

Avaliação de tolerância a baixas temperaturas em genótipos de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) na fase reprodutiva em experimento a campo, durante evento climático espontâneo na safra 2019/2020

*Evaluation of low temperature tolerance in irrigated rice (*Oryza sativa* L.) genotypes at reproductive phase in a field experiment, during a spontaneous climatic event in the 2019/2020 crop season*

Rubens Marschalek^{1*} (ORCID 0000-0003-2503-1180), Douglas George de Oliveira² (ORCID 0000-0003-2313-4733), Natalia Maria de Souza³ (ORCID 0000-0001-9791-5597), Paulo Henrique Karling Facchinello¹ (ORCID 0000-0001-8227-6358), Laerte Reis Terres¹ (ORCID 0000-0001-9436-6481), Luis Sangoi³ (ORCID 0000-0002-9102-4248)

¹Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Itajaí, SC, Brasil. * Autor para correspondência: rubensm@epagri.sc.gov.br

²Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Araranguá, SC, Brasil.

³Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil.

Submissão: 18/10/2022 | Aceite: 12/01/2023

RESUMO

Aproveitando-se a ocorrência de um evento espontâneo de baixas temperaturas (<17 °C) em experimento de campo de arroz irrigado, coincidente com a fase reprodutiva da cultura, foram avaliados a produtividade, a porcentagem de esterilidade de espiguetas e o número de panículas por metro quadrado. O experimento foi conduzido no sul de Santa Catarina, na safra 2019/2020, em delineamento de blocos ao acaso com três repetições no sistema pré-germinado. Do total de genótipos que compunham o experimento, 13 foram selecionados para comporem a análise principal, de esterilidade. Baseado numa série de estudos anteriores para estresse por baixas e altas temperaturas, a hipótese era de que a linhagem SC 806 se destacaria como resiliente. De fato, a SC 806 apresentou níveis de esterilidade significativamente menores que as testemunhas comerciais SCS116 Satoru, SCS122 Miura e SC 790 (SCS125), ao mesmo tempo que foi competitiva com as mesmas no tocante à produtividade. Assim, a SC 806 foi validada como resiliente a baixas temperaturas, confirmando o bom desempenho verificado em experimentos anteriores, e com isso demonstrando ser promissora como linhagem candidata à lançamento na forma de variedade.

PALAVRAS-CHAVES: esterilidade; frio; antese; microsporogênese; mudanças climáticas; resiliência

ABSTRACT

Concerning the occurrence of a spontaneous event of low temperatures (<17 °C), in an irrigated rice field experiment, during the reproductive phase of the crop, yield was evaluated as well as percentage of grain sterility and number of panicles. The experiment was conducted in the south of Santa Catarina, in the 2019/2020 crop season, having been water-seeded in randomized blocks with three replications. Of the total number of genotypes that made up the experiment, 13 were selected to make up the main analysis, of sterility. Based on a series of previous studies for stress due to low and high temperatures, the hypothesis was that the SC 806 line would stand out as resilient. Based on a series of previous studies for low and high temperature stress, the hypothesis was that the SC 806 inbreed line would stand out as resilient. In fact, SC 806 showed significantly lower sterility levels than the commercial controls, SCS116 Satoru, SCS122 Miura and SC 790 (SCS125), while remaining competitive in terms of yield. Thus, SC 806 confirmed its resilience to low temperatures, what was a behavior showed in previous experiments, proving to be promising as a candidate for release as cultivar soon.

KEY-WORDS: sterility; cold; anthesis; microsporogenesis; climate change; resilience

As mudanças climáticas promovem o aumento na frequência de extremos de temperaturas, e estas usualmente causam redução na biomassa e produtividade vegetal, o que coloca a humanidade num sério dilema, em virtude de se estar diante do desafio de, no mínimo, dobrar a produção de alimentos até 2050 (LIU 2013). A vulnerabilidade da orizicultura do Sul do Brasil a eventos extremos de temperaturas coloca em risco a segurança alimentar do país. As baixas temperaturas (NAJEEB et al. 2021), bem como as demasiado altas (YE et al. 2021), provocam esterilidade no arroz, diminuindo a produtividade e consequentemente baixam a produção total deste cereal, além de diminuir a qualidade do produto final. Neste sentido, o melhoramento genético talvez seja a melhor estratégia para que a agricultura brasileira enfrente e conviva com as alterações climáticas (RAMALHO et al. 2009).

As baixas temperaturas afetam particularmente o arroz em Santa Catarina no verão, em períodos nos quais a cultura frequentemente está em fase reprodutiva. Quando frentes frias invadem o Estado, especialmente as regiões orizícolas de elevada altitude são particularmente expostas a temperaturas menores do que no restante do Estado. Há estudos apontando perdas por frio variando de 80% no norte do Japão, 26% na Coreia do Sul anualmente, enquanto na Austrália perde-se anualmente de 0,5 a 2,0 t ha⁻¹. No nordeste da China, as perdas por frio ocorrem uma vez a cada 3 ou 5 anos, causando perdas de produtividade de 30% a 60% (XIAO et al. 2021). No Brasil, considera-se que temperaturas entre 15-17° C induzem à esterilidade em variedades tolerantes de arroz irrigado, e de 17 a 19° C em variedades sensíveis (SOSBAI, 2018), sendo a fase mais crítica a microsporogênese (R2) e a antese (R4), sendo a primeira usualmente considerada a mais sensível delas (ROZZETTO et al. 2015, SOUZA et al. 2017, XIAO et al. 2021, MARSCHALEK et al. 2019b).

Diferentes estratégias podem ser usadas para aumentar a tolerância do arroz a extremos de temperatura, e uma delas ainda é a seleção fenotípica (KHAN et al. 2019). Entretanto, a temperatura é um fator imprevisível e difícil de utilizar como agente seletivo em programas de melhoramento. Apesar disso, progressos têm sido alcançados na obtenção de cultivares resistentes ao frio, como em Hokkaido, no Japão (SHINADA et al. 2013) e também em sítios de altitude nas regiões tropicais do Kenya a seleção para tolerância a frio em estágios reprodutivos em experimentos de campo sob condições naturais foi descrito como bem-sucedido, confirmando o comportamento prévio dos genótipos avaliados anteriormente sob condições controladas (SAMEJIMA et al. 2020). Há resultados que indicam avanços similares no programa de melhoramento genético da Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina), já que estudos apontam que há considerável variabilidade para este caráter nas linhagens de arroz desenvolvidas pela instituição (SOUZA et al. 2017, STÜRMER et al. 2017, STÜRMER et al. 2019, MARSCHALEK et al. 2019b). Também o Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) logrou êxito na seleção, lançando a cultivar de arroz IRGA 426, bem como a Embrapa com a cultivar BRS Querência, tolerantes a frio na fase de plântula (SOSBAI 2018).

Deste modo, repousa no melhoramento genético, a esperança de que a orizicultura sul-brasileira possa conviver com as mudanças climáticas através do desenvolvimento e adoção de variedades que tolerem temperaturas extremas. Assim sendo, o presente estudo procurou aproveitar um destes eventos naturais espontâneos de baixas temperaturas, ocorrido no âmbito de um experimento VCU (Valor de Cultivo e Uso), para averiguar os diferentes graus de esterilidade das linhagens de arroz irrigado expostas a este estresse na fase reprodutiva. Especial interesse havia no comportamento de uma dada linhagem, considerada por vários estudos prévios como tolerante às baixas temperaturas na fase reprodutiva. A hipótese era, portanto, a de que um dos genótipos, a linhagem SC 806, evidenciasse o mesmo comportamento promissor já obtido em condições controladas de estresse (STÜRMER et al. 2017, STÜRMER et al. 2019), e confirmasse também o mesmo bom desempenho, obtido anteriormente em avaliações de campo em experimentos durante cinco safras agrícolas em regiões de altitude (500 a 600m) de Santa Catarina (MARSCHALEK et al. 2015, 2017, 2019a).

O experimento foi conduzido na safra 2019/2020 no Centro de Treinamento da Epagri de Araranguá (CETRAR). A semeadura (24/10/2019) deu-se em parcelas de 3 x 4m, com três repetições por genótipo, em blocos ao acaso, usando 120 kg ha⁻¹ de sementes, e a condução do experimento seguiu as recomendações da Epagri (EBERHARDT et al. 2015), mas sem o uso de fungicidas. Apesar do VCU ser composto, naquela safra, por 23 genótipos, apenas 13 deles foram escolhidos para fazer parte das estimativas de esterilidade, por representarem grupos contrastantes ou ainda em avaliação quanto à tolerância ao frio.

Em fevereiro de 2020 houve então eventos de baixas temperaturas, sendo que nas noites de 11 e 14 de fevereiro as temperaturas mínimas noturnas ficaram por algumas horas em torno dos limítrofes 17 °C. Neste período, as linhagens de ciclo médio e médio-tardio estavam em plena antese (R4) (COUNCE et al. 2000). Tais linhagens estiveram também expostas a frio durante a microsporogênese (R2), quando, as

temperaturas mínimas noturnas variaram de 15 °C (dia 17/01/20) a 17,5 °C (25 e 26/01/20). Já durante as noites de 22 a 24 de fevereiro (três dias), e de 27 de fevereiro à 1º de março (quatro dias), as temperaturas mínimas noturnas caíram abaixo dos 17 °C, variando de 14,3 °C até 16,9 °C, período no qual, desta vez, eram as linhagens e cultivares tardias que estavam em antese (R4). Estas linhagens e cultivares tardias tiveram seu período de microsporogênese (R2) aproximadamente de 11 a 14 de fevereiro, período que, como relatado anteriormente, também foi de baixas temperaturas. Assim, ainda que de forma não uniforme e exata, todos os genótipos do experimento estiveram expostos a baixas temperaturas noturnas durante o período reprodutivo crítico, tanto na microsporogênese quanto nos dias em que estava ocorrendo antese.

Diante disso, e antevendo-se uma inevitável esterilidade decorrente dos referidos eventos de baixas temperaturas, resolveu-se aproveitar a oportunidade e o transcorrer do experimento VCU, selecionando 13 genótipos para uma amostragem, visando estimar o índice de esterilidade das linhagens. Os 13 genótipos comporiam, com base em estudos anteriores, dois principais grupos extremos: (1) linhagens que apresentaram perspectiva de tolerância a baixas temperaturas (SC 911, SC 775, SC 806); (2) cultivares comerciais e linhagens, sensíveis ao frio na fase reprodutiva (SC 1029, SCS116 Satoru, SCS122 Miura, SC 790), além de alguns outros genótipos cujo comportamento se desejava avaliar (MARSCHALEK et al. 2015, ROZZETTO et al. 2015, MARSCHALEK et al. 2017, STÜRMER et al. 2017, SOUZA et al. 2017, MARSCHALEK et al. 2019a,b).

A colheita de amostras para avaliação da esterilidade e contagem de panículas deu-se em amostras de 0,5 x 0,5 m, sendo que estas tiveram as espiguetas debulhadas manualmente, a fim de preservar unidas a pálea e a lema (casca) das espiguetas estéreis. A amostra total de cada parcela foi quarteada, e as espiguetas férteis (grãos cheios) foram separadas das espiguetas vazias através de um soprador colunar, com fluxo de ar ascendente, e todas foram contadas (Contador, Pfeuffer, Alemanha). Foram determinadas para cada amostra (parcela): número de panículas e esterilidade, sendo que da última se infere a tolerância à frio, comparando-se o grau de esterilidade de diversos genótipos com as principais testemunhas cultivadas, e associando este resultado com dados de outros estudos. Também efetuou-se a avaliação da produtividade por meio da colheita de uma área de 2 x 2m, sendo a mesma obtida através do peso corrigido da parcela para 13% de umidade dos grãos após estimação da umidade da amostra (medidor de umidade de grãos Gehaka G800).

A análise de variância foi feita utilizando-se o software Assistat versão 7.7 (SILVA & AZEVEDO 2016). Os valores do teste F foram considerados significativos a 5% ($P < 0.05$) e muito significativos a 1% ($P < 0.01$). Quando significativos, efetuou-se teste de comparação múltipla de médias de Duncan em nível de 5% de significância.

A análise de variância para número de panículas por metro quadrado e esterilidade revelaram diferenças significativas ($P < 0.05$) entre os genótipos, assim como a produtividade ($P < 0.01$), mas estes três parâmetros não revelaram diferenças entre blocos, o que atesta a uniformidade da área experimental e a qualidade do experimento e das avaliações. Os coeficientes de variação (Tabela 1) do experimento mantiveram-se em patamares que denotam confiabilidade. A Tabela 1 mostra os resultados dos testes de médias, com os genótipos ordenados da maior para a menor esterilidade.

Dados desta natureza, obtidos de experimentos de campo, no qual o estresse térmico não pode ser controlado, poderiam ser encarados com ceticismo, já que as linhagens que compõem um VCU não são todas do mesmo ciclo. O diferente ciclo dos genótipos avaliados poderia ensejar incidência do estresse em diferentes estádios morfo-fisiológicos. Ou seja, poderia se levantar a suspeita de que diferentes níveis de esterilidade pudessem ser resultado de diferentes graus de escape dos genótipos. Entretanto, os dados meteorológicos comprovam a atuação de massas de ar frio durante o experimento por um período considerável de dias, atingindo assim os diferentes genótipos. Além disso, para que se descarte a suposição de escape do frio em virtude do ciclo dos 13 genótipos avaliados, entre os quais havia os de ciclo tardio, e os de ciclo médio, basta verificar os dados (Tabela 1). Constata-se que o ciclo dos genótipos foi aumentado pela condição climática (frio) e tanto os genótipos de ciclo mais curto, quanto os de ciclo mais longo, tiveram sua esterilidade afetada pelo estresse térmico (Tabela 1), o que inclusive era de fácil constatação visual (Figura 1). Assim, é inequívoco que também a linhagem SC 806, alvo da hipótese de tolerância, não tenha sido poupada do estresse, portanto, seu melhor desempenho não tem por causa eventual escape. Corroborando estes dados, também em evento espontâneo de baixas temperaturas na antese na safra 2020/2021 (unidade de observação, Taió, SC), a SC 806 apresentou menor esterilidade e maior produtividade do que as testemunhas (MARSCHALEK et al. 2022).

Tabela 1. Panículas m⁻², esterilidade (%) e produtividade (kg ha⁻¹) em 13 linhagens e variedades de arroz irrigado (medias de três repetições), em experimento VCU de Araranguá, na safra 2019/2020.

Table 1. Panicles m⁻², sterility (%) and yield ((kg ha⁻¹) in 13 irrigated rice inbred lines and varieties (means of three repetitions), in a VCU field experiment in Araranguá, in the 2019/2020 crop season.

Genótipo	Panículas m ⁻²		Esterilidade (%)		Produtividade (kg ha ⁻¹)		Ciclo
SC 1029	851	bcd	41,0	a	7817	bc	171
SC 790	941	abcd	36,0	ab	8836	bc	165
SCS116 Satoru	920	bcd	33,2	abc	7952	bc	163
SCS122 Miura	724	d	30,7	abc	9282	bc	164
BRS A704	1083	abc	29,4	abc	8139	bc	152
SC 908	1261	a	29,3	abc	8785	bc	166
SC 971	1057	abcd	28,5	abcd	6548	c	139
SCS124 Sardo	889	bcd	28,1	abcd	7383	bc	149
SC 911	883	bcd	25,6	abcd	10099	b	167
SC 1026	800	cd	23,7	bcd	10213	b	168
SC 914	865	bcd	22,8	bcd	7650	bc	172
SC 775	913	bcd	17,6	cd	12977	a	160
SC 806	1179	ab	13,3	d	9897	b	150
CV(%)	18,4		29,9		16,6		

*Médias seguidas pela mesma letra (coluna) não diferem estatisticamente pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância.



Figura 1. Constatação visual da menor esterilidade da linhagem SC 806 (centro) em comparação com as variedades SCS122 Miura (à esquerda, e mais tardia que a SC 806) e SCS124 Sardo (a direita e mais precoce), evidenciando a impossibilidade de que a SC 806 tenha sido favorecida pelo escape ao estresse térmico por baixa temperatura.

Figure 1. Visual observation of the lower sterility of the SC 806 inbred line (center) in comparison with the varieties SCS122 Miura (on the left; a few days later-maturing cultivar compared with the inbred line SC 806) and SCS124 Sardo (on the right, an earlier-maturing cultivar, compared with SC 806), demonstrating the impossibility that the SC 806 has been favored by escape from low temperature stress.

Percebe-se ainda o grande número de perfilhos férteis (panículas) da SC 806 (Tabela 1), resultantes do excelente perfilhamento. Também fica evidente a classificação desta linhagem como a menos estéril do grupo, o que foi de fácil constatação visual no pós-colheita (Figura 1). Admite-se, entretanto, que os valores observados de esterilidade possam eventualmente ter, embutidos, outras causas, que não apenas o estresse por frio, pois os VCUs de arroz da Epagri são conduzidos sem fungicidas, logo, patógenos também poderiam ter causado parte da esterilidade observada. Entretanto, se a brusone, principal doença do arroz, tivesse desempenhado papel preponderante na esterilidade observada nos genótipos, os resultados seriam favoráveis à genótipos como a linhagem SC 790 (lançada em 2020 como cultivar SCS125) e a cultivar SCS122 Miura, que são considerados, desde seu lançamento, como médio-resistentes, portanto, baixos índices de esterilidade seriam esperados nestes dois genótipos, enquanto seriam agravados em outros. Entretanto, o que se deu foi o contrário.

O fato a se ressaltar aqui, é que variedades estabelecidas na orizicultura catarinense, referências em produtividade, como a SCS116 Satoru e a SCS122 Miura, apresentaram esterilidades maiores que a SC 806, que também as superou em produtividade no experimento aqui relatado. Eliminadas as hipóteses de bom desempenho da SC 806 devido à escape e fitopatógenos, a rigor, poder-se-ia ainda contestar as diferenças encontradas neste estudo, posto que não foram estatisticamente significativas para produtividade no agrupamento “b” (Tabela 1) de médias (Duncan 5%). Entretanto, cabe lembrar que em melhoramento de cereais o ganho genético de produtividade é abaixo de 1% ao ano, logo, detectar diferenças estatisticamente significantes num grupo de genótipos elite é tarefa cada vez mais difícil. Além disso, mesmo que as aludidas diferenças não sejam relevantes estatisticamente, isso não significa que sejam desprezíveis econômica e geneticamente. A tomada de decisão sobre os lançamentos de novas variedades não raro se dá através da análise de muitos outros atributos de uma linhagem candidata. Isso justifica o olhar atento que se coloca sobre a baixa esterilidade da SC 806 em relação a outros genótipos, o que já havia sido observado em dois estudos da Epagri (STÜRMER et al. 2019, FACCHINELLO et al. 2022), nos quais reporta-se esterilidades estatisticamente menores na SC 806 em experimentos de estresse térmico por frio na microsporogênese conduzidos em ambientes de temperatura controlada. Além disso, essa resiliência da SC 806 a baixas temperaturas, verificada pelos dados deste evento espontâneo ora relatado, é corroborada por resultados de cinco experimentos em diferentes safras em locais de elevada altitude, sujeitos à menores temperaturas, que demonstraram que a SC 806 apresenta boas produtividades, similares ou superiores às testemunhas SCS116 Satoru e SCS122 Miura (MARSCHALEK et al. 2015, 2017, 2019a,b). Todas estas evidências, validam-se mutuamente, e confirmam que os dados do estudo ora apresentado, não são obra do mero acaso ou de escape, mas sim, indicam uma consistente maior resiliência da linhagem SC 806, que mantém desempenho coerente em experimentos ao longo de vários anos, desde ensaios de campo em locais de altitude, até em experimentos com temperatura controlada.

Outra particularidade da SC 806, descoberta durante trabalhos colaborativos entre UDESC e Epagri (tese de doutorado), foi sua tolerância a altas temperaturas (SOUZA et al. 2022). Isso pode indicar a existência de mecanismos sobrepostos de tolerância no período reprodutivo, o que já foi reportado por XIONG (2013). As altas temperaturas também ocorrem frequentemente e afligem a produção de arroz de Santa Catarina, sendo um destes eventos registrado por EBERHARDT (2010).

Além da SC 806, outra linhagem que apresentou bom desempenho foi a SC 775, todavia, esta não foi considerada promissora, e não mereceu destaque no presente texto, porque apesar de ter apresentado baixa esterilidade e alta produtividade (Tabela 1), o bom desempenho da mesma não se confirmou na média dos quatro anos em que esteve em análise em 5 VCUs conduzidos anualmente em Santa Catarina (dados não apresentados). Além disso, apresentou desempenho sensorial inferior, sendo descartada após a safra 2019/2020. Já a SC 806 foi avaliada agronomicamente durante cinco anos nos VCUs, e apresentou bom desempenho agrônomico, sensorial e de qualidade de grãos. Portanto, os resultados de esterilidade e produtividade da SC 806, a tornam uma candidata a ser lançada como cultivar comercial em breve (sementes comerciais estão em produção na safra 2022/2023), estando inclusive já registrada e protegida como variedade no RNC e SNPC (MAPA).

Concluindo, houve evidentes diferenças entre os genótipos avaliados, principalmente quanto ao nível de esterilidade que acometeu cada um deles diante do estresse térmico por baixa temperatura. A linhagem de arroz irrigado SC 806, considerada resiliente à baixas temperaturas na fase reprodutiva por diversas pesquisas anteriores, e validada neste estudo de caso, uma vez lançada como variedade comercial, e adotada pelos produtores, pode ajudar a mitigar e tamponar os eventuais riscos à produtividade decorrentes das mudanças climáticas em curso, propiciando maior segurança alimentar.

AGRADECIMENTOS

Aos assistentes de pesquisa Geovani Porto e Samuel Batista dos Santos. Ao Centro Agroveterinário da UDESC, pela longa parceria nos estudos de estresse por temperatura em arroz irrigado. Ao Dr. Angelo Mendes Massignam e Dr. Hamilton Justino Vieira (Epagri/Ciram).

REFERÊNCIAS

- COUNCE PA et al. 2000. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. *Crop Science* 40: 436-43.
- EBERHARDT DS et al. 2015. Recomendações para a produção de arroz irrigado em Santa Catarina (Sistema pré-germinado). Epagri: Florianópolis. 92p.
- EBERHARDT DS. 2010. Altas temperaturas afetam produtividade e qualidade do arroz irrigado do Estado. *Agropecuária Catarinense* 23: 12.

- FACCHINELLO PHK et al. 2022. Avaliação de linhagens de arroz irrigado Epagri submetidas à estresse de frio na microsporogênese. In: XII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. Resumos...Santa Maria: SOSBAI.
- KHAN S et al. 2019. Mechanisms and Adaptation Strategies to Improve Heat Tolerance in Rice. A Review. *Plants* 8: 508.
- LIU QA. 2013. The impact of climate change on plant epigenomes. *Trends in Genetics* 29: 503-505.
- MARSCHALEK R et al. 2015. Avaliação de genótipos de arroz irrigado em região de elevada altitude, sujeitos a baixas temperaturas 2013/14 - 2014/15. In: IX Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. Resumos... Pelotas: SOSBAI. 4p.
- MARSCHALEK R et al. 2017. Avaliação da produtividade de cultivares e linhagens de arroz irrigado em região de altitude, sujeita à baixas temperaturas, 2015/16 - 2016/17. In: X Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. Resumos...Gramado: SOSBAI. 4p.
- MARSCHALEK R et al. 2019a. Produtividade de cultivares e linhagens de arroz irrigado em região de altitude, sujeita a baixas temperaturas, safras 2017/18 e 2018/19. In: XI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. Resumos...Balneário Camboriu: SOSBAI. 4p.
- MARSCHALEK R et al. 2019b. Esterilidade e peso de grãos em genótipos de arroz irrigado sob condições controladas de baixa temperatura na microsporogênese e antese. In: XI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. Resumos...Balneário Camboriu: SOSBAI. 4p.
- MARSCHALEK R et al. 2022. Comportamento de linhagem de arroz irrigado tolerante à frio (SC806) sob ocorrência de baixas temperaturas de campo, na fase reprodutiva, na safra 2020/21. In: XII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. Resumos Resumos...Santa Maria: SOSBAI. 4p.
- NAJEEB S et al. 2021. Genetics and Breeding of Low-Temperature Stress Tolerance in Rice. In: ALI J et al. (Ed.) *Rice improvement: physiological, molecular Breeding and genetic perspectives*. Metro Manila: Springer. p.221-279.
- RAMALHO MAP et al. 2009. Genetic plant improvement and climate changes. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 9: 189-195.
- ROZZETTO DS et al. 2015. Tolerância de genótipos de arroz irrigado submetidos a estresses por baixas temperaturas na fase reprodutiva. *Agropecuária Catarinense* 28: 61-66.
- SAMEJIMA H et al. 2020. A method for evaluating cold tolerance in rice during reproductive growth stages under natural low-temperature conditions in tropical highlands in Kenya. *Plant Production Science* 23: 466-476.
- SHINADA H et al. 2013. Genetical and morphological characterization of cold tolerance at fertilization stage in rice. *Breeding Science* 63: 197-204.
- SILVA FAS & AZEVEDO CAV. 2016. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research* 11: 3733-3740.
- SOSBAI. 2018. Sociedade sul-brasileira de arroz irrigado Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Cachoeirinha: Sosbai. 205p.
- SOUZA NM et al. 2017. Spikelet sterility in rice genotypes affected by temperature at microsporogenesis. *Revista Agriambi* 21: 817-821.
- SOUZA NM et al. 2022. Tolerance of lowland rice (*Oryza sativa*) genotypes to heat stress at anthesis. *Agropecuária Catarinense* 35: 50-54.
- STÜRMER FW et al. 2017. Esterilidade e produção de grãos de genótipos de arroz irrigado submetidos à baixa temperatura na fase de microsporogênese. In: X Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. Resumos...Gramado: SOSBAI. 4p.
- STÜRMER FW et al. 2019. Esterilidade de espiguetas e produção de grãos de genótipos de arroz irrigado submetidos a baixas temperaturas na microsporogênese. *Revista Agropecuária Catarinense* 32: 57-61.
- XIAO N et al. 2021. Molecular Breeding for improving Cold Tolerance in Rice: recent progress and future perspectives. In: HOSSAINMA et al. (Ed.). *Molecular Breeding for rice abiotic stress tolerance and nutritional quality*. Hoboken: Wiley Blackwell. p.120-130.
- XIONG L. 2013. Abiotic Stress Resistance In: ZHANG et al. (Ed.) *Genetics and Genomics of Rice*. New York: Springer. p.204-205.
- YE C et al. 2021. Genetics and Breeding of Heat Tolerance in Rice. In: ALI J et al. (Ed.) *Rice improvement: physiological, molecular Breeding and genetic perspectives*. Metro Manila: Springer. p.203-219.