

## ESTRESSE TÉRMICO EM ESTÁDIOS REPRODUTIVOS DO ARROZ: IMPLICAÇÕES NAS TROCAS GASOSAS E QUALIDADE INDUSTRIAL

Natan da Silva Fagundes<sup>1</sup>; Luana Bueno Longaray<sup>2</sup>; Mirege Robaina Viviam<sup>3</sup>; Ana Carolina de Oliveira Alves<sup>4</sup>; Sidnei Deuner<sup>5</sup>.

Palavras-chave: Arroz irrigado, Estresse térmico, Trocas gasosas, Estádios reprodutivos, Tolerância ao calor.

### Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos principais alimentos do mundo, sendo a base da dieta de mais da metade da população global. A produção anual é cerca de 500 milhões de toneladas de arroz beneficiado, cultivado em aproximadamente 163 milhões de hectares em mais de 100 países, com uma produtividade média de 4.095,96 kg ha<sup>-1</sup> (TAO *et al.*, 2019; FAOSTAT, 2024). O oitavo levantamento da cultura de arroz, da safra 2024/25, indica que, no Brasil, houve um aumento de área plantada de 6,9% em relação à safra passada. A produtividade média no Brasil foi de 7.071 kg ha<sup>-1</sup>, e na estimativa de produção, os números nacionais apontam para um aumento de 14,9% em relação à safra passada (CONAB, 2025).

Apesar da alta produtividade, o arroz é sensível a fatores abióticos, como a temperatura. A faixa ideal de temperatura varia entre 20 °C e 35 °C, dependendo do estádio fenológico e da cultivar (EMBRAPA, 2024). No entanto, o aumento das temperaturas médias globais, causado pelas mudanças climáticas, já atingiram esses limites em muitas regiões produtoras (KRISHNAN *et al.*, 2011). O estresse térmico, especialmente durante os estágios reprodutivos, afeta negativamente a polinização e aumenta a esterilidade das espiguetas, comprometendo o rendimento. Projeções indicam que a produção mundial de arroz pode cair até 41% até o final do século 21 (PERAUDEAU *et al.*, 2015; SHI *et al.*, 2017).

Uma das estratégias para mitigar os impactos das altas temperaturas é o uso de cultivares mais tolerantes ao calor. A tolerância térmica envolve adaptações fisiológicas e bioquímicas reguladas geneticamente, como a produção de proteínas de choque térmico e mecanismos de eliminação de espécies reativas de oxigênio (MAESTRI *et al.*, 2002; LEI *et al.*, 2018), permitindo a manutenção da função vegetal mesmo sob estresse.

Com o objetivo de compreender melhor as respostas fisiológicas de diferentes cultivares de arroz expostas a temperaturas elevadas, este estudo buscou avaliar os parâmetros de trocas gasosas em três cultivares com distintos níveis de tolerância ao estresse térmico.

### Material e Métodos

O experimento foi conduzido em duas casas de vegetação pertencentes ao Departamento de Botânica da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Capão do Leão/RS, sendo uma climatizada e outra não climatizada (pequenas estufas sustentadas por tubos de PVC e cobertas com filme de polietileno transparente de 150 micras, com duas aberturas laterais a fim de garantir as trocas gasosas entre o ambiente interno e externo, com monitoramento da temperatura interna com Datalogger digital AKSO, modelo AK172). Sementes das cultivares de arroz IRGA 424 RI, SCSBRS Dueto e Nagina 22 (classificada como tolerante ao estresse térmico, segundo POLI *et al.*, (2013), foram semeadas em vasos plásticos com capacidade para 8 litros, preenchidos com solo típico para o cultivo do arroz irrigado e, após a germinação, três plantas foram mantidas em cada vaso, cultivadas em sistema de inundação do solo a partir do estádio fenológico V3. A adubação

<sup>1</sup> Engº Agrônomo, mestrando no PPG em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), natanfagundes@gmail.com

<sup>2</sup> Engª Agrônoma, mestrandona no PPG em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), buenolongaray@gmail.com

<sup>3</sup> Engª Agrônoma, mestrandona no PPG em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), viviamirege@gmail.com

<sup>4</sup> Engª Agrônoma, mestrandona no PPG em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), aco.alves@outlook.com

<sup>5</sup> Engº Agrônomo, Prof. Dr., Universidade Federal de Pelotas (UFPel), sdeuner@yahoo.com.br

seguiu as recomendações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Sul do Brasil (SOSBAI, 2022).

As três cultivares foram mantidas em ambas as casas de vegetação durante todo estádio vegetativo e, ao atingirem o estádio reprodutivo R1 (diferenciação da panícula) e R4 (antese), foram submetidas aos seguintes tratamentos: Controle – CT (plantas sempre mantidas em casa de vegetação climatizada); Estresse Térmico Contínuo - ETC (plantas mantidas em estufa não climatizada para induzir estresse térmico); Estresse Térmico em R1 – ET/R1 (plantas cultivadas em casa de vegetação climatizada e transferidas para estufa não climatizada ao atingirem o estádio R1); e, Estresse Térmico em R4 - ET/R4 (plantas cultivadas em casa de vegetação climatizada e transferidas para estufa não climatizada ao atingirem o estádio R4).

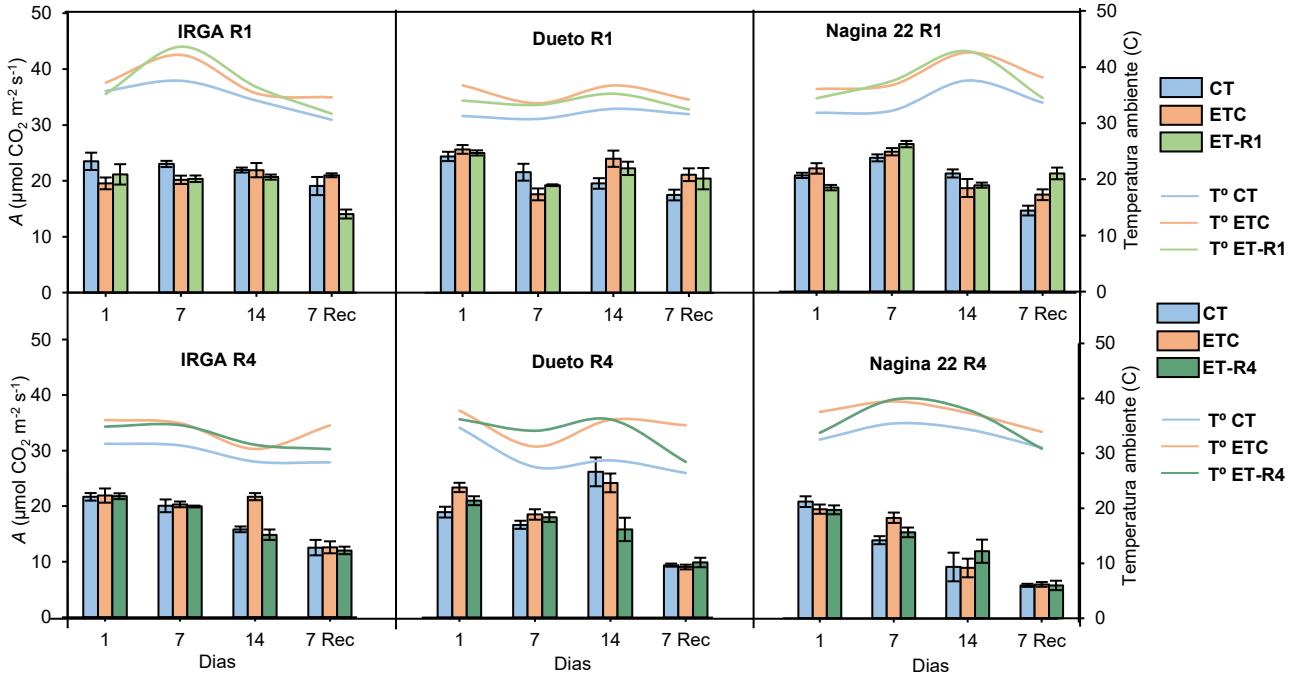
A fotossíntese (assimilação líquida de CO<sub>2</sub>) foi avaliada com analisador portátil de gases infravermelho (LI6400, Licor), entre 8 e 10 horas da manhã nos períodos de 01, 07 e 14 dias de submissão aos tratamentos. A recuperação avaliada aos 07 dias após o estresse foi caracterizada pelo retorno das plantas dos tratamentos Estresse Térmico em R1 e Estresse Térmico em R4 a casa de vegetação climatizada. Ao atingirem a maturação fisiológica, foi realizada a colheita manual das plantas de cada vaso e os grãos quantificados quanto ao percentual de gessados e barriga branca. As amostras de grãos em casca foram limpas, descascadas e polidas em Engenho de Provas Zaccaria (Modelo PAZ-1-DTA, Indústria de Máquinas Zaccaria S/A, São Paulo, Brasil). A quantificação de grãos gessados e barriga branca foi realizada na empresa Cartec Tecnologia, na cidade de Pelotas-RS, através do equipamento MachVision (modelo Rice Analyzer). Os dados de barriga branca e gessados foram analisados quanto à normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk, e atendendo aos pressupostos, procedeu-se a análise da variância (ANOVA) utilizando o software Rbio (BHERING, 2017). Após, utilizou-se um teste de Tukey (5%) para comparação de médias.

## Resultados e Discussão

Com base nas avaliações, observou-se que a cultivar IRGA 424 RI não apresentou variações significativas na assimilação líquida de CO<sub>2</sub> aos 0, 7 e 14 dias após o início do estresse térmico no estádio R1 (Figura 1). No entanto, aos 7 dias pós-estresse (7 Rec), houve redução, especialmente no tratamento com estresse apenas nesse estádio, o que evidencia efeitos do estresse térmico sobre o desempenho fisiológico das plantas, conforme já relatado por Wu, Cui e Fahad, (2022). No estádio R4, a queda na assimilação foi observada a partir dos 14 dias, intensificando-se no tratamento restrito ao estresse no R4, fase fenológica considerada crítica para a fotossíntese, segundo Aryan et al., (2025).

A cultivar Dueto apresentou redução da assimilação de CO<sub>2</sub> aos 7 dias após o início do estresse no estádio R1, aos 14 dias após o início do estresse a queda não se manteve, apesar dos resultados apresentados serem menores em comparação ao início do estresse. Em contrapartida, o estádio R4 foi mais sensível para essa cultivar, com queda mais acentuada da assimilação aos 14 dias no tratamento com estresse apenas em R4, apesar do acréscimo nos valores, que pode ser explicado pelo aumento da temperatura. Aos 7 dias pós-estresse, observou-se declínio geral nas médias em comparação à avaliação anterior. Esse comportamento reforça que a resposta ao estresse térmico é dependente do estádio reprodutivo, como apontado por Diaz e Varon, (2013), que relataram impactos negativos na fotossíntese tanto na iniciação da panícula quanto no enchimento dos grãos.

A cultivar Nagina 22 apresentou, no estádio R1, a maior redução de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> aos 14 dias após o início do estresse térmico, em comparação à avaliação anterior. No estádio R4, a queda foi progressiva ao longo das avaliações, mesmo sendo considerada tolerante ao estresse térmico. De acordo com Radhakrishna, Chenniappan e Dhashnamurthi, (2018), a fotossíntese é mais afetada durante a antese do que na iniciação da panícula, o que ajuda a explicar os efeitos mais intensos observados nesse estádio.



**Figura 1:** A - Taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$ ; de três cultivares de arroz, em resposta a elevada temperatura em dois estádios fenológicos (R1 e R4). Tratamentos: CT - Controle; ETC - Estresse Térmico Contínuo; ET-R1 – Estresse Térmico em R1; e ET-R4 – Estresse Térmico em R4. Barras de erro correspondem ao erro padrão da média de 6 repetições. Capão do Leão – RS, 2024/2025.

Analizando os dados, observa-se que o estresse térmico contínuo impactou negativamente a incidência de grãos gessados e com barriga branca em todas as cultivares avaliadas (Tabela 1). A cultivar Nagina 22 apresentou diferença significativa de grãos gessados e barriga branca, em relação as demais cultivares, evidenciando menor qualidade de grão, apesar de sua reconhecida tolerância ao estresse térmico e hídrico, conforme relatado por She *et al.*, (2012).

**Tabela 1:** Porcentagem de grãos e barriga branca de três cultivares de arroz, em resposta a elevada temperatura nos estádios fenológicos R1 e R4.

	Gessados (%)				Barriga Branca (%)			
	CT	ETC	ET - R1	ET - R4	CT	ETC	ET - R1	ET - R4
<b>IRGA</b>	1,41 Bb	7,04 Ac	1,98 Bb	0,79 Cc	1,22 Bb	7,11 Ac	2,10 Bb	1,50 Bc
<b>DUETO</b>	0,20 Cc	11,02 Ab	1,16 Bb	1,55 Bb	1,21 Bb	11,22 Ab	2,20 Bb	3,26 Bb
<b>NAGINA</b>	29,72 Ba	43,71 Aa	28,23 Ba	41,72 Aa	15,22 Aa	15,16 Aa	13,59 Aa	14,03 Aa

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). Letras maiúsculas compararam tratamentos dentro da cultivar; letras minúsculas compararam cultivares dentro do tratamento.

Para a cultivar IRGA 424 RI, o efeito do estresse térmico foi mais acentuado no estádio R1, apresentando diferença significativa em comparação ao R4, tanto para a variável gessados como para barriga branca. Já a cultivar Dueto não apresentou diferença significativa entre os estádios R1 e R4 para as variáveis gessados e barriga branca.

## Conclusões

O estresse térmico impacta negativamente os processos fisiológicos e a qualidade dos grãos de arroz, principalmente a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  durante o estádio fenológico R4 (antese). As cultivares responderam de forma diferenciada ao estresse, apresentando variações na qualidade dos grãos, o que sugere potenciais diferenças de tolerância, mas que ainda necessitam de mais estudos.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal – UFPel.

## Referências

- ARYAN, S.; GULAB, G.; HABIBI, N.; AMIN, M. W.; HABIBI, S.; IRIE, K. Physiological Responses of Rice Varieties to Heat Stress: Exploring Photosynthetic Efficiency, Oxidative Stress, and Yield Resilience. **Discover Plants**, v. 2, n. 1, p. 152, 20 maio 2025.
- BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187–190, jun. 2017.
- DIAZ, H. R.; VARON, G. G. Response of rice plants to heat stress during initiation of panicle primordia or grain-filling phases. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 9, n. 3, p. 318–325, 2013.
- EMBRAPA. **Clima - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/caracteristicas/clima>>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- FAOSTAT. **Crops and livestock products primary**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- KRISHNAN, P.; RAMAKRISHNAN, B.; REDDY, K. R.; REDDY, V. R. Chapter three - High-Temperature Effects on Rice Growth, Yield, and Grain Quality. *Em: SPARKS, D. L. Advances in Agronomy*. [s.l.] Academic Press, 2011. p. 87–206.
- LEI, G.; ZHANG, H.-Y.; WANG, Z.-H.; WEI, L.-X.; FU, P.; SONG, J.-B.; FU, D.-H.; HUANG, Y.-J.; LIAO, J.-L. High Nighttime Temperature Induces Antioxidant Molecule Perturbations in Heat-Sensitive and Heat-Tolerant Coisogenic Rice (*Oryza sativa*) Strains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 45, p. 12131–12140, 14 nov. 2018.
- MAESTRI, E.; KLUEVA, N.; PERROTTA, C.; GULLI, M.; NGUYEN, H. T.; MARMIROLI, N. Molecular Genetics of Heat Tolerance and Heat Shock Proteins in Cereals. **Plant Molecular Biology**, v. 48, n. 5, p. 667–681, 1 mar. 2002.
- PERAUDEAU, S.; LAFARGE, T.; ROQUES, S.; QUIÑONES, C. O.; CLEMENT-VIDAL, A.; OUWERKERK, P. B. F.; VAN RIE, J.; FABRE, D.; JAGADISH, K. S. V.; DINGKUHN, M. Effect of carbohydrates and night temperature on night respiration in rice. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 13, p. 3931–3944, 1 jul. 2015.
- POLI, Y.; BASAVA, R. K.; PANIGRAHY, M.; VINUKONDA, V. P.; DOKULA, N. R.; VOLETI, S. R.; DESIRAJU, S.; NEELAMRAJU, S. Characterization of a Nagina22 Rice Mutant for Heat Tolerance and Mapping of Yield Traits. **Rice**, v. 6, n. 1, p. 36, dez. 2013.
- RADHAKRISHNA, N. K. A.; CHENNIAPPAN, V.; DHASHNAMURTHI, V. Combined Effects of Drought and Moderately High Temperature on the Photosynthesis, PS II Photochemistry and Yield Traits in Rice (*Oryza Sativa L.*). **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 23, n. 3, p. 408–415, set. 2018.
- SHE, K.-C.; YAESHIMA, M.; KOUMOTO, T.; OHNUMA, M.; HIROMASA, T.; HIRAI, M.; MATSUNAGA, T.; TASHIRO, R.; SASAKI, T.; KUSANO, H.; SHIMADA, H. High-Temperature Stress Susceptibility of Representative Japonica Rice Cultivars Derived from Norin-22: Inadequate ATP Supply during Seed Development May Lead to Severe Damage. **Plant Biotechnology**, v. 29, n. 5, p. 465–471, 2012.
- SHI, W.; XIAO, G.; STRUIK, P. C.; JAGADISH, K. S. V.; YIN, X. Quantifying source-sink relationships of rice under high night-time temperature combined with two nitrogen levels. **Field Crops Research**, Modeling crops from genotype to phenotype in a changing climate. v. 202, p. 36–46, 15 fev. 2017.
- SOSBAI (ed.). **Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil: XXXIII Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado**. 33. ed. Restinga Seca, RS: Sosbai, 2022.
- TAO, K.; YU, W.; PRAKASH, S.; GILBERT, R. G. High-amylose rice: Starch molecular structural features controlling cooked rice texture and preference. **Carbohydrate Polymers**, v. 219, p. 251–260, 1 set. 2019.
- WU, C.; CUI, K.; FAHAD, S. Heat Stress Decreases Rice Grain Weight: Evidence and Physiological Mechanisms of Heat Effects Prior to Flowering. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 18, p. 10922, 18 set. 2022.