105 dias, a altura média da planta chega a 110 cm e seus grãos são longos, finos e translúcidos. Embora mais sensível ao acamamento, possui uma maior vantagem comparado a cultivares como o Primavera, em relação a doenças fúngicas (brusone) e mancha-de-grãos (EMBRAPA, 2002). De acordo com estudos realizados por Fonseca *et al* (2003), a colheita de BRS Soberana deve ser feita idealmente 25 dias após sua floração, e não ultrapassando uma semana após esse período, mantendo umidade dos grãos acima de 19% para garantir maior rendimento de grãos inteiros. Uma vantagem de BRS Soberana é a qualidade culinária de seus grãos mesmo após poucos dias da colheita. Em aproximadamente um mês ainda possuem características ideais e vantajosas em relação a cultivares como BRS Colosso, Aimoré, Bonança e Talento que precisam de um período superior a 70 dias de armazenagem para atingir tais condições (FONSECA & CASTRO, 2008).

Considerando tais informações, esse trabalho teve como objetivo principal avaliar e comparar os efeitos do estresse hídrico no crescimento e fisiologia de dois cultivares de arroz de sequeiro com potencial de cultivo no cerrado brasileiro. O conhecimento desenvolvido neste trabalho poderá ser utilizado para ampliar informações sobre esses cultivares, características comparativas entre eles, além de orientar os produtores quanto à escolha do cultivar e indicadores de estresse durante a produção.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

- Avaliar e comparar os efeitos fisiológicos da seca em dois cultivares de arroz de terras altas.

2.2. Específicos

- Avaliar rendimentos quânticos fotossintéticos através de medidas de fluorescência da clorofila *a*;
- Avaliar parâmetros biométricos como conteúdo relativo de água e massa fresca da parte aérea;
- Determinar a integridade celular através do dano de membrana;
- Mensurar a concentração de pigmentos como clorofilas totais e carotenoides;

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. *Design Experimental*

Para realização do experimento foram utilizadas dois cultivares de arroz (*Oryza sativa*). de terras altas fornecidas pela EMBRAPA (BRS Esmeralda e BRS Soberana). O substrato preparado possui uma proporção 1:2 de terra vegetal e areia lavada. Cada vaso contém duas plantas, que compõem a unidade amostral. Os cultivares foram mantidos em temperatura e exposição solar ambiente na casa de vegetação com rega próxima à capacidade de campo, quatro a cinco dias intercalados ao longo da semana para manutenção.

Após 60 dias de cultivo, as plantas foram separadas em dois tratamentos: um grupo de plantas foi mantido com irrigação à capacidade de campo (controle) e o outro grupo teve sua irrigação suspensa. Foram realizadas três repetições para cada tratamento e cultivar. O design experimental foi casualizado com um fatorial 2x2, sendo dois cultivares (Soberana e Esmeralda) e dois níveis de aporte hídrico (controle e seca). A fluorescência da clorofila *a* foi estimada com aproximadamente 3 dias de suspensão da rega. Quando as plantas em seca

apresentaram aspecto debilitado, com intenso enrolamento das folhas. A coleta para análises biométricas teve início quando, a partir da fluorescência, a Eficiência Quântica Efetiva (YII) dos cultivares em seca continha $\frac{1}{2}$ dos valores observados em YII do controle.

3.2. *Biometria e Pesagem*

Todas as repetições de cada cultivar (controle e seca) foram medidas e fotografadas frontalmente (vaso e parte aérea) além da copa. Após esse processo, cada repetição/indivíduo teve sua folha em maior expansão retirada e pesada. As duas extremidades da folha são descartadas, e apenas o limbo é usado para as análises de conteúdo relativo de água (CRA), dano de membrana (DM) e extração de pigmentos fotossintetizantes (EPF). Para cada um desses experimentos 200 mg do limbo foliar foram utilizados, exceto em EPF com apenas 100 mg. Os valores foram obtidos através de balança analítica ATX224, com recortes do limbo de aproximadamente 2 centímetros. Os fragmentos foram armazenados em papel alumínio, devidamente identificados a seu destino, e mantidos na geladeira a fim de preservar ao máximo suas condições até a realização dos experimentos. Ao final desse processo, a parte aérea da planta era podada rente ao solo, e pesada na balança de precisão UX6200H com o auxílio de um becker 2L. 1 grama de cada repetição foi preservada e congelada para análises futuras. Por fim, a soma desses elementos ou a totalidade de folhas corresponde a Massa Fresca (MF) em gramas da parte aérea da planta.

3.3. *Fluorescência da Clorofila a*

Para mensurar a fluorescência da Clorofila *a*, as plantas foram aclimatadas ao escuro por meia hora, o que leva a oxidação dos transportadores de elétrons no fotossistema II (PSII). Após aclimatadas ao escuro, utilizando o equipamento JrPAM (WALZ, Alemanha) foram determinados os valores de F_o (fluorescência mínima) e F_m (fluorescência máxima) no escuro, através de um pulso de saturação (SP). Após as medidas do escuro, foi ligada a luz actínica (AL) com intensidade $410 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Então, após a AL, foram realizados pulsos de

saturação para a determinação do rendimento quântico efetivo do PSII (YII), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR), quenching não fotoquímico (NPQ).

3.4. Conteúdo Relativo de Água

Para a determinação do Conteúdo Relativo de Água (CRA) foram utilizados 200 mg de folhas, referentes a massa fresca (MF). Em tubos Falcon de 14 ml o material foi mantido imerso em 9 ml de água destilada por 6h em temperatura ambiente. Após esse período, retirado o excesso de água, o material foi pesado novamente, correspondendo a massa túrgida (MT). Por fim, a massa seca (MS) foi estimada com o peso estabilizado do material após sua desidratação, em estufa 65°C com aeração forçada. O cálculo do conteúdo relativo de água foi feito conforme proposto por Cairo (1995), onde: $CRA\% = \frac{\text{Massa fresca} - \text{Massa Seca}}{\text{Massa Túrgida} - \text{Massa seca}} \times 100$.

$$C.R.A. = CRA = \frac{MF_1 - MS}{MF_2 - MS} \times 100 (\%)$$

3.5. Dano de Membrana

O dano de membrana (DM) das células vegetais foi estimado através do vazamento de eletrólitos pelo uso de um condutivímetro de bancada. Utilizando tubos Falcon, 200 mg de folha foram imersos em 20 ml de água destilada e mantidos sob temperatura ambiente por 6 horas. Após esse período, a primeira leitura (C_1) de condutividade foi feita inserindo o leitor do condutivímetro no extrato e considerando os valores presentes 1 segundo após a confirmação do equipamento. Em seguida o material foi fervido a 90°C em banho maria, por 1 hora. A segunda leitura (C_2) foi realizada após o resfriamento do conteúdo a temperatura ambiente. Por fim os valores do dano de membrana são expressos em % e obtidos através da equação abaixo, adaptada dos estudos de Blum & Ebercon (1981) e Shanahan *et al* (1990):

$$\%DM = \frac{C1}{C2} \times 100$$

3.6. Determinação do teor de Clorofilas e Carotenoides

Para a extração dos pigmentos, 100 mg de cada repetição foram submergidos em tubos Falcon com 5ml de acetona 80% e mantidos na geladeira por pelo menos 12 horas no escuro. Utilizando cubetas de Quartzo foram inseridos 3 ml do extrato para leitura em espectrofotômetro. A absorbância foi medida em três comprimentos de onda: 663, 646 e 470 seguindo a metodologia de Lichtenthaler *et al* (1983). Em acordo com a mesma metodologia, após a obtenção dos valores foram aplicados os cálculos propostos para acetona 80%, onde:

$$\begin{aligned} \text{Acetone (80\%, v/v):} \\ C_a &= 12.21A_{663} - 2.81A_{646} \\ C_b &= 20.13A_{646} - 5.03A_{663} \\ C_{x+c} &= \frac{1000A_{470} - 3.27C_a - 104C_b}{229} \end{aligned}$$

Posteriormente esse valor foi adaptado ao volume de 5 ml da amostra contendo 100 mg da massa fresca (MF) de limbo foliar, com os valores de cada pigmento *5/1000 e esse resultado é dividido pela massa fresca.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

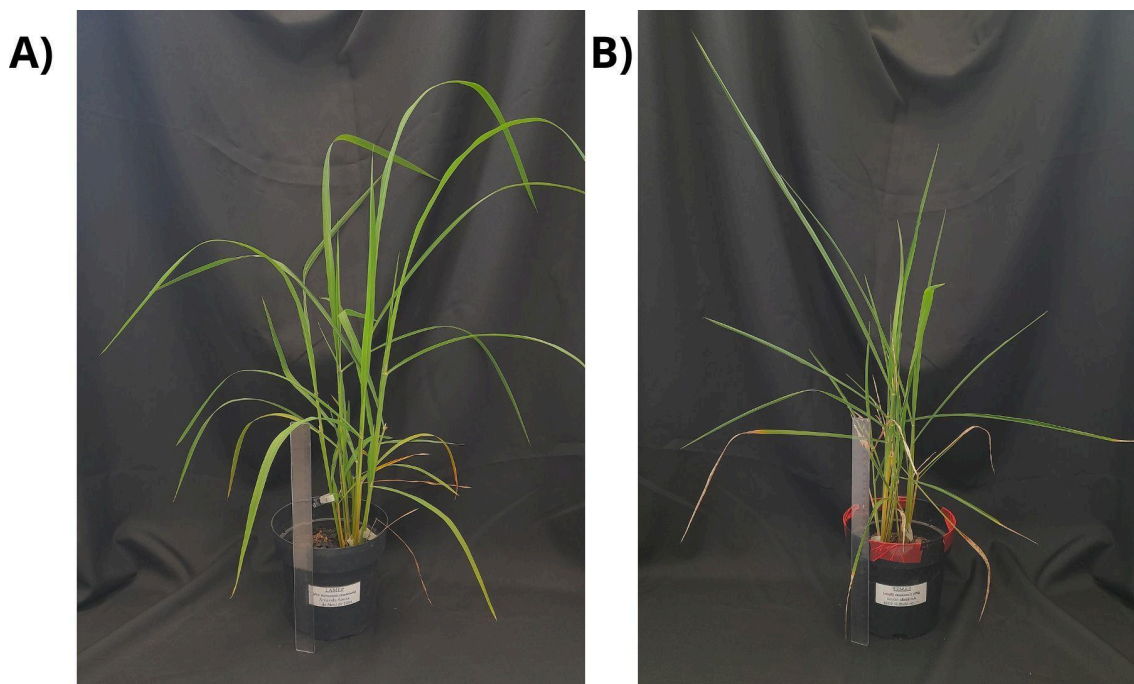


Figura 1. Cultivares de BRS Esmeralda antes da coleta, ao lado uma régua de 30 centímetros para escala.

A) Cultivar pertencente ao tratamento controle. B) Cultivar pertencente ao tratamento de seca.

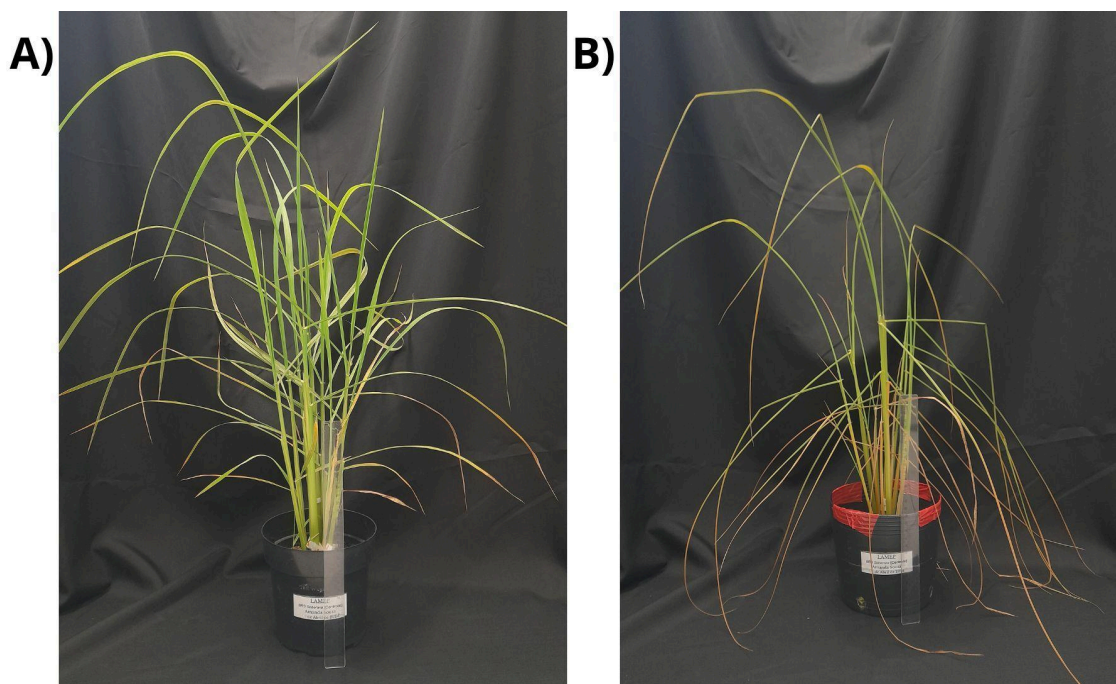


Figura 2. Cultivares de BRS Soberana antes da coleta, ao lado uma régua de 30 centímetros para escala.

A) Cultivar pertencente ao tratamento controle. B) Cultivar pertencente ao tratamento de seca.

As plantas em tratamento de seca exibiram um semblante divergente daquelas em rega constante. Seja o amarelamento de folhas jovens (Figura 1) ou o enrolamento foliar (Figura 2). A resistência à seca das plantas é um mecanismo genético multifatorial, que envolve simultaneamente diversas reações fisiológicas e metabólicas no organismo. Essas reações variam de acordo com o tempo de exposição e gravidade do estresse. Por esse motivo o estudo dessa vantagem requer tempo e diferentes abordagens para uma análise conjunta. Na literatura, a resposta primária ao estresse hídrico mais defendida é o fechamento dos estômatos. Sua abertura ou fechamento é resultado do turgor de células-guarda que o envolvem. Ação influenciada pela cascata de reações proveniente do ácido abscísico (PIRASTEH-ANOSHE *et al*, 2016). Enrolamento e queda foliar atrelado ao seu conteúdo relativo de água (COURTOIS *et al*, 2000). Além da ação de enzimas antioxidantes como a catalase, peroxidase e superóxido dismutase (LUM *et al*, 2014). De acordo com Xingming Sun *et al* (2022), a defesa das plantas à seca se inicia na estrutura das paredes celulares. Onde sua composição e crescimento é controlado por proteínas COBRA. No arroz essas proteínas pertencem a uma família de 11 componentes, onde o gene BC1 possui um papel fundamental na formação da parede celular e DROT 1 induzido pelo estresse abiótico influencia suas propriedades.

<i>Parâmetros</i>	<i>BRS Soberana</i>		<i>BRS Esmeralda</i>	
	<i>Controle</i>	<i>Seca</i>	<i>Controle</i>	<i>Seca</i>
<i>Massa Fresca (g)</i>	20,56±5,10	13,41±7,57	17,37±4,43	11,26±0,78
<i>Conteúdo Relativo de Água (%)</i>	78,78±16,60	63,44±12,25	87,14±8,005	70,27±6,28
<i>Dano de Membrana (%)</i>	9,067±1,07	8,78±2,22	7,74±0,52	5,95±0,92
<i>Clorofila a (mg/g MF)</i>	0,12±0,016	0,31±0,035	0,65±0,10	0,23±0,024
<i>Clorofila b (mg/g MF)</i>	0,037±0,004	0,11±0,044	0,25±0,054	0,076±0,008
<i>Clorofilas Totais (mg/g MF)</i>	0,16±0,021	0,45±0,066	0,91±0,15	0,30±0,032
<i>Carotenoides (mg/g MF)</i>	14,65±3,31	45,83±4,96	85,82±12,13	33,02±3,75

Tabela 1. Parâmetros biométricos em dois cultivares de arroz de terras altas, sob irrigação (controle) e estresse hídrico (seca). Os valores representam a média e desvio padrão de três réplicas por tratamento.

Nos parâmetros biométricos (Tabela 1), os valores de massa fresca (MF) apontam que ambos os cultivares sofreram redução de sua biomassa após a seca. Os dados mostram que apesar de BRS Esmeralda apresentar MF relativamente menor, teve maiores índices de conteúdo relativo de água (CRA). Apesar de possuir uma diferença de 16,87 entre controle e tratamento comparado a 15,34 de Soberana, o menor desvio padrão em seus valores sustenta a preservação do CRA de Esmeralda, cultivar que também exibiu menor valor no dano de membrana. Ainda assim, ambos os valores são intrigantes quando relacionados com a redução de pigmentos, por exemplo, abre também a possibilidade de erros durante as leituras. O conteúdo relativo de água corresponde à quantidade de água presente no tecido vegetal em determinado período, comparado com sua máxima retenção possível. O teor de água nas partes verdes das plantas geralmente se encontra entre 80 a 90%, mensurado pelo teor relativo e em déficit de saturação hídrica (GUIMARÃES & STONE, 2008). O índice hídrico dos tecidos vegetais sofre alterações de acordo com os estímulos do ambiente, como a temperatura e maior necessidade de transpiração além da disponibilidade de água no solo. A integridade das membranas celulares, estimada pelo vazamento de eletrólitos em meio extracelular, é fundamental para avaliar o funcionamento do organismo, perda de íons, água e, nesse caso, capacidade de resistência à seca (BLUM & EBERCON, 1981).

No controle de ambos os cultivares as taxas de pigmentos apresentam valores maiores em BRS Esmeralda, em especial os carotenoides. Entretanto, no estresse hídrico há uma queda considerável desse cultivar e abaixo dos valores observados em Soberana para o mesmo tratamento. Observando apenas BRS Soberana, é possível notar um efeito contrário: após o tratamento de seca há um certo aumento nas taxas de pigmentos, sobretudo de carotenoides. As clorofilas são pigmentos fundamentais para a realização da fotossíntese. Direcionam a energia luminosa dos sistemas antena para os centros de reação através da cadeia transportadora de elétrons. Onde posteriormente a conversão da energia luminosa em

energia química será concretizada. Sendo assim, as clorofilas são vitais para obtenção de ATP e NADPH intrínsecos a fixação de CO₂ pelo ciclo de Calvin-Benson. Portanto, vitais à obtenção de carboidratos para o desenvolvimento da planta. Os carotenoides são pigmentos acessórios da fotossíntese e atuam na fotoproteção através do quenching de excitação da clorofila. Dissipando o excesso de energia luminosa na forma de calor e impedindo a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) nos centros de reação (SWAPNIL *et al*, 2021). Evitando danos às células vegetais e seus componentes, como nas proteínas e no DNA (MAOKA, 2020). Portanto, a fotoquímica e demais reações metabólicas da planta são diretamente influenciadas pela disponibilidade desses pigmentos, motivo pelo qual a determinação quantitativa dos mesmos é importante.

Comparando o que foi observado no experimento com informações obtidas na literatura. O conteúdo relativo de água em BRS Soberana foi inferior ao outro cultivar, BRS Esmeralda. O que consequentemente reflete no enrolamento expressivo de suas folhas contrastando com o aspecto visual mais ameno de Esmeralda mesmo sob seca. Em acordo com os estudos de Courtois *et al* (2000), onde a menor disponibilidade de água induz a uma resposta fisiológica de enrolamento. O enrolamento das folhas é outro mecanismo conhecido de resposta à seca, assim como a orientação e dobramento foliar (KADIOGLU & TERZI, 2007). Wang *et al* (2023), indicam que esse comportamento ocorre antes do fechamento estomático com o objetivo de reduzir a entrada excessiva de raios solares e a perda de água por transpiração. Onde tal ação previne também danos irreversíveis à folha. No arroz o potencial osmótico, hídrico e a temperatura da folha são os fatores que induzem essa resposta (EKANAYAKE *et al*, 1993; DINGKUHN *et al*, 1999; O'TOOLE & CRUZ, 1980). Zhang *et al* (2018) descobriram que as plantas com esse comportamento possuem células buliformes e esclerenquimáticas menores. Além de alterações no diâmetro do xilema, resultando em menor

condutividade hídrica. Características essas que estão presentes nas plantas resistentes ao estresse hídrico e que podem ser geneticamente manipuladas.

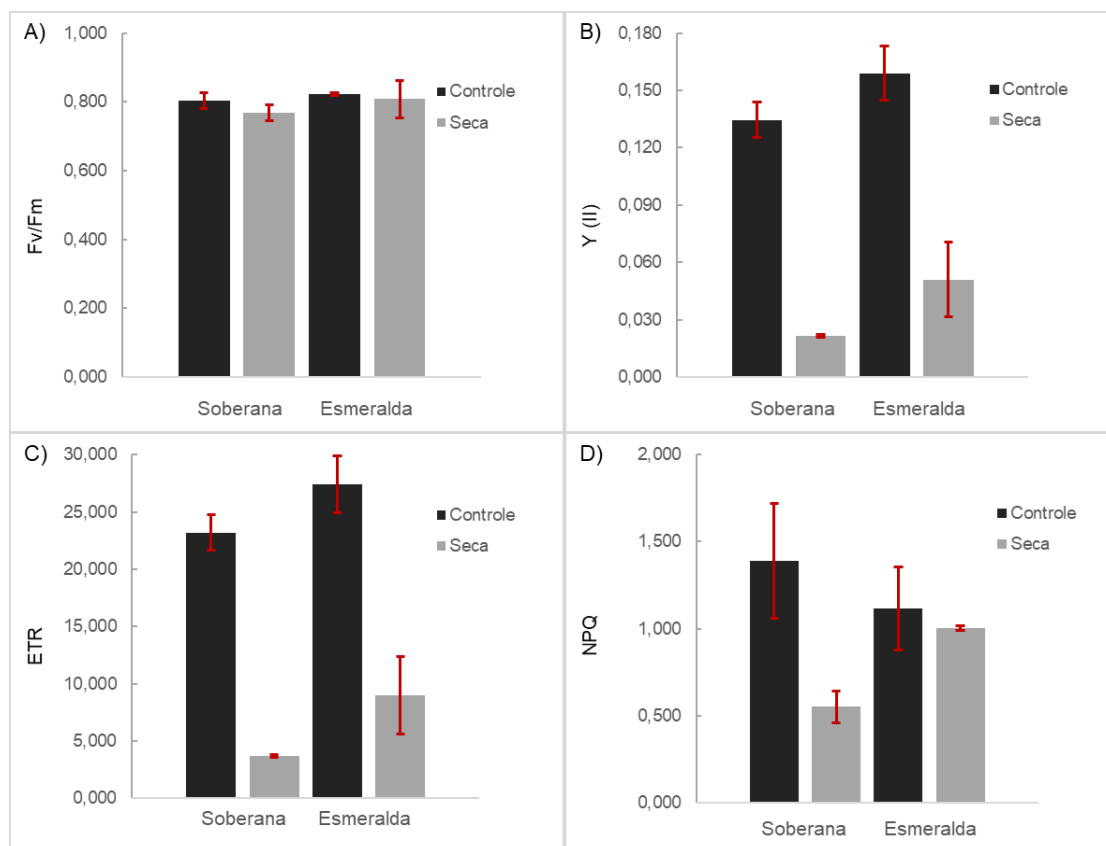


Figura 3. Fluorescência da clorofila *a* em dois cultivares de arroz de terras altas. Ambos em tratamento de irrigação (controle) e suspensão hídrica (seca). A) Eficiência quântica potencial do PSII. B) Eficiência quântica efetiva do PSII. C) Taxa aparente de transporte de elétrons ($\mu\text{mol m}^2/\text{s}$). D) Quenching não fotoquímico.

Os gráficos presentes na Figura 3 ilustram o conjunto de mecanismos da fotoquímica que se relacionam, inclusive revelam melhor desempenho do aparato fotossintético de BRS Esmeralda em comparação a BRS Soberana. A eficiência quântica potencial (F_v/F_m) não apresentou diferenças entre os cultivares, e seus respectivos tratamentos, o que demonstra que não houve fotoinibição. Isso é resultado dos demais mecanismos fotoquímicos. A eficiência quântica efetiva (Y_{II}) em BRS Esmeralda foi maior em relação a BRS Soberana, 11,32% no controle e especialmente sob estresse hídrico onde essa diferença chegou a 58,82%. O mesmo cenário foi observado na taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) do PSII, justamente

pelo transporte de elétrons influenciar diretamente o YII. Importante destacar que YII não possui unidade de medida diferentemente do ETR, por esse motivo através da taxa de transporte de elétrons é possível chegar a valores precisos da fotossíntese, dado que uma molécula de oxigênio necessita de 4 elétrons para ser produzida (TAIZ & ZEIGER *et al*, 2017). Ademais, os valores observados no gráfico C correspondem a dezena, mas por uma questão de proporção foi preciso manter em dezena de milhar. Estudo desenvolvido por OTT *et al* (1999), traz a hipótese de que a cadeia transportadora de elétrons na fotossíntese seria regulada por quenching fotoquímico e não fotoquímico. Dessa forma, a taxa de transporte de elétrons observada nos cultivares, se limita a atuação do NPQ em proteger o aparato fotossintético da planta.

O quenching não fotoquímico (NPQ) do tratamento controle foi mais requisitado no cultivar Soberana do que em Esmeralda. Subentende maior necessidade de fotoproteção nesse cultivar mesmo em condições hídricas favoráveis. Nos tratamentos de seca, o NPQ de BRS Soberana é inferior ao observado na BRS Esmeralda. Avaliando apenas o cultivar Esmeralda, comparando-o em ambos os tratamentos, não há queda significativa na ação desse mecanismo. O quenching não fotoquímico é responsável pela fotoproteção em condições de estresse. De acordo com Chauhan *et al* (2023), o NPQ atua dissipando o excesso de energia luminosa na forma de calor, por meio do ciclo das xantofilas sob a ação da enzima epoxidase. A violaxantina é convertida em anteraxantina e posteriormente em zeaxantina. Gerando alteração na conformação de proteínas nos complexos antena, induzindo a dissipação do calor. Zhao *et al* (2017), sugere que menores quantidades de pigmentos refletem numa ação favorável do NPQ para otimizar os fotossistemas, e contenção aos danos causados por alta incidência de luz. Informação que pode ser relacionada com os resultados obtidos nesse mecanismo com as taxas de pigmentos presentes em BRS Esmeralda.

A fluorescência corresponde a energia luminosa não utilizada na fotossíntese tampouco convertida em calor pelas clorofilas ou transferida entre outras moléculas. Essa energia é reemitida em fótons para que a clorofila retorne a seu estado-base (TAIZ & ZEIGER *et al*, 2017).

5. CONCLUSÃO

O arroz de terras altas apresenta vantagens em relação a sua resistência hídrica e especificidades de cultivo perante o arroz de solo inundado. Possibilitando sua produção em diferentes condições climáticas e consequentemente em uma ampla gama de regiões. Por meio dos experimentos realizados e dos resultados obtidos, foi expresso que apesar da perda de biomassa presente em ambos os cultivares após o tratamento de seca, BRS Esmeralda apresentou uma resposta mais favorável à sua resistência em comparação ao outro cultivar, BRS Soberana. Contudo Soberana exibiu valores intrigantes e inversos na taxa de pigmentos comparados ao que foi observado em Esmeralda. Na literatura, a resistência do arroz está associada a diferentes fatores, seja a estrutura de suas raízes, paredes celulares, tamanho de determinadas células, quantidade de pigmentos ou capacidade de enrolamento foliar. Por esse motivo, há necessidade no aprofundamento dos estudos sobre resistência hídrica do arroz de terras altas, e a manipulação dessas características em diferentes cultivares. Os eventos climáticos extremos são cada vez mais frequentes e inesperados. E os mecanismos por trás dessas adaptações fisiológicas, de maneira basal e aprofundada, ainda são desconhecidos. A busca por essas informações são cruciais para assegurar uma produção agrícola compatível com as demandas populacionais apesar dos desafios climáticos.

6. REFERÊNCIAS

- AHMAD, A., DIWAN, H., & ABROL, Y. P. (2009). **Global Climate Change, Stress and Plant Productivity. Abiotic Stress Adaptation in Plants**, 503–521. doi:10.1007/978-90-481-3112-9_23
- AYDINALP, Cumhur; CRESSER, Malcolm S. **The effects of global climate change on agriculture**. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, v. 3, n. 5, p. 672-676, 2008.
- BLUM, A.; EBERCON, A. **Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat**. Crop Science, v. 21, p. 43-47, 1981.
- BERNIER, J., ATLIN, G. N., SERRAJ, R., KUMAR, A., & SPANER, D. (2008). **Breeding upland rice for drought resistance**. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88(6), 927–939. doi:10.1002/jsfa.3153.
- CAIRO, P. A. R. **Relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista: UESB, 1995. 32p.
- CASTRO, A. P. **BRS Esmeralda: Cultivar De Arroz De Terras Altas Com Elevada Produtividade E Maior Tolerância À Seca**. - Portal Embrapa, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/978938/brs-esmeralda-cultivar-de-arroz-de-terras-altas-com-elevada-produtividade-e-maior-tolerancia-a-seca>.
- COURTOIS, Brigitte et al. **Mapping QTLs associated with drought avoidance in upland rice**. Molecular breeding, v. 6, p. 55-66, 2000.
- CHAUHAN, Jyoti *et al.* **Plant photosynthesis under abiotic stresses: Damages, adaptive, and signaling mechanisms**. Plant Stress, p. 100296, 2023.
- EMBRAPA, 2002. **BRS Soberana: Genética Embrapa: cultivar de arroz de terras altas**. - Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/216301/brs-soberana-genetica-embrapa-cultivar-de-arroz-de-terras-altas>.
- FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. (ed.). **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. Brasília, DF: Embrapa; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021.
- FONSECA, J. R., CUTRIM, V. D. A., GUSMÃO, A. R. E., & FARIA, J. M. (2008). **Descritores botânicos, agronômicos e fenológicos do arroz (Oryza sativa L.)**.
- FONSECA, J. R.; CASTRO, E. da M. de; ZIMMERMANN, F. J. P.; CUTRIM, V. dos A., **“BRS Colosso” e “BRS Soberana” - características e pontos de colheita**. 2003. - Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/212399/brs-colosso-e-brs-soberana---caracteristicas-e-pontos-de-colheita>.
- FONSECA, J. R.; CASTRO, E. da M. de. **Maturação pós-colheita de cultivares de arroz de terras altas**. Core.ac.uk, 2008. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/45490260>.

GREGORIO, G. B.; SENADHIRA, D. **Genetic analysis of salinity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.)**. Theoretical and applied Genetics, v. 86, p. 333-338, 1993.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. **Métodos de avaliação das condições hídricas das plantas**. 2008.

HABIBI, G. *et al.* (2014). **Hydrogen Peroxide (H₂O₂) Generation, Scavenging and Signaling in Plants**. Oxidative Damage to Plants, 557–584.
doi:10.1016/b978-0-12-799963-0.00019-8.

HEATH, R. L.; PACKER, L. **Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and Stoichiometry of fatty acid peroxidation**. Archives of Biochemistry and Biophysics, v. 125, n. 1, p. 189 – 198. 1968.

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

KLUTHCOUSKI, J.; PINHEIRO, B. da S.; YOKOYAMA, L. P. **O arroz nos sistemas de cultivo do cerrado**. (1995).

KADIOGLU, Asim; TERZI, Rabiye. **A dehydration avoidance mechanism: leaf rolling**. The Botanical Review, v. 73, n. 4, p. 290-302, 2007.

LICHTENTHALER, H. K.; WELLBURN, A. R. **Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents**. Biochemical Society transactions, v. 11, n. 5, p. 591–592, 1 out. 1983.

LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R.; GONZALEZ MIGUEZ, J. D. (Ed.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. 397p. Cap. 7, p.169-189.

LUM, M. S. *et al.* **Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice**. JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences, v. 24, n. 5, 2014.

MANABE, S. (2019) ‘**Role of greenhouse gas in climate change**’, Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography, 71(1), p. 1620078. Available at: <https://doi.org/10.1080/16000870.2019.1620078>.

MAOKA T. (2020). **Carotenoids as natural functional pigments**. Journal of natural medicines, 74(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11418-019-01364-x>.

MAXWELL, K., & JOHNSON, G. N. (2000). **Chlorophyll fluorescence—a practical guide**. Journal of Experimental Botany, 51(345), 659–668. doi:10.1093/jxb/51.345.659.

NAHAR, *et al.* **Morphophysiological and molecular effects of drought stress in rice**. Ann Plant Sci, v. 5, n. 9, p. 1409-1416, 2016.

OLIVEIRA, I. J., BARRETO, J. F., & de CASTRO, A. P. (2018). **BRS Esmeralda: cultivar de arroz de sequeiro para o Amazonas**. Portal Embrapa. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1099072/brs-esmeralda-cultivar-d-e-arroz-de-sequeiro-para-o-amazonas>.

OTT, Thomas *et al.* **Regulation of the photosynthetic electron transport chain**. Planta, v. 209, p. 250-258, 1999.

PIRASTEH-ANOSHEH, H., SAED-MOUCHESHI, A., PAKNIYAT, H., & PESSARAKLI, M. (2016). **Stomatal responses to drought stress**. Water Stress and Crop Plants, 24–40. doi:10.1002/9781119054450.ch3

SILVA, F. O. & WANDER, A. E. **Estatística de Produção**. Portal EMBRAPA, 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/estatistica-de-producao#:~:text=Segundo%20a%20Embrapa%20Arroz%20e,em%201%2C6%20milh%C3%A3o%20de>>.

SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, NR de A. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006.

SHANAHAN, J. F., EDWARDS, I. B., QUICK, J. S., FENWICK, J. R. **Membrane thermostability and heat tolerance of spring wheat**. Crop Science, v. 30, p. 247-251, 1990.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. **Arroz irrigado por aspersão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 6 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 64).

SUN, Xingming *et al.* **Natural variation of DROT1 confers drought adaptation in upland rice**. Nature Communications, v. 13, n. 1, p. 4265, 2022.

SWAPNIL, P. *et al.* **Vital roles of carotenoids in plants and humans to deteriorate stress with its structure, biosynthesis, metabolic engineering and functional aspects**. Current Plant Biology, v. 26, p. 100203, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 719 p.

TERRA, T. G. R., LEAL, T. C. A. de B., RANGEL, P. H. N., BARROS, H. B., & Santos, A. C. dos .. (2010). **Tolerance to drought in rice cultivars in Southern Cerrado area from Tocantins State, Brazil**. Acta Scientiarum. Agronomy, 32(4), 715–719. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.5528>

TERRA, *et al.* **Características de tolerância à seca em genótipos de uma coleção nuclear de arroz de terras altas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 50, n. 9, p. 788–796, set. 2015.

UGA, Y., SUGIMOTO, K., OGAWA, S. *et al.* **Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions**. Nat Genet 45, 1097–1102 (2013). <https://doi.org/10.1038/ng.2725>

VENUPRASAD, R. *et al.* **Response to two cycles of divergent selection for grain yield under drought stress in four rice breeding populations**. Field Crops Research, v. 107, n. 3, p. 232-244, 2008.

WANG, Xiaoxiao et al. **Leaf rolling precedes stomatal closure in rice (*Oryza sativa*) under drought conditions**. Journal of Experimental Botany, v. 74, n. 21, p. 6650-6661, 2023.

WILLEKENS, H. *et al.* (1997). **Catalase is a sink for H₂O₂ and is indispensable for stress defence in C3 plants**. The EMBO Journal, 16(16), 4806–4816.
doi:10.1093/emboj/16.16.4806.

ZHANG, Jinshan et al. **Knockdown of rice microRNA166 confers drought resistance by causing leaf rolling and altering stem xylem development**. Plant physiology, v. 176, n. 3, p. 2082-2094, 2018.

ZHAO, Xia et al. **Non-photochemical quenching plays a key role in light acclimation of rice plants differing in leaf color**. Frontiers in plant science, v. 7, p. 1968, 2017.

PARECER FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Discente: AMANDA APARECIDA SOUSA

Título: "Efeitos do estresse hídrico em dois cultivares de arroz e suas implicações para as mudanças climáticas e segurança alimentar"

Orientador: Prof. Dr. Milton Costa Lima Neto

Curso/Habilitação: Bacharelado em Ciências Biológicas/Biologia Marinha

COMISSÃO EXAMINADORA	CONCEITO
Prof. Dr. Milton Costa Lima Neto	Aprovada
Prof. Dr. Yoannis Dominguez Rodriguez	Aprovada

PARECER:

Aprovada em AD SUGESTÕES E CORREÇÕES DO EXEMPLO.

CONCEITO FINAL:

A Comissão Examinadora abaixo assinada conclui que a discente **Amanda Aparecida Sousa** obteve o seguinte conceito:

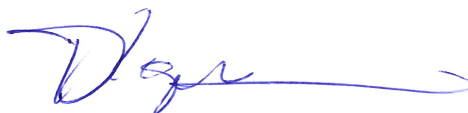
☒ APROVADO

☐ REPROVADO

São Vicente, 05 de dezembro de 2024.



Prof. Dr. Milton Costa Lima Neto



Prof. Dr. Yoannis Dominguez Rodriguez