

# Tolerância de genótipos de arroz irrigado submetidos a estresse por baixas temperaturas na fase reprodutiva

Diane Simon Rozzetto<sup>1</sup>, Rubens Marschalek<sup>2</sup>, Henri Stuker<sup>3</sup>, Juliana Vieira Raimondi<sup>4</sup>,  
Domingos Sávio Eberhardt<sup>5</sup> e Ronaldir Knoblauch<sup>3</sup>

**Resumo** – A microsporogênese é o estágio reprodutivo mais afetado pela ocorrência de baixas temperaturas. Este estudo teve como objetivo analisar os efeitos da ocorrência de baixas temperaturas durante o estágio reprodutivo em linhagens promissoras de arroz irrigado da Epagri. O experimento foi realizado na Epagri/Estação Experimental de Itajaí. Os genótipos avaliados foram as linhagens SC 491, SC 756 e o cultivar SCS116 Satoru. Os mesmos genótipos mantidos em 25 a 28°C foram tidos como testemunhas. As plantas de arroz foram submetidas à temperatura de 14°C em câmaras de crescimento com fotoperíodo de 13 horas luz/11 horas escuro, em diferentes períodos: i) no estágio de microsporogênese; ii) na antese; e iii) na microsporogênese e na antese. As plantas foram avaliadas quanto a peso de grãos por planta, esterilidade e peso de mil sementes. Os genótipos testados apresentaram comportamento diferenciado para tolerância a baixas temperaturas. As linhagens SC 491 e SC 756 apresentam potencial para utilização no programa de melhoramento como fonte de resistência a baixas temperaturas.

**Termos para indexação:** *Oryza sativa*; tolerância a frio; melhoramento genético; emborrachamento; antese.

## Tolerance of rice genotypes under low temperatures in reproductive stages

**Abstract** – Microsporogenesis is the reproductive stage most affected by the occurrence of low temperatures. This study aimed to evaluate the effects of low temperatures during the reproductive stage in inbred rice lines from Epagri. The experiment was carried out at the Itajaí Experiment Station of Epagri (Santa Catarina State Agricultural Research and Rural Extension Agency); the genotypes evaluated were the SC 491, SC 756 (inbred lines) and the cultivar SCS116 Satoru. The same genotypes were grown under 25° to 28°C, as controls treatment. The rice plants were kept on temperatures of 14°C in a growth chamber with a photoperiod of 13 hours light / 11 dark hours at different stages: i) microsporogenesis; ii) anthesis; and iii) at microsporogenesis and anthesis. Plants were evaluated for grain weight; sterility and grain weight. The genotypes tested showed different degrees of tolerance to low temperatures during reproductive stages. The inbred lines SC 491 and SC 756 have potential for use in the breeding program as a source of resistance to low temperatures.

**Index terms:** *Oryza sativa*; cold tolerance; breeding; booting stage; anthesis.

## Introdução

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, desempenhando papel estratégico na solução de questões de segurança alimentar (SOSBAI, 2014). Entretanto, é uma cultura sujeita a diversos estresses, entre os quais se destacam os estresses abióticos, especialmente a ocorrência de baixas temperaturas. A espécie *O. sativa* é de ori-

gem tropical, sendo também cultivada em regiões subtropicais e temperadas, nas quais podem ocorrer temperaturas abaixo das ótimas para seu desenvolvimento. De acordo com Yoshida (1981), a temperatura ideal para o desenvolvimento do arroz gira em torno de 25° a 30°C. Temperaturas inferiores a essas podem ocasionar estresse e têm sido um dos fatores limitantes tanto no rendimento quanto na qualidade dos grãos do arroz cultivado na região Sul do Brasil

(CRUZ, 2001).

Cruz & Milach (2000) demonstraram que a tolerância a baixas temperaturas é controlada por mais de um gene. Aliado a isso, há um controle genético diferenciado, variando conforme o período de desenvolvimento da planta. A ocorrência de frio pode causar danos durante a fase de germinação, o período vegetativo e o reprodutivo. Os principais sintomas observados são redução na porcentagem de germinação, occasio-

Recebido em 30/6/2014. Aprovado para publicação em 20/12/2014.

<sup>1</sup> Bolsista CNPq no Projeto Epagri/AVANÇArroz (Repensa) – CNPq/562451/2010-2; mestrandia/USP/Esalq, Av. Pádua Dias, 11, 13418-900 Piracicaba, SP, e-mail: diane.sr@usp.br.

<sup>2</sup> Engenheiro-agrônomo, Dr., Epagri/Estação Experimental de Itajaí, C.P. 277, 88301-970 Itajaí, SC, e-mail: rubensm@epagri.sc.gov.br.

<sup>3</sup> Engenheiros-agrônomo, Dr., Epagri/Estação Experimental de Itajaí. (Aposentados)

<sup>4</sup> Bióloga, M.Sc., Doutoranda Recursos Genéticos Vegetais (CCA/UFSC).

<sup>5</sup> Engenheiro-agrônomo, M.Sc., Epagri/Estação Experimental de Itajaí. (Aposentado)

nando problemas no estabelecimento da lavoura, atraso no desenvolvimento das plântulas, esterilidade, manchas de grãos ou “exserção”<sup>6</sup> incompleta das panículas (SOUZA, 1990). É importante destacar que durante o período reprodutivo são observados os danos mais graves. Isso se deve ao fato de que o frio pode inviabilizar o pólen, causando esterilidade de grãos na microsporogênese – formação do grão de pólen – ou reduzindo a taxa de fecundação das espiguetas por prejudicar a formação do tubo polínico ou deiscência de anteras durante a antese (KHAN et al., 1986).

A tolerância ao frio no estágio de emborrachamento (*booting stage*), R2 (SOSBAI, 2014), tem sido incrementada em programas de melhoramento genético. Esse tipo de tolerância é avaliado pela esterilidade em condições de campo, usando-se água de irrigação a 18 ou 19°C, e pelo período de células-mães pré-meióticas até a maturidade dos grãos de pólen (SHINADA et al., 2013). Já a avaliação de frio no período de fertilização, antese, requer o desenvolvimento dos trabalhos em câmaras de crescimento controladas a fim de poder aplicar temperaturas específicas em estágios específicos, sem prévias injúrias no emborrachamento (microsporogênese) e um período de crescimento vegetativo uniforme. Variações fenotípicas e as bases genéticas para a tolerância ao frio na fertilização (antese) até hoje não foram bem esclarecidas (SHINADA et al., 2013).

A obtenção de variedades de arroz tolerantes a temperaturas baixas é uma importante ferramenta nos programas de melhoramento genético da cultura, pois permite a recomendação de cultivares mais bem adaptados à região Sul do Brasil, principalmente em locais de altitude elevada, onde a ocorrência de temperaturas baixas é frequente, especialmente na fase reprodutiva da cultura. Devido à complexidade da base genética do caráter, e por ser fator imprevisível e de difícil controle, a seleção de genótipos tolerantes ao frio em condições de campo pode representar um trabalho oneroso que depende muito

tempo. Dessa forma, os melhoristas precisam lançar mão de estratégias que facilitem esse trabalho. Segundo Cruz et al. (2006), a tolerância ao frio no período reprodutivo pode ser avaliada por meio da porcentagem de grãos estéreis nas plantas submetidas ao frio no referido estágio.

A gravidade e a extensão da questão das baixas temperaturas em arroz podem ser exemplificadas pela região do Alto Vale do Itajaí, onde se cultivam anualmente 11.500ha por 1.100 pequenos produtores, com área média de 10ha. O Alto Vale do Itajaí é uma das áreas mais expostas às baixas temperaturas durante o ciclo do arroz em função de sua altitude, que varia de 300 a 600m. A região não é, entretanto, a única exposta a eventuais baixas temperaturas na fase reprodutiva do arroz, pois mesmo no litoral e no Rio Grande do Sul se registra ocasionalmente o fenômeno. Recentemente, baixas temperaturas em janeiro, especialmente no Alto Vale do Itajaí, ocasionaram perdas na produtividade de arroz nos anos de 2007/08 e 2012/13. Essas ocorrências climáticas são cíclicas e imprevisíveis, aumentando os riscos do produtor rural. No litoral e no sul de SC, bem como no RS, os prejuízos do frio não se limitam às ocorrências do fenômeno durante a fase reprodutiva. Além do prejuízo direto à cultura na fase reprodutiva, a época de semeadura do arroz irrigado no sul do Brasil ocorre de agosto a dezembro, época na qual o arroz está exposto a oscilações na temperatura no estabelecimento das lavouras. Assim, devido a todas as questões apontadas, existe a necessidade de disponibilizar para os agricultores cultivares com elevado potencial produtivo e adaptados a tais condições ambientais.

Nesse sentido, a equipe de pesquisa do Projeto Arroz Irrigado da Epagri participou de esforços multidisciplinares (Embrapa: Projeto Orygens – Inovações genômicas para o descobrimento de genes e melhoramento genético de gramíneas) no tocante à identificação e localização de genes de potencial utilização no melhoramento de arroz para tolerância a baixas temperaturas. Ex-

perimentos conduzidos anualmente na Epagri, desde 2007/08 e 2008/09 (em condições de campo na época imprópria de cultivo do arroz, ou seja, outono-inverno, expuseram centenas de genótipos de arroz a baixas temperaturas na fase reprodutiva) (SCHMIDT, 2009).

Os dados resultantes desses anos de seleção (dados não publicados) demonstram que, frequentemente, a fertilização era completamente impedida pelo frio, gerando esterilidade acentuada ou total, impedindo quase sempre que ela fosse usada como critério diferenciador entre os genótipos. Por outro lado, os resultados foram animadores na medida em que demonstraram que, embora a Epagri tenha direcionado esforços para outros objetivos, as linhagens de arroz oriundas do programa de melhoramento demonstravam, fenotipicamente, diferenciados graus de sensibilidade ao frio, o que era percebido pelo grau de clorose e sobrevivência das plantas quando submetidas a esse estresse abiótico. Também alguns estudos feitos na Epagri se detiveram na influência das baixas temperaturas na fase de germinação e emergência (VIEIRA et al., 2009a; VIEIRA et al., 2009b).

Assim, este estudo teve como objetivo analisar os efeitos da ocorrência de baixas temperaturas durante o estágio de desenvolvimento reprodutivo em cultivares e linhagens de arroz irrigado da Epagri.

## Material e métodos

O experimento foi realizado na Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)/ Estação Experimental de Itajaí (EEI). Foi conduzido durante o ano agrícola 2012/13 em ambiente controlado – casa de vegetação e câmara de crescimento.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso com esquema de tratamento fatorial 3 x 4, com três repetições, no qual se estudou o comportamento de diferentes genótipos de arroz (Fator A – 3 níveis) ante baixas temperaturas em diferentes fases do estágio reprodutivo

<sup>6</sup> Nota do editor: O termo “exserção” é de uso corrente na orizicultura, mas não foi ainda dicionarizado, razão pela qual aqui está entre aspas. Ele tem sido usado com o sentido de “exposição da panícula saída da bainha da folha-bandeira”.

(Fator B – 4 níveis).

Genótipos selecionados como promissores nos experimentos de campo de outono/inverno conduzidos pela Epagri foram avaliados em cultivo normal de primavera-verão em área orizícola do Alto Vale do Itajaí, num sítio de elevada altitude (600m), sujeito a temperaturas mais baixas. Os resultados obtidos demonstram que há boa propensão de seleção de linhagens mais adaptadas às regiões de altitude, portanto, mais frias (MARSCHALEK et al., 2011; MARSCHALEK et al., 2013). Com base nas avaliações anteriores, selecionaram-se, para o presente estudo, alguns cultivares suscetíveis e algumas linhagens candidatas supostamente mais promissoras quanto à tolerância a baixas temperaturas. Os genótipos avaliados foram as linhagens SC 491 e SC 756, juntamente com a testemunha SCS116 Satoru. As linhagens foram selecionadas com base no histórico de safras anteriores, nas quais tiveram comportamento promissor quando cultivadas em condições de temperaturas baixas.

Para verificar o comportamento dos referidos genótipos, em outubro de 2012 as sementes foram colocadas para germinar em papel (germiteste) e levadas para a câmara de germinação à temperatura de 28°C durante três dias. Em seguida, as plântulas foram transplantadas para baldes de 5 litros, contendo solo e água. Assim, cada parcela foi constituída de três baldes, havendo duas plantas por balde. Durante o ciclo, foram realizadas adubações de acordo com Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil (SOSBAI, 2012), bem como controle preventivo de doenças utilizando fungicidas. Semanalmente, foi acompanhado o desenvolvimento das plantas de acordo com a escala de desenvolvimento reprodutivo com identificadores morfológicos apresentada por Counce et al. (2000) a fim de identificar o momento (estágio) em que elas seriam submetidas a baixas temperaturas.

A temperatura utilizada para as avaliações da reação dos genótipos ao frio foi 14°C durante cinco dias, aplicada em diferentes estágios de desenvolvimento. Para cada genótipo foram adotados os seguintes tratamentos: i) mantidas plantas permanentemente na casa de

vegetação com temperaturas favoráveis para o desenvolvimento (25 a 28°C) para servirem como controle (tratamento testemunha, sem estresse por frio); ii) levadas para câmara climatizada com temperatura constante de 14°C com fotoperíodo de 13 horas de luz/11 horas no escuro, no estágio de microsporogênese e umidade de 65%; iii) levadas para câmara climatizada (Instalafrio, PR) com temperatura constante de 14°C com fotoperíodo de 13 horas de luz/11 horas no escuro, no estágio de antese; e iv) levadas para câmara climatizada (Instalafrio, PR) com temperatura constante de 14°C com fotoperíodo de 13 horas de luz/11 horas no escuro, por 5 dias, no estágio de microsporogênese e novamente submetidas ao frio na antese, por mais 5 dias, resultando numa exposição total ao frio de 10 dias. Após o período de submissão ao frio, os baldes com as plantas foram retirados da câmara fria e novamente colocados em casa de vegetação a temperaturas ideais, junto ao tratamento testemunha.

As plantas foram colhidas individualmente na maturação e, posteriormente, avaliadas quanto a: peso de grãos por planta, esterilidade e peso de mil sementes. Os dados foram submetidos à análise da variância pelo procedimento GLM do SAS (LITTELL, 1996). O procedimento *lsmeans* (*least square means*) foi usado a fim de estimar os efeitos para cada nível dos fatores, bem como para uma possível interação entre eles. As médias para os fatores estudados, de acordo com a significância da interação entre eles, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## Resultados e discussão

A Tabela 1 apresenta um resumo da análise de variância para os caracteres peso de grãos por planta (g), esterilidade (% de grãos vazios) e peso de mil sementes (g) em genótipos de arroz submetidos a baixas temperaturas (14°C) em diferentes fases do estágio reprodutivo de desenvolvimento da cultura. O coeficiente de variação é um parâmetro utilizado como indicativo de precisão experimental, de forma que, quanto menor o valor da sua estimativa maior terá sido sua precisão. Segundo

Pimentel-Gomes (2009), a precisão experimental de acordo com o coeficiente de variação é alta quando este é inferior a 10%, média quando o coeficiente de variação se encontra entre 10% e 20% e baixa quando se encontra entre 20% e 30%. Quando o valor do coeficiente de variação é superior a 30%, diz-se que a precisão experimental é muito baixa para a variável resposta em questão. Dessa forma, pode ser destacado que os coeficientes de variação observados para todos os caracteres avaliados estão de acordo com o esperado, indicando, assim, precisão no experimento.

De acordo com os dados apresentados, para os caracteres peso de grãos por planta e peso de mil sementes, não houve interação significativa (Tabela 1) a 5% de probabilidade de erro entre os fatores genótipo e estágio em que as plantas foram submetidas ao frio ( $P > F = 0,7398$  e  $0,1900$  respectivamente). Assim, pode-se dizer que esses dois fatores agem independentemente sobre a variável resposta. Isso pode ser observado na Tabela 2, que apresenta os dados comparados pelo teste de Tukey para as variáveis (i) peso de grãos por planta e (ii) peso de mil sementes em cada um dos estágios em que as plantas foram submetidas a baixas temperaturas, bem como a testemunha, sem estresse por frio. Ou seja, com ou sem estresse, o genótipo cujo peso médio de grãos/planta é o maior sem estresse por frio, é também o genótipo com maior peso com estresse. Exatamente o mesmo acontece com o caráter peso de mil grãos. Tal situação, em termos de seleção no melhoramento genético, é a ideal.

Conforme relatado em trabalhos anteriores (CRUZ & MILLACH, 2000; CRUZ, 2001; MARTINS et al., 2007), a tolerância ao frio é um caráter de base genética complexa e possui controle diferenciado nas diferentes fases (estágios) de desenvolvimento. Além do mais, esse fator é de difícil controle no campo e pode inviabilizar os trabalhos de seleção. Cruz (2006) sugere que um bom indicativo para tolerância ao frio está relacionado à esterilidade dos grãos. Com relação a esse caráter, a interação entre genótipo e estágio de desenvolvimento em que elas foram submetidas ao frio foi significativa a 5% ( $P > F = 0,0011$ ) (Tabela ►

Tabela 1. Análise de variância para os caracteres peso de grãos por planta (g); esterilidade (% de grãos vazios) e peso de mil sementes (g) em genótipos de arroz submetidos a baixas temperaturas (14°C) em diferentes estágios de desenvolvimento

| Fonte de variação     | GL        | Peso de grãos/planta |            |               | Esterilidade |             |               | Peso de mil sementes |             |               |
|-----------------------|-----------|----------------------|------------|---------------|--------------|-------------|---------------|----------------------|-------------|---------------|
|                       |           | SQ                   | QM         | Pr>F          | SQ           | QM          | Pr>F          | SQ                   | QM          | Pr>F          |
| <b>Modelo</b>         | <b>13</b> | <b>3218</b>          | <b>247</b> | <b>0,0015</b> | <b>15449</b> | <b>1188</b> | <b>0,0001</b> | <b>102,22</b>        | <b>7,86</b> | <b>0,0013</b> |
| Bloco                 | 2         | 241                  | 120        | 0,1517        | 51           | 25          | 0,6965        | 1,30                 | 0,65        | 0,7036        |
| Genótipo              | 2         | 623                  | 311        | 0,0132        | 2303         | 1151        | 0,0001        | 14,39                | 7,19        | 0,0345        |
| Estágio frio          | 3         | 2147                 | 715        | 0,0001        | 10703        | 3567        | 0,0001        | 68,79                | 22,93       | 0,0001        |
| Genótipo/Estágio frio | 6         | 205                  | 34         | 0,7398        | 2390         | 398         | 0,0011        | 17,72                | 2,95        | 0,1900        |
| <b>Resíduo</b>        | <b>22</b> | <b>1293</b>          | <b>58</b>  | <b>-</b>      | <b>1547</b>  | <b>70</b>   | <b>-</b>      | <b>40,22</b>         | <b>1,82</b> | <b>-</b>      |
| <b>Total</b>          | <b>35</b> | <b>4511</b>          | <b>-</b>   | <b>-</b>      | <b>16997</b> | <b>-</b>    | <b>-</b>      | <b>142,44</b>        | <b>-</b>    | <b>-</b>      |
| <b>C.V.</b>           | <b>-</b>  | <b>29,55</b>         | <b>-</b>   | <b>-</b>      | <b>20,73</b> | <b>-</b>    | <b>-</b>      | <b>5,04</b>          | <b>-</b>    | <b>-</b>      |

Tabela 2. Média do peso de grãos por planta e peso de mil sementes dado em gramas (g) para cada genótipo e estágio em que as plantas foram submetidas a baixas temperaturas

| Estágio de incidência de frio <sup>(1)</sup> | Peso de grãos/planta (g) |                 |                | Média <sup>(2)</sup> |
|--|--------------------------|-----------------|----------------|----------------------|
|  | SC 491                   | SC 756          | SCS116 Satoru  |                      |
| Antese                                       | 33,38                    | 35,26           | 22,41          | <b>30,35 a</b>       |
| Microsporogênese e antese                    | 25,72                    | 15,99           | 15,45          | <b>19,05 b</b>       |
| Microsporogênese                             | 20,28                    | 19,11           | 14,54          | <b>17,97 b</b>       |
| Sem frio (testemunha)                        | 43,69                    | 35,29           | 30,06          | <b>36,34 a</b>       |
| <b>Média<sup>(2)</sup></b>                   | <b>30,76 a</b>           | <b>26,41 ab</b> | <b>20,65 b</b> | <b>-</b>             |
| <b>Média geral</b>                           | <b>-</b>                 | <b>-</b>        | <b>-</b>       | <b>25,93</b>         |
| Estágio de incidência de frio <sup>(1)</sup> | Peso de mil sementes (g) |                 |                | Média <sup>(2)</sup> |
|  | SC 491                   | SC 756          | SCS116 Satoru  |                      |
| Antese                                       | 27,09                    | 26,31           | 27,49          | <b>26,96 c</b>       |
| Microsporogênese e antese                    | 26,32                    | 25,63           | 26,77          | <b>26,24 bc</b>      |
| Microsporogênese                             | 24,77                    | 25,02           | 25,65          | <b>25,14 b</b>       |
| Sem frio (testemunha)                        | 30,97                    | 26,75           | 29,09          | <b>28,93 a</b>       |
| <b>Média<sup>(2)</sup></b>                   | <b>27,28 a</b>           | <b>25,92 a</b>  | <b>27,25 a</b> | <b>-</b>             |
| <b>Média geral</b>                           | <b>-</b>                 | <b>-</b>        | <b>-</b>       | <b>26,82</b>         |

<sup>(1)</sup> Estágio de desenvolvimento em que as plantas foram submetidas a baixas temperaturas (14°C), condição em que permaneceram por 5 dias.

<sup>(2)</sup> Médias seguidas pela mesma letra não diferem a 5% de significância pelo teste de Tukey.

1). Portanto, não se pode concluir para cada fator isoladamente, visto que existe interação entre os efeitos dos fatores. Esse fato indica que cada genótipo responde diferentemente ao estresse por baixas temperaturas nos diferentes estágios, isto é, há diferenças no nível

de tolerância ao frio nos diversos genótipos nos estágios testados. Para que se possa estudar a influência do estresse ocorrido, faz-se necessário o desdobramento dessa interação, apresentado na Tabela 3.

Para o tratamento testemunha,

mantido constantemente em ambiente controlado com temperaturas favoráveis ao desenvolvimento da cultura, ou seja, naquele cujas plantas dos três genótipos não foram submetidas a baixas temperaturas (Figura 1), não houve diferença significativa no nível de esterilidade dos três genótipos a 5% de probabilidade de erro. Em contrapartida, os genótipos avaliados apresentaram significativo aumento na esterilidade quando submetidos ao referido estresse, principalmente quando o frio foi aplicado nos estágios de microsporogênese e antese, conforme pode ser visualizado na Figura 2. Os dados indicam que, para a SC 491, o estágio mais crítico no tocante ao estresse por frio é a microsporogênese (Tabela 3). Também na SC 756 a maior esterilidade resultou da aplicação do frio na microsporogênese, seja isoladamente, seja acrescida de frio na antese, respectivamente originando 62,87% e 63,47% de esterilidade.

Por um lado, o cultivar SCS116 Satoru apresentou elevada esterilidade média, apresentando-se em patamares similares em qualquer um dos três estágios nos quais foi exposto ao frio. Por outro lado, as linhagens SC 491 e SC 756 demonstraram menor esterilidade. Con-

Tabela 3. Porcentagem de grãos vazios (esterilidade) em genótipos de arroz submetidos a baixas temperaturas (14°C) em diferentes estágios de desenvolvimento

| Variedade/estágio de desenvolvimento <sup>(1)</sup> | Esterilidade (%) <sup>(2)</sup> |    |                  |    |        |      |                           |
|---|---------------------------------|----|------------------|----|--------|------|---------------------------|
|   | Não submetidas ao frio          |    | Microsporogênese |    | Antese |      | Microsporogênese + antese |
| SC 491  | 16,22                           | Ab | 42,04            | Ba | 34,36  | ABab | 34,66 Bab                 |
| SC 756  | 7,77                            | Ab | 62,87            | Aa | 19,53  | Bb   | 63,47 Aa                  |
| SCS116 Satoru                                       | 19,73                           | Ab | 65,03            | Aa | 51,14  | Aa   | 68,50 Aa                  |

<sup>(1)</sup> Estágio de desenvolvimento em que as plantas foram submetidas a baixas temperaturas (14°C), condição em que permaneceram por 5 dias.

<sup>(2)</sup> Números seguidos pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem ao nível de significância de 5% pelo Teste de Tukey.

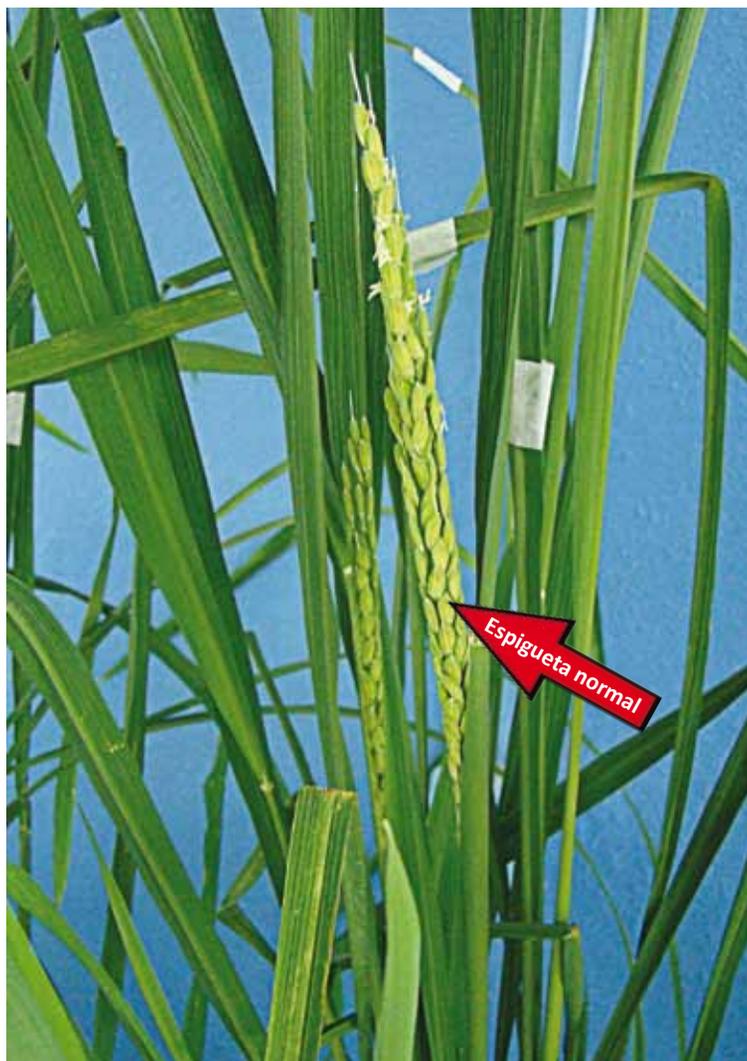


Figura 1. Formação de grãos de arroz (*Oryza sativa*) em tratamento testemunha mantido constantemente em ambiente controlado com temperaturas favoráveis ao desenvolvimento da cultura

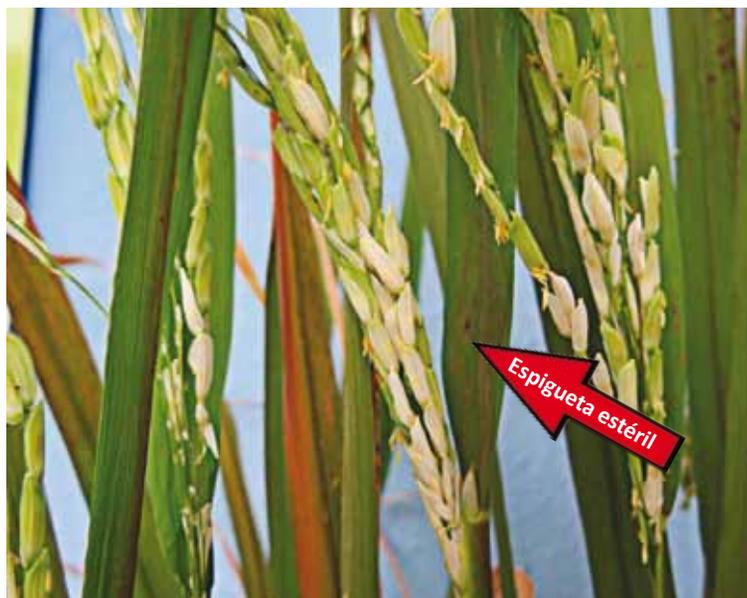


Figura 2. Esterilidade de grãos observada em planta de arroz (*Oryza sativa*) submetida a baixas temperaturas nos estágios de microsporogênese e antese. As espiguetas estéreis são as de cor branca

vém destacar aqui que o nível de temperatura usado (14°C) e o tempo de exposição (0 dia na testemunha, 5 dias na microsporogênese, 5 dias na antese, e 10 dias na microsporogênese e antese) são condições bastante drásticas.

Assim, considerando-se o aspecto aplicado deste estudo, ou seja, determinar se as linhagens previamente selecionadas como candidatas promissoras quanto à tolerância ao frio, é importante destacar que, de fato, uma delas, a SC 491, apresentou-se significativamente menos estéril (34,66% B) do que as demais quando o frio foi aplicado por 10 dias (microsporogênese + antese). A SC 491 também foi a menos estéril (42,04% B) quando a baixa temperatura foi aplicada por 5 dias somente na microsporogênese. Já a SC 756 parece ter boa tolerância a baixas temperaturas (esterilidade de 19,53%, B) quando o frio ocorre somente na antese, tendo, todavia, comportamento suscetível similar ao SCS116 Satoru quando se compara a esterilidade nos estágios de microsporogênese ou na microsporogênese + antese. De modo geral, fica bastante evidente que a SC 491 sob estresse apresenta menor esterilidade do que a SC 756 linhagem e do que o cultivar SCS116 Satoru.

Alvaro (1999) observou que a esterilidade normalmente varia de 10% a 12%, podendo aumentar até 60% quando a temperatura durante a floração for inferior a 20°C. Algumas variedades de arroz possuem a capacidade de suportar a ocorrência de baixas temperaturas sem reduzir drasticamente seu rendimento. Estudos anteriores demonstram que algumas plantas toleram temperaturas em torno de 15°C, especialmente nas fases de microsporogênese e antese, com esterilidade inferior a 15%, indicando tolerância (TERRES, et al., 1994). No presente estudo, nenhuma das duas linhagens (SC 491 e SC 756) candidatas revelou-se tão tolerante, mostrando cifras superiores de esterilidade. Mas, como já comentado, usou-se no presente estudo condição extrema de temperatura e tempo de exposição.

De maneira geral, a maior taxa de esterilidade é observada nos genótipos submetidos ao frio durante a microsporogênese bem como durante a microsporogênese + antese. Esses resultados corroboram aqueles encontrados por Cruz (2006), indicando ser o momento de formação do pólen o mais crítico quando comparado à antese (Tabela 3).

Segundo Cruz (2000), o melhoramento para essa característica em arroz não é uma tarefa fácil. Não obstante, cultivares com tolerância adequada já foram obtidos em outros locais do mundo onde o problema é mais sério. A tolerância ao frio tem sido considerada um dos principais objetivos para os programas de melhoramento do estado do Rio Grande do Sul, haja vista os prejuízos que ocorrem anualmente devidos à ocorrência de baixas temperaturas nos estágios críticos da cultura. Entretanto, naquele estado, a principal limitação trazida pelo frio é a dificuldade de

estabelecimento da cultura, ou seja, a influência pernicioso do frio na fase vegetativa, não abordada no presente estudo. Em Santa Catarina, especialmente para algumas regiões, a preocupação é a queda das temperaturas, provocadas por frentes frias na fase reprodutiva, o que implica redução no rendimento, o que ocorreu novamente no Alto Vale do Itajaí na safra 2012/13. Destaca-se, assim, a necessidade de atenção a esse caráter por parte dos programas de melhoramento a fim de tentar amenizar, através da tolerância varietal, os danos causados por esse estresse.

## Conclusão

No período reprodutivo do arroz, a microsporogênese é o estágio mais afetado pela ocorrência de baixas temperaturas. Os genótipos testados apresentaram comportamento diferenciado para tolerância a baixas temperaturas, indicando que existe variabilidade genética entre eles para o referido caráter. Especialmente a linhagem SC 491 apresentou potencial para uso direto, como variedade/cultivar, ou utilização no programa de melhoramento como fonte de resistência a baixas temperaturas.

## Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq (Projeto 402214/2008-0), à Rede AVANÇArroz – Avanços tecnológicos para a produção sustentável do arroz irrigado (Edital 22/2010) e à Fapesc (6980/10-9) – Avanços tecnológicos em arroz irrigado para a Região do Alto Vale do Itajaí, pelo apoio financeiro. Nossos agradecimentos aos assistentes de pesquisa, técnico agrícola Samuel Batista dos Santos e Geovani Porto, pelas contribuições na execução deste estudo.

## Referências

ALVARO, J.R. Influence of air temperature on rice population, length of period from sowing to flowering and spikelet sterility. In: HILL, J.E. et al. **Temperate rice conference**, 2., Sacramento, CA, EUA, 1999.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective and adaptive system for

expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v.40, n.2, p.436-443, 2000.

CRUZ, R.P. **Bases genéticas da tolerância ao frio em arroz (*Oryza sativa* L.)**. 2001. 155f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CRUZ, R.P.; MILACH, S.C.K. Melhoramento genético para tolerância ao frio em arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.5, p.909-917, 2000.

CRUZ, R.P.; MILACH, S.C.K.; FEDERIZZI, L.C. Rice cold tolerance at the reproductive stage in a controlled environment. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.63, n.3, p.255-261, 2006.

KHAN, D.R.; MACKILL, D.J.; VERGARA, B.S. Selection for tolerance to low temperature-induced spikelet sterility at anthesis in rice. **Crop Science**, Madison, v.26, n.4, p.694-698, 1986.

LITTELL, R.C.; MILLIKEN, G.A.; STROUP, W.W.; WOLFINGER, R.D. **SAS System for Mixed Models**. Cary, NC: Statistical Analysis Systems Institute. 1996. 633p

MARSCHALEK, R.; ANDRADE, A.; STUKER, H.; RAIMONDI, J.V.; PORTO, G.; SANTOS, S.B. **Avaliação de linhagens e cultivares de arroz irrigado em região de elevada altitude e baixa temperatura média, no alto vale do Itajaí**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2011, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: Sosbai, 2011. v.1. p.183-186.

MARSCHALEK, R.; ROZZETTO, D.S.; STUKER, H.; EBERHARDT, D.S.; RAIMONDI, J.V.; SANTOS, S.B.; PORTO, G.; PAZINI, B.S.; SOUZA, N.M. Seleção de genótipos de arroz irrigado adaptados a região de elevada altitude, sujeita a baixas temperaturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/Sosbai, 2013, p.181-184.

MARTINS, A.F.; VIEIRA, E.A.; KOPP, M.M.; LUZ, V.K. da; CARVALHO, M.F. de; BRANCO, J.S.C.; CRUZ, R.P. da; CARVALHO, F.I.F. de; OLIVEIRA, A.C. de. Caracterização de famílias mutantes de arroz para tolerância ao frio nos períodos vegetativos e reprodutivo. **Bragantia**, São Paulo, v.66, p.227-233, 2007.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Nobel, 2009, 467p.

SILVA, J.G.C. da. **Estatística Experimental**.

Pelotas, 1995, 427p. Disponível em: <<http://campusvirtual.ufpel.edu.br/cursos/aplic/index.php>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

SHINADA, H.; IWATA, N.; FUJINO, K. Genetical and morphological characterization of cold tolerance at fertilization stage in rice. **Breeding Science**, v.63, p.197-204, 2013.

SCHMIDT, A.B. **Desenvolvimento de painéis multiplex de marcadores microsatélites e mapeamento de QTLs de tolerância à seca e ao frio em linhagens puras recombinantes de arroz (*Oryza sativa* L.)**. 353f. 2009. Tese. (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: UFSC, 2009.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado (29:2012: Gravatal, SC). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil/Sociedade Sul Brasileira de arroz irrigado**. Itajaí, SC: Sosbai, 2012.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado (30:2014: Santa Maria, RS). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil/Sociedade Sul Brasileira de arroz irrigado**. Santa Maria, RS: SOSBAI, 2014. 189p.

SOUZA, P.R. Alguns aspectos da influência do clima temperado sobre a cultura do arroz irrigado, no sul do Brasil. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.43, n.389, p.9-11, 1990.

TERRES, A.L.; RIBEIRO, A.S.; MACHADO, M.O. Progress in breeding for cold tolerance semidwarf rice in Rio Grande do Sul, Brazil. In: TEMPERATURE RICE CONFERENCE. Yanco. **Proceedings...** Riverina: Charles Sturt University, 1994. p.43-50.

VIEIRA, J. **Acessos de arroz (*Oryza sativa* L.) tolerantes a temperatura baixa no estágio de germinação**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6, 2009, Porto Alegre, RA: Palotti, 2009a. (CD-ROM).

VIEIRA, J.; ROCHA, F.; MARSCHALEK, R.; TULMANN NETO, A. **Seleção de plantas em famílias mutantes M2 com variabilidade genética para tolerância ao frio na germinação**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6, 2009, Porto Alegre, RS: Palotti, 2009b. (CD-ROM).

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. cap.1, p.1-63. ■