

## ÍNDICE DE CLOROFILAS, FLUORESCÊNCIA E TROCAS GASOSAS EM PLANTAS DE SOJA EM RESPOSTA AO ESTRESSE TÉRMICO

LUÍS DILÉO LIMBERGER JÚNIOR<sup>1</sup>; LUIZ ANTÔNIO KOVALSKI DE OLIVEIRA<sup>2</sup>,  
KETHLEN BEATRIZ DE OLIVEIRA KURTZ<sup>3</sup>, CARINE ROPKE BUNDE<sup>4</sup>, ANA  
CAROLINA ALVES<sup>5</sup>; SIDNEI DEUNER<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [luislimberger62@gmail.com](mailto:luislimberger62@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [luizantoniokovalski@hotmail.com](mailto:luizantoniokovalski@hotmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [kethlenkurtz@gmail.com](mailto:kethlenkurtz@gmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – [carineropkebunde@gmail.com](mailto:carineropkebunde@gmail.com)

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas – [aco.alves@outlook.com](mailto:aco.alves@outlook.com)

<sup>6</sup>Universidade Federal de Pelotas – [sdeuner@yahoo.com.br](mailto:sdeuner@yahoo.com.br)

### 1. INTRODUÇÃO

A soja é uma das culturas agrícolas mais produzidas a nível nacional e mundial. No Brasil a safra 2023/24 chegou a 46.029,8 milhões de hectares plantados com uma produção de 147.381,8 milhões de toneladas (CONAB, 2024), tornando o país um dos maiores produtores de soja do mundo, sendo de grande importância para a economia e segurança alimentar. No estado do Rio Grande do Sul, que é um dos maiores produtores da cultura no país, tem ocorrido os fenômenos climáticos La Niña e El Niño, causando secas e grandes volumes de chuva nos últimos anos agrícolas, provocando uma queda na produção, com grandes variações entre os anos de 2018 a 2024 (CONAB, 2024).

Para que a produção da soja tenha um rendimento satisfatório, é fundamental que a planta tenha um bom crescimento e desenvolvimento, para isso acontecer é importante que os processos fisiológicos ocorram dentro da normalidade, processos estes que são influenciados por diversos fatores, dentre eles, as condições climáticas, destacando-se a temperatura. A cultura se adapta melhor em regiões onde as temperaturas variam entre 20°C e 30°C (EMBRAPA, 2021), temperaturas muito elevadas podem causar efeitos negativos, sendo um fator de estresse para as plantas, podendo afetar a fotossíntese que é um fenômeno chave que contribui substancialmente para o rendimento da colheita (MATHUR et al., 2014).

O planeta vem sofrendo ao longo dos anos com o aquecimento global, este aumento anormal da temperatura média gera grande preocupação com futuro da agricultura. O ano de 2023, foi o mais quente da história do planeta, no Brasil, a média das temperaturas foi de 24,9°C, sendo 0,69°C acima da média histórica de 1991 a 2020, que ficou em 24,23°C (INMET, 2024). No município de Pelotas – RS, a Estação Agroclimatológica tem registrado durante o verão, temperaturas muito acima dos 30°C, sendo bastante superiores à faixa ideal para o desenvolvimento da cultura.

Visando aumentar a produção da cultura, a fim de suprir a demanda de consumo e tendo em vista o aumento da temperatura global, o objetivo do presente trabalho foi observar o comportamento da cultura da soja submetida à altas temperaturas e os possíveis efeitos provocados em seu metabolismo.

### 2. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Instituto Científico de Pesquisa Exata Agriscience, no município de Pelotas – RS, realizado na safra 2023/24, a cultivar da soja utilizada foi a Brasmax Zeus IPRO, para condução do estudo foi utilizado

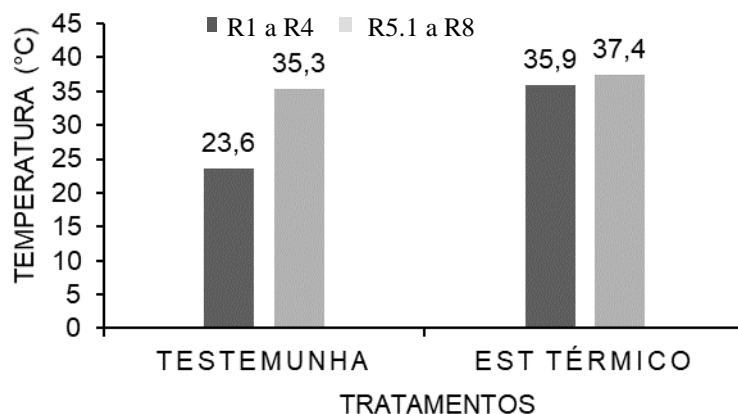
um esquema trifatorial (cultivar x estresse térmico x estágio fenológico), sendo o primeiro fator a cultivar utilizada, o segundo correspondeu aos tratamentos (presença e ausência de estresse térmico) e o terceiro fator sendo os estádios fenológicos (em dois momentos do período reprodutivo) em que as plantas foram submetidas ao estresse, sendo o primeiro de R1 (início do florescimento) a R4 (formação plena de vagens), e o segundo período de R5.1 (início do enchimento de grãos) a R8 (início da maturação), foram realizadas três repetições por tratamento, totalizando seis unidades experimentais.

A semeadura foi realizada na primeira quinzena de dezembro e ao atingirem o estágio reprodutivo foram submetidas ao estresse térmico, sendo alocadas sobre as plantas, estufas confeccionadas utilizando lona plástica transparente de 150 micras sustentadas por uma estrutura de cano PVC com duas aberturas laterais, ocasionando um aumento da temperatura, variando de 5°C a 10°C em seu interior, quando comparado com a temperatura ambiente. Durante o experimento, o monitoramento da temperatura foi realizado com o auxílio de um datalogger digital.

Foram analisadas as seguintes variáveis fisiológicas: temperatura média (°C) dentro e fora das estufas, estas foram medidas utilizando uma câmera de imagens térmicas por infravermelho Flir (E5, FLIR); índices de clorofila (IC) com clorofilômetro da marca Falker (modelo CFL1030). e, a condutância estomática, transpiração, taxa do rendimento quântico efetivo do fotossistema II e taxa de transferência de elétrons, mensurados com porômetro e o fluorômetro Li-600 (LI-COR Biosciences Lincoln, NE, EUA).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro período em que foram realizadas as análises (R1 a R4) houve um acréscimo de temperatura internamente às estruturas de mais de 10°C (Figura 1), provocando um estresse térmico, visto que a temperatura neste ambiente ultrapassa a faixa ideal para a cultura, o que pode causar sérios danos ao metabolismo afetando severamente as funções fisiológicas (trocas gasosas e pigmentos), propriedades biofísicas e aptidão reprodutiva, resultando na redução dos componentes de rendimento da cultura da soja (POUDEL et al., 2023). Esse aumento de temperatura também pode ser observado no segundo período, mas de forma menos expressiva.



**Figura 1.** Temperatura média no ambiente externo (testemunha) e no interior dos abrigos (estresse térmico) registrada ao longo dos estádios de desenvolvimento das plantas de soja R1 a R4 e R5.1 a R8.

Em relação a clorofila, pode-se observar que seus índices para as plantas testemunhas em ambos os períodos avaliados, obtiveram valores superiores às plantas submetidas ao estresse térmico (Tabela 1), apresentando uma diferença significativa entre os tratamentos. Este resultado corrobora com outros estudos nos quais demonstram que tal efeito é esperado, pois quando uma planta é submetida a condições semelhantes de estresse, diminui sua atividade enzimática, afetando a biossíntese e provocando degradação acelerada da clorofila, ou a combinação de ambos (MATHUR et al., 2014; LI et al., 2024;).

**Tabela 1.** Índice de clorofila (IC), Condutância estomática (Gs), Transpiração (E), Eficiência Quântica Efetiva do Fotossistema II (FSII) e Taxa de transferência de elétrons (ETR) em diferentes períodos do estágio reprodutivo em plantas de soja, submetidas a altas temperaturas.

Estádios	Trat.	IC	Gs (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	E (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	FSII	ETR (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
R1 a R4	Testemunha	44,90 a*	1,00 a	9,40 a	0,42 a	340,73 a
	Est térmico	40,50 b	1,20 a	7,50 a	0,57 a	267,42 b
	CV	3,42	18,57	15,64	15,06	16,32
R5.1 a R8	Testemunha	31,73 a	1,64 a	7,15 a	0,56 a	435,65 a
	Est térmico	25,76 b	1,92 a	8,24 a	0,62 a	361,22 b
	CV	4,52	18,62	36,38	19,61	1,81

\*Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Letras maiúsculas comparam os tratamentos dentro de cada período de avaliação. CV: coeficiente de variação.

A condutância estomática (Gs) é a medida da abertura dos estômatos, que indica a capacidade da planta realizar trocas gasosas (absorção de CO<sub>2</sub> e a perda de água) (CHENG et al., 2024). Para este parâmetro observou-se que as plantas sob estresse térmico apresentaram valores superiores às plantas testemunhas, o que não é esperado de plantas sob essas condições. De maneira geral, o estresse térmico causa o fechamento estomático, o que afeta negativamente a regulação da temperatura, em estudos realizados pôde-se observar que estresse por calor e seca combinados reduziram a condutância estomática (POUDEL et al., 2024), esse efeito não foi observado, provavelmente pela boa disponibilidade hídrica, não sendo necessário para a planta conservar água em suas células.

A transpiração (E) da testemunha em relação ao estresse térmico teve sua taxa reduzida no primeiro período. Apesar de a temperatura ter sido elevada em mais de 10°C e a presença de vapor de água no interior das estufas indicarem maior transpiração das plantas, não se verificou aumento da variável em questão. Já para o 2º período, a taxa de transpiração teve um acréscimo, indicando maior transpiração das plantas, afim de regular sua temperatura interna em resposta ao aumento da temperatura ambiente.

De modo geral, a eficiência quântica efetiva do fotossistema II (FSII) é considerado um dos componentes mais sensíveis a altas temperaturas do aparelho fotossintético (MATHUR et al., 2014). Entretanto, no presente estudo, não houve diferença significativa, corroborando em parte com o estudo realizado por Poudel et al. (2023), onde, a mesma variável não apresentou variação sob

condições de estresse térmico devido a diferenças pouco expressivas nos níveis de clorofila. Esse acréscimo na eficiência se dá pelo aumento da fluidez da membrana do tilacóide e também pela dependência da integridade do FSII na dinâmica eletrônica (MATHUR et al., 2014), o que caracteriza uma perda de energia pela taxa de transferência de elétrons (ETR), que determina a energia a ser utilizada para síntese de NADPH e ATP, que reduziu quando comparados os valores obtidos na testemunha e no estresse térmico nos dois períodos avaliados.

#### 4. CONCLUSÕES

O estresse ocasionado na soja pelo aumento da temperatura afeta diversos parâmetros fisiológicos da planta, no presente estudo, observou-se que os índices de clorofila foram as variáveis que mais evidenciaram alterações quando comparadas a testemunha. Os demais parâmetros também apresentaram variações, demonstrando que o estresse por alta temperatura altera mecanismos das plantas, o que pode gerar queda sobre a produtividade da cultura.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHENG, K. H. et al. Enhancing wheat crop physiology monitoring through spectroscopic analysis of stomatal conductance dynamics. **Remote Sensing of Environment**, v. 312, p. 114325, 2024.

POUDEL, Sadikshya et al. Quantifying the physiological, yield, and quality plasticity of Southern USA soybeans under heat stress. **Plant Stress**, v. 9, p. 100195, 2023.

MATHUR, Sonal; AGRAWAL, Divya; JAJOO, Anjana. Photosynthesis: response to high temperature stress. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 137, p. 116-126, 2014.

POUDEL, Sadikshya et al. Negative synergistic effects of drought and heat during flowering and seed setting in soybean. **Environmental and Experimental Botany**, v. 222, p. 105769, 2024.

LI, Xu et al. Effects of abiotic stress on chlorophyll metabolism. **Plant Science**, p. 112030, 2024.

FARIAS, Jose Renato Boucas et al. Temperatura. **Embrapa Soja**, 2021.

Boletim da Safra de Grãos. **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>.

Ano de 2023 é o mais quente da série histórica no Brasil. **Instituto Nacional de Meteorologia**, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/ano-de-2023-%C3%A9-o-mais-quente-da-hist%C3%B3ria-do-brasil>