

Foto: Diogo da Silva Moura



## Temperaturas Supraótimas sobre o Arroz Irrigado: Efeitos sobre a Fotossíntese e Esterilidade de Espiguetas

Giovani Greigh de Brito<sup>1</sup>  
Diogo Silva Moura<sup>2</sup>  
Italo Lucas Moraes<sup>3</sup>  
Rodrigo da Silva Armesto<sup>4</sup>  
Paulo Ricardo Fagundes<sup>5</sup>  
Angela Diniz Campos<sup>6</sup>  
Fabiane Grecco da Silva Porto<sup>7</sup>  
Mário Renê Pereira<sup>8</sup>  
Sidnei Deuner<sup>9</sup>

O arroz está entre os cereais mais consumidos do mundo e no Brasil constitui-se em alimento básico da população; seu consumo per capita se situa em 25 kg/ano. O País é o nono maior produtor mundial e a região Sul brasileira, especialmente nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, a área ocupada com a cultura do arroz historicamente representa mais da metade da área cultivada nacional (cerca de 1,3 milhão de hectares nas últimas safras) e responde por mais de 77% da produção de arroz do País, ao considerar a média dos últimos cinco anos (CONAB, 2015). Os esforços em pesquisa e desenvolvimento efetuados entre as décadas de 1970-1980 culminaram na adoção de tecnologias capazes de aumentar a produtividade e a produção

mundial de arroz, inclusive a do Brasil, e alinhá-la à demanda da população crescente; proporcionou ainda oportunidades de emprego e maior rentabilidade aos produtores, além de propiciar o acesso a esse alimento pelas populações mais pobres que vivem em grandes centros em países da Ásia, África e América Latina (NGUYEN, 2014). Todavia, os ganhos obtidos durante o período da revolução verde estão diminuindo e, desde o ano 2000, a produção de arroz tem sido menor que o seu consumo e esse déficit em produção tem impactado sobre os estoques mundiais (SHARMA, 2013). Desse modo, se por um lado houve um progresso extraordinário ao longo das últimas décadas, relativo aos ganhos de produtividade e adaptação, decorrentes dos esforços dos

<sup>1</sup>Engenheiro-agrônomo, Doutor em Fisiologia Vegetal, Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>2</sup>Engenheiro-agrônomo, Doutorando em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

<sup>3</sup>Engenheiro-agrônomo, Doutorando em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

<sup>4</sup>Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

<sup>5</sup>Engenheiro-agrônomo, Doutor em Melhoramento Genético Vegetal, Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>6</sup>Engenheira-agrônoma, Doutora em Fisiologia Vegetal, Pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>7</sup>Bacharel em Química, Mestre em Química, técnica da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>8</sup>Assistente do Laboratório de Fisiologia Vegetal, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>9</sup>Engenheiro-agrônomo, Doutor em Fisiologia, Professor da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

programas de melhoramento genético e das práticas de manejo, é consenso na comunidade científica a preocupação com como esses esforços poderão continuar gerando tecnologias capazes de atender às demandas da sociedade por mais alimentos, com maior qualidade e produzidos de forma cada vez mais sustentáveis. Há ainda que se considerar que, mesmo com o grau de incerteza atual sobre a magnitude e os efeitos das mudanças nos elementos do clima, sobre a produtividade e a geografia da produção agrícola, é fato que eventos climáticos extremos estão ocorrendo com frequência cada vez maior nos últimos anos. Nesse cenário, as previsões mais pessimistas estimam um aumento médio na temperatura entre 2 °C e 5,4 °C até 2100, e as mais otimistas preveem que esse aumento deverá se situar entre 1,4 °C e 3,8 °C (PINTO et al., 2008). Para os grãos, estima-se que as perdas, como consequência das mudanças no padrão do clima, atingirão R\$ 7,4 bilhões já em 2020, número que pode subir para R\$ 14 bilhões em 2070 (PINTO et al., 2008). Esses estudos apontam ainda que, para a orizicultura, essas alterações no clima impactarão na redução de área de “baixo risco” para o cultivo do arroz em cerca de 9% e em prejuízo de R\$ 362 milhões até 2020. Associada à ocorrência cada vez mais frequente de eventos climáticos extremos, o aumento nas médias das temperaturas mínimas leva a outra grande preocupação, tendo em vista seu impacto sobre o processo de respiração e consequente impacto negativo sobre o potencial produtivo da cultura. Num cenário desafiador, como o que se apresenta, abordagens que envolvam ajustes nas práticas culturais e nos sistemas de produção vigentes impactarão positivamente, reduzindo os efeitos negativos de extremos climáticos sobre a produtividade da cultura.

Nesse sentido, torna-se primordial que se dê prioridade e se efetue esforços para aumentar o grau de compreensão sobre as estratégias utilizadas pelas plantas para responder a um determinado estresse ou à combinação de mais de um fator de estresse ocorrendo concomitantemente. Sem esse conhecimento básico, os avanços no refinamento dos procedimentos de fenotipagem continuarão a progredir lentamente, pois estarão dependentes de abordagens baseadas em tentativas erro/acerto. Desse modo, sem esse conhecimento obtido a partir de pesquisas básicas, torna-se difícil a definição de linhas onde se devam alocar os esforços para o refinamento das práticas de

manejo e, principalmente, na definição dos procedimentos e desenvolvimento de protocolos úteis (robustos, exequíveis e de baixo custo) aos programas de melhoramento genético de plantas e ao refinamento das práticas de manejo vigentes. Progressos nessa linha serão cruciais para que os gargalos ainda persistentes em nossa capacidade de associar genótipos à fenótipos de plantas sejam reduzidos. Neste sentido, o estudo buscou adotar uma abordagem que visa caracterizar as respostas fisiológicas, especialmente quanto às trocas gasosas para conhecer as respostas que genótipos de arroz, conhecidamente contrastantes para temperaturas supraótimas, utilizam quando submetidos a tal estresse durante estádios fenológicos críticos (fase reprodutiva – de R3-R5). Tais informações estão norteando o desenvolvimento e a padronização de metodologias para a fenotipagem fisiológica não invasiva, além de estar permitindo a identificação de genótipos potencialmente mais tolerantes, os quais poderão integrar novos blocos de cruzamento visando à obtenção de maior tolerância, no futuro, ao estresse em questão.

## Materiais e Métodos

### Descrição do material e da estrutura construída para o estudo

Experimentos foram conduzidos em estruturas tipo shelters (Figura 1) visando caracterizar e quantificar as respostas de genótipos de arroz irrigado contrastantes em resposta às oscilações térmicas, durante estádios fenológicos críticos (entre R3 e R5). Com tal propósito, utilizaram-se dois genótipos contrastantes quanto a sua tolerância a

Foto: Diogo da Silva Moura



Fig 1: Vista frontal e do interior das estruturas de abrigos utilizados na condução do estudo.

temperaturas supraótimas; o genótipo Nagima 22 (N22), reportado como padrão de tolerância ao estresse térmico por diferentes abordagens (BAHUGUNA et al., 2016; COAST et al., 2016; JAGADISH et al., 2015) e a cultivar BRS Querência, a qual é sensível às oscilações térmicas, especialmente durante a sua fase reprodutiva (comunicação pessoal). As plantas foram cultivadas em tanques de fibras com profundidade de 30 cm, 100 cm de largura e 600 cm de comprimento; nesses foi utilizado substrato para o cultivo de plantas, acrescentando-se NPK, de acordo com as

suas características químicas. Sob tais condições, os genótipos pertencentes ao mesmo grupo de maturação (grupo precoce) foram semeados em 15 de outubro de 2015; sob as condições ambientais vigentes (Figura 2), nas quais foram mantidos até o estágio de desenvolvimento R3 (Counce et al., 2000), quando o grupo a ser submetido a temperaturas aumentadas foram cobertos, pela instalação de abrigos tipo *shelters* posicionados sobre os tanques de cultivo.

**Caracterização da taxa de trocas gasosas e componentes de produção**

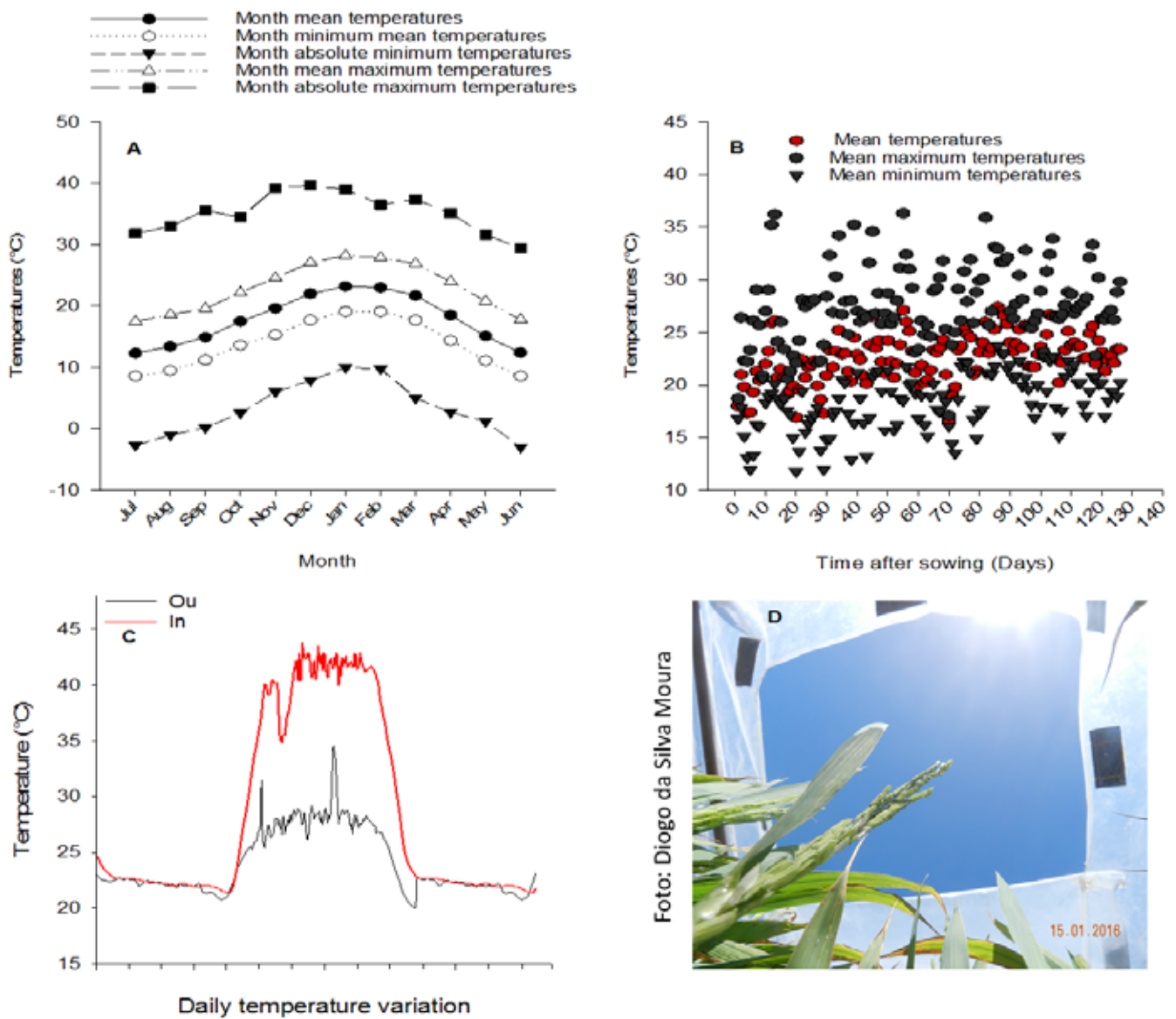


Fig 2: Série histórica de dados de temperatura para a Estação Experimental de Terras Baixas – Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS; dados relativos ao período compreendido entre 1971 e 2000 (A); temperaturas máximas, mínimas e médias (°C) registradas durante o período experimental (15 de outubro a março de 2015) (B); variações térmicas diárias observadas no interior e exterior aos abrigos (C); e a foto do interior de um dos abrigos utilizados para o estudo (D).

As plantas de cada genótipo (condição controle e sob *shelters*) foram mensuradas quanto à dinâmica de trocas gasosas, envolvendo as taxas de fotossíntese ( $P_n$ ), a condutância estomática ( $g_s$ ) e a taxa de transpiração ( $E$ ). As medidas foram tomadas entre 09:00h e 10:00h, ao primeiro, ao quarto e ao sétimo dias após a separação dos grupos e instalação dos abrigos. Os procedimentos foram executados com um analisador de gases a infravermelho portátil (IRGA), marca LI-Cor, modelo LI-6400XT (LI-Cor, Lincoln, USA). O IRGA foi configurado para fornecer uma densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos de  $1.100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e 400 ppm de  $\text{CO}_2$  via sistema injetor 6400-01 acoplado ao equipamento. Para as análises, três folhas bandeiras de três plantas de cada genótipo foram marcadas, sob cada condição térmica; tal marcação possibilitou que as medições subsequentes pudessem ocorrer sempre na mesma folha. A porção distal média da lâmina foliar foi inserida na câmara de análise do IRGA, permanecendo o tempo de dois minutos, aproximadamente, para sua estabilização e registro das leituras. Além da caracterização das trocas gasosas, a expansão foliar, o acúmulo de massa seca, o peso de mil grãos e a percentagem de esterilidade de espiguetas foram mensurados.

## Resultados e Discussões

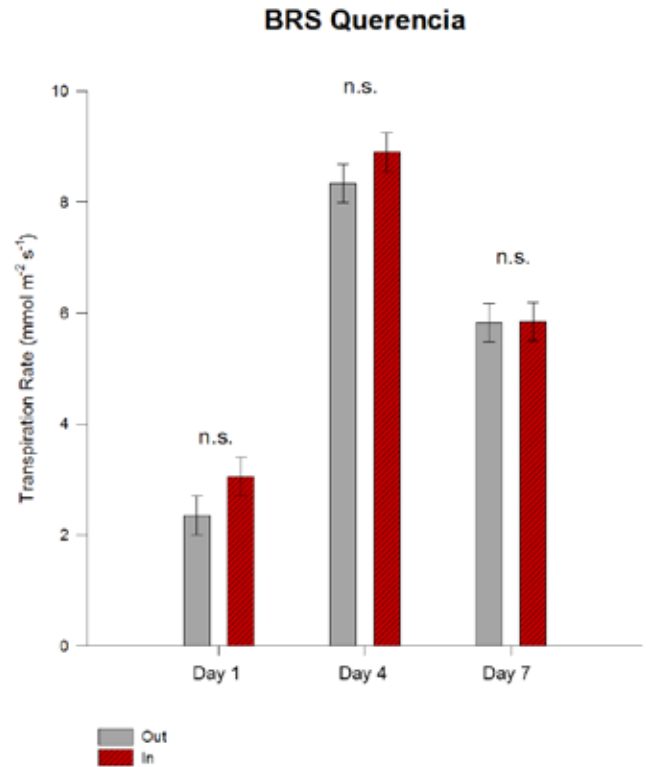
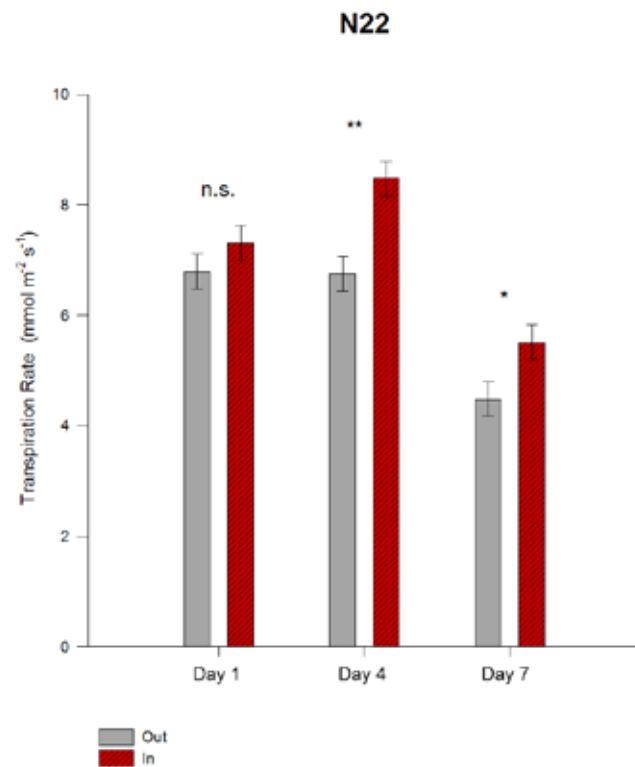
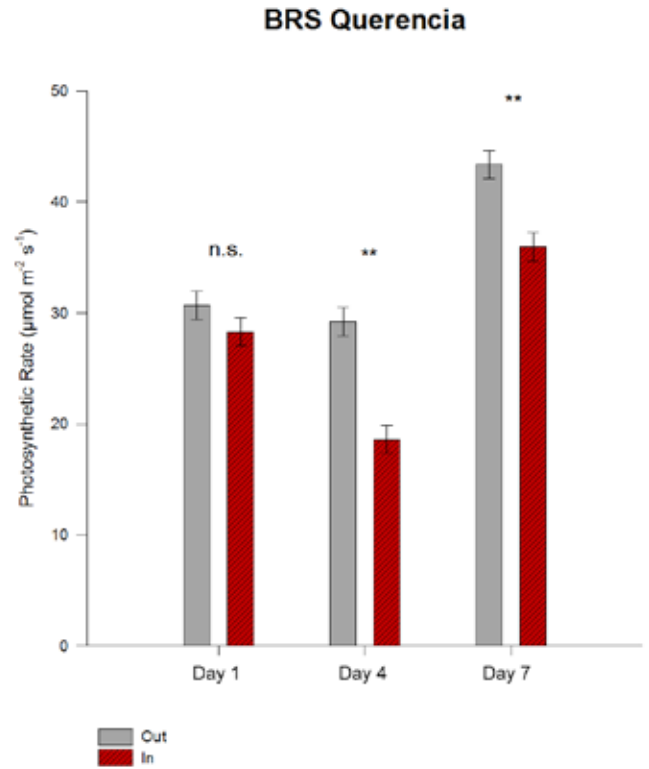
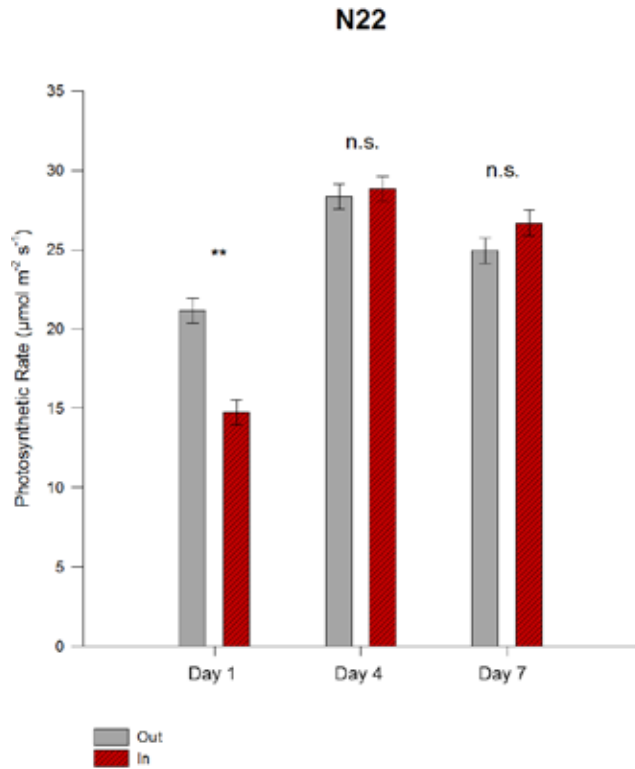
### Efeitos de temperaturas supraótimas sobre as taxas de trocas gasosas

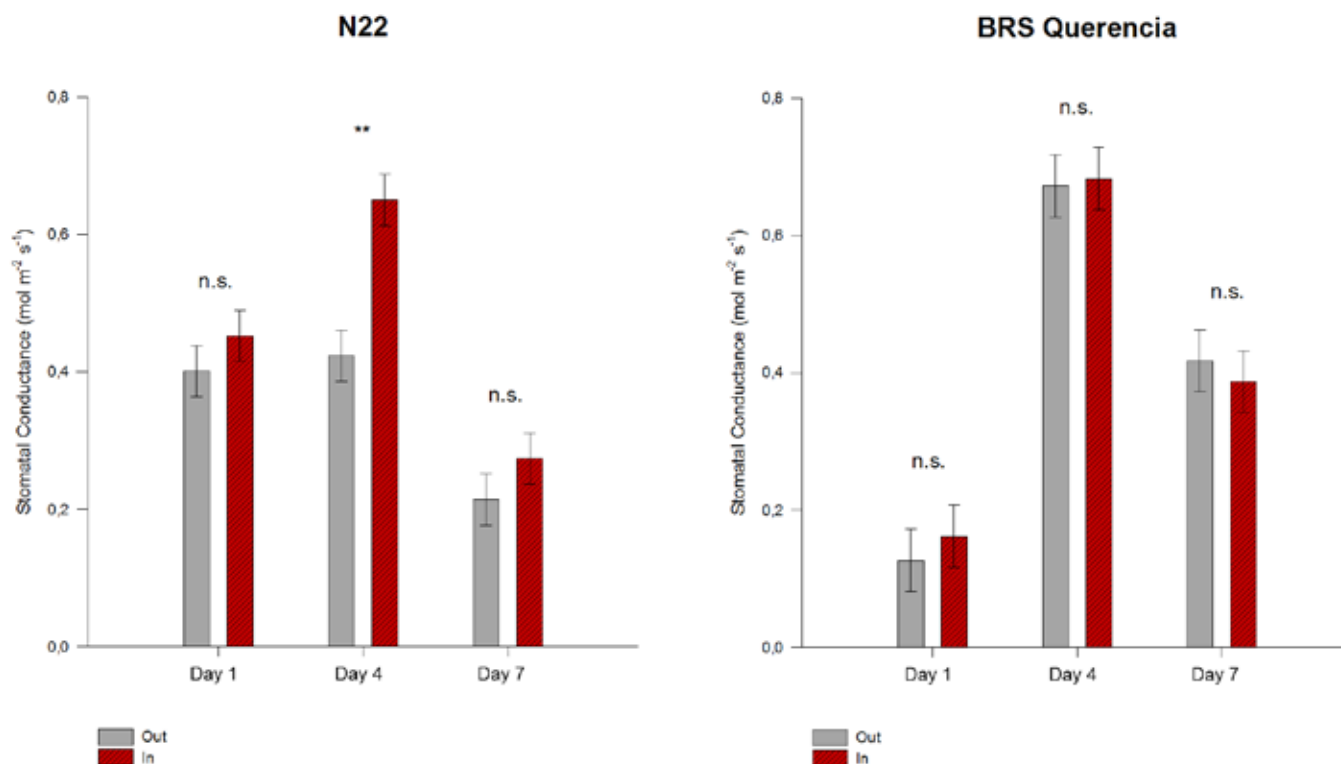
Estresses abióticos representam os maiores gargalos resultantes em prejuízos na agricultura em escala global; embora haja consenso sobre as incertezas que ainda persistem sobre o tamanho do impacto das mudanças climáticas sobre a produção agrícola mundial e do Brasil, é fato que eventos climáticos extremos estão sendo registrados com frequência cada vez maior. No Sul do Brasil, eventos causados por ondas de calor têm coincidido com fases críticas do desenvolvimento do arroz, reduzindo o potencial produtivo das lavouras. Embora o arroz possa sofrer pela incidência desse estresse em diferentes fases fenológicas, é durante o período de florescimento (antese/fertilização) que a planta se encontra mais sensível ao estresse de calor (JAGADISH et al., 2015; YOSHIDA, 1981). Tem sido reportado que a exposição da planta ao calor, nesta fase, mesmo que por períodos curtos (menos de uma hora), pode conduzir ao aumento da esterilidade. Adicionalmente,

temperaturas supraótimas podem afetar a fotossíntese ao considerarmos que a fixação do  $\text{CO}_2$  via enzima rubisco e subsequente regeneração da ribulose-5-bisfosfato (RuBP) pelo ciclo de Calvin são significativamente influenciadas pela temperatura. Limitações na regeneração de RuBP estão, muitas vezes, associadas às reações em nível de membranas envolvidas nos processos de transporte de elétrons, síntese de ATP e NADPH, enzimas do ciclo de Calvin, os quais são responsáveis pela regeneração de RuBP. Assim, considerando que a estabilidade do complexo de membranas e enzima rubisco pode ser afetada por oscilações térmicas, as reações da fotossíntese podem ser significativamente alteradas pela ocorrência de temperaturas supraótimas (SCAFARO et al., 2010). Nesse contexto, no Brasil, considerado o maior produtor de arroz fora da Ásia, os programas de melhoramento genético necessitam efetuar esforços para o desenvolvimento/estabelecimento de procedimentos de fenotipagem, os quais sejam hábeis para a quantificação das perdas sofridas pelo arroz quando submetidos a temperaturas supraótimas durante os estádios críticos de seu desenvolvimento. Tais procedimentos passam, invariavelmente, pela compreensão das respostas que diferentes genótipos possuem frente ao estresse em questão. Na Figura 3, evidencia-se maior desempenho quanto à estabilidade para a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  a partir do quarto dia, independentemente do regime térmico a que está submetida; de outro modo, para a BRS Querência, as plantas mantidas no interior dos abrigos mantêm taxas de fotossíntese inferiores aos quarto e sétimo dias após a indução do estresse. Observa-se ainda que, para as demais variáveis de trocas gasosas, as plantas do genótipo N22 parecem responder mais rapidamente às modificações térmicas impostas, se comparadas ao genótipo BRS Querência. Nessa linha, a análise de enzimas envolvidas nas respostas do sistema de defesa antioxidante também evidencia essa tendência (dados não mostrados). Na Figura 4, evidencia-se que o genótipo N22, o qual apresentou desempenho superior para a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , também foi o que manteve as menores taxas para a esterilidade de espiguetas, independentemente do ambiente analisado. Quando comparado à BRS Querência, novamente o seu desempenho quanto a essa variável foi significativamente superior. Sob temperaturas supraótimas, enquanto as taxas de esterilidade de espiguetas, para a BRS Querência, chegaram ao redor de 50%, o genótipo N22 manteve essa muito

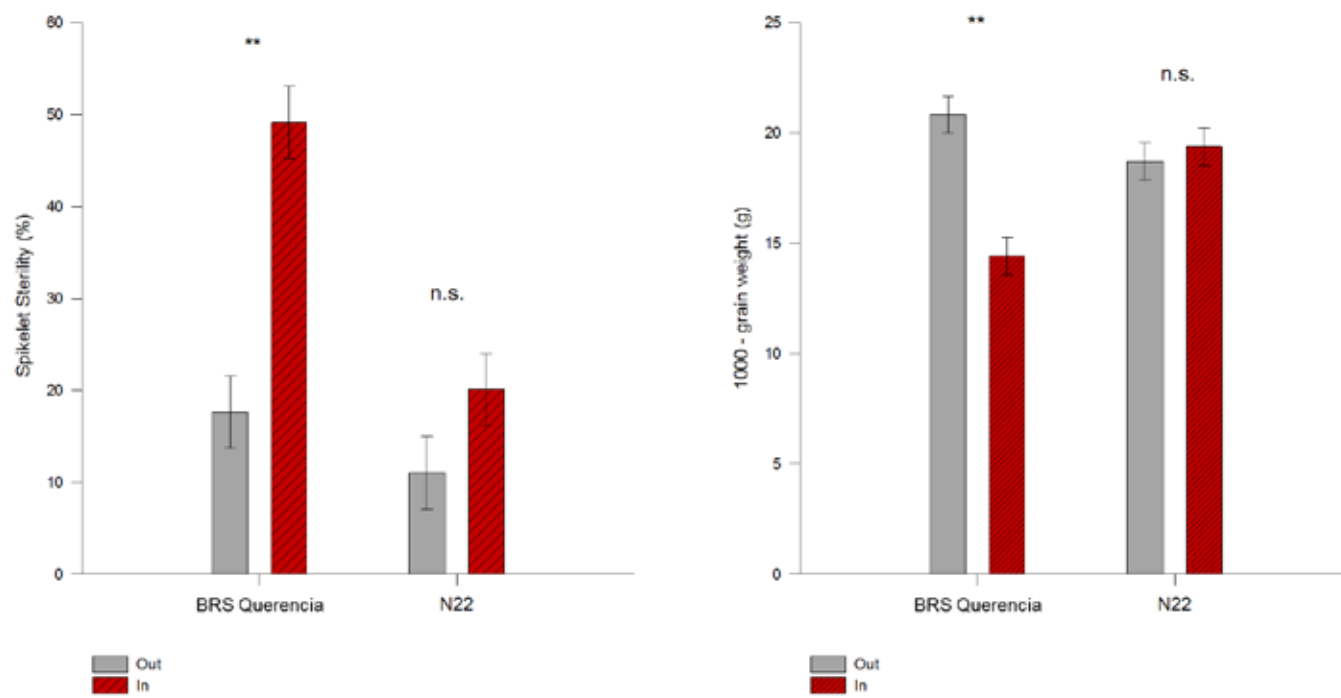
próxima a 20%, demonstrando sua superioridade quanto à tolerância ao estresse por temperaturas supraótimas. A constatação da superioridade desse genótipo quanto ao seu desempenho para trocas gasosas associado à maior fertilidade de espiguetas indica que novos estudos com foco em fotossíntese, com abordagens não invasivas, a exemplo da eficiência fotoquímica potencial e efetiva, ~~poderão~~

~~proporcionar a sua inclusão~~ como um Proxy para *screening* em larga escala. Os resultados obtidos nessa etapa da pesquisa evidenciam que se deve continuar efetuando esforços com o foco no desenvolvimento de metodologias de fenotipagem com base na variabilidade fotossintética potencialmente existente no banco de germoplasma do arroz.





**Fig 3:** Taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $P_n$ ), taxa de transpiração ( $E$ ) e condutância estomática ( $g_s$ ) em genótipos de arroz submetidos a temperaturas contrastantes a partir da fase reprodutiva inicial  $R_3$ . *In* e *out* representam plantas mantidas no interior e no exterior do abrigo, respectivamente. \*, \*\* e n.s. simbolizam diferenças significativas a  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  e não significativo, respectivamente, para um genótipo específico submetido à condição controle em relação ao seu desempenho frente às temperaturas impostas pela instalação dos *shelters*. Valores representados por médias  $\pm$  s.e. ( $n = 3$ ).



**Fig 4:** Taxa de esterilidade de espiguetas e massa de 1000-grãos de genótipos de arroz submetidos a temperaturas contrastantes a partir da fase reprodutiva inicial  $R_3$ . *In* e *out* representam plantas mantidas no interior e no exterior ao abrigo, respectivamente. \*, \*\* e n.s. simbolizam diferenças significativas a  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  e não significativo, respectivamente, para um genótipo específico submetido à condição controle em relação ao seu desempenho frente às temperaturas impostas pela instalação dos *shelters*. Valores representados por médias  $\pm$  s.e. ( $n = 3$ ).

## Conclusões

Este estudo evidencia que a imposição de temperaturas supraótimas (no interior dos abrigos, média da máxima atingindo 39,5 °C) durante a fase reprodutiva inicial pode conduzir a alterações fisiológicas, alterando o desempenho fotossintético e impactando sobre a taxa de fertilidade de espiguetas. Isso pode impactar de modo significativo o rendimento final da lavoura e a sustentabilidade da orizicultura irrigada da região Sul do País, caso eventos climáticos extremos continuem a ocorrer com a mesma intensidade e frequência, a exemplo daqueles registrados nos últimos anos para a Fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul.

### Comunicado Técnico, 340

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Clima Temperado**

**Endereço:** BR 392, Km 78, Caixa Postal 403  
Pelotas, RS - CEP 96010-971

**Fone:** (53)3275-8100

[www.embrapa.br/clima-temperado](http://www.embrapa.br/clima-temperado)

[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)



1ª edição

Obra digitalizada (2017)

### Comitê de Publicações

**Presidente:** Ana Cristina Richter Krolow

**Vice-Presidente:** Enio Egon Sosinski Junior

**Secretária-Executiva:** Bárbara Chevallier Cosenza

**Membros:** Ana Luiza Barragana Viegas, Fernando Jackson, Marilaine Schaun Pelufê, Sonia Desimon

### Expediente

**Revisão do texto:** Eduardo Freitas de Souza

**Normalização bibliográfica:** Marilaine Schaun Pelufê

**Editoração eletrônica:** Fernando Jackson