

# INDICATIVOS DA PERDA DE QUALIDADE DE SEMENTES DE ARROZ SOB DIFERENTES TEMPERATURAS ATRAVÉS DA ATIVIDADE ENZIMÁTICA E RESPIRATÓRIA

Patricia Marini, Caroline Leivas Moraes, Cristina Ferreira Larré, Milene Conceição Lima,  
Dario Munt De Moraes e Luciano Do Amarante

## RESUMO

O trabalho objetivou analisar as modificações causadas na respiração, na atividade das enzimas do metabolismo respiratório e na qualidade fisiológica de sementes de arroz submetidas a diferentes temperaturas, bem como utilizar a relação entre esses parâmetros como indicativo do processo de deterioração de sementes. As sementes foram expostas durante 24h às temperaturas de 15; 25; 30 e 35°C, e submetidas aos testes de germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento e massas secas de parte aérea e raiz, condutividade elétrica, atividade respiratória e enzimática. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) com posterior análise de regress-

ão polinomial. As sementes de arroz apresentaram diminuição na germinação e no vigor a partir de temperaturas superiores a 25°C. A atividade da enzima malato desidrogenase foi superior nas plântulas que tiveram suas sementes expostas a 15 e 35°C (variando de 32,55 a 39,04  $\mu\text{mol NAD}^+/\text{g MF}/\text{min}$ , respectivamente), sendo que a enzima glicose-6-fosfato desidrogenase foi maior e sem diferenças significativas quando as sementes foram submetidas a 15; 30 e 35°C (0,58; 0,71 e 0,74  $\mu\text{mol NADPH}/\text{g MF}/\text{min}$ , respectivamente). Pode-se concluir que os testes bioquímicos avaliados podem ser utilizados para identificar o processo deteriorativo das sementes e que temperaturas superiores a 25°C depreciam a qualidade de sementes de arroz cultivar Pelota.

## Introdução

O Brasil apresenta uma diversidade de clima e, conseqüentemente, uma enorme variação nas condições ambientais, em especial no que diz respeito à temperatura. As constantes variações desta são encontradas nas diversas regiões do Brasil (Ramos *et al.*, 2006), podendo alterar as reações bioquímicas que regulam o metabolismo necessário para iniciar a germinação, comprometendo, assim, os atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que influenciam na capacidade da semente em originar plantas vigorosas e represen-

tativas da cultivar (Carvalho e Carvalho, 2009).

A perda do vigor das sementes pode estar relacionada com os eventos iniciais da seqüência de deterioração, que é evidenciada por vários fatores como atraso na germinação, decréscimo na tolerância às condições ambientais sub-ótimas durante a germinação, redução no crescimento das plântulas, aumento do número de plântulas anormais, perda da integridade do sistema de membranas, lixiviação de solutos, mudanças na atividade respiratória das sementes, modificações na atividade enzimática, incapacidade de manufatura do gradiente eletroquí-

mico, perda da compartimentalização celular e acúmulo de substâncias tóxicas (Santos *et al.*, 2004; Corte *et al.*, 2010), processos que, conseqüentemente, acarretarão problemas na produtividade das culturas.

Contudo, as variações na atividade enzimática e em nível de membranas, causadas por estresses abióticos, como a temperatura, não podem ser avaliadas somente por testes convencionais de germinação e vigor (Coutinho *et al.*, 2007), os quais não são suficientes para a identificação de parâmetros relacionados à deterioração de sementes, que precedam a perda da capacidade germinativa. Sendo as-

sim, é importante que se consiga avaliar as alterações causadas nas sementes nos estágios iniciais de deterioração, os quais estão relacionados com modificações no sistema de membranas (Carvalho *et al.*, 2009) e nas atividades respiratória e enzimática (Devi *et al.*, 2007; Lamarca, 2009). Dentre as alterações enzimáticas mais frequentes durante o processo de deterioração, destacam-se mudanças na atividade de enzimas respiratórias, o que acarreta problemas à respiração e atividades gerais de síntese, provocando, conseqüentemente, problemas na germinação e no vigor da semente.

## PALAVRAS CHAVE / Enzimas / Estresse / *Oryza sativa* L. / Qualidade Fisiológica / Respiração /

Recebido: 15/02/2012. Modificado: 21/01/2013. Aceito: 24/01/2013.

**Patricia Marini.** Bióloga, Doutora em Fisiologia Vegetal e Bolsista CAPES de Pós-Doutorado, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Brasil. Endereço: Departamento de Botânica, Instituto de Biologia, UFPEL. Caixa Postal: 354-CEP: 96.010-900 - Pelotas,

RS, Brasil. e-mail: patimarini@hotmail.com

**Caroline Leivas Moraes.** Bióloga, Doutora em Fisiologia Vegetal e Bolsista CAPES de Pós-Doutorado, UFPEL, Brasil.

**Cristina Ferreira Larré.** Bióloga e Doutora em Fisiologia Vegetal, UFPEL, Brasil. Técnica de Laboratório, UFPEL, Brasil.

**Milene Conceição Lima.** Bióloga Mestre em Fisiologia Vegetal, e Doutoranda em Fisiologia Vegetal, UFPEL, Brasil.

**Dario Munt de Moraes.** Engenheiro Agrônomo e Doutor em Agronomia, UFPEL, Brasil. Professor, UFPEL, Brasil.

**Luciano do Amarante.** Engenheiro Agrônomo e Doutor em Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas, Brasil. Professor, UFPEL, Brasil.

## SIGNS OF QUALITY LOSS IN RICE SEEDS AT DIFFERENT TEMPERATURES THROUGH OF ENZYMATIC ACTIVITY AND RESPIRATION

Patricia Marini, Caroline Leivas Moraes, Cristina Ferreira Larré, Milene Conceição Lima, Dario Munt De Moraes and Luciano Do Amarante

### SUMMARY

The modifications caused in the respiration, metabolic enzyme activity and physiological quality of rice seeds under different temperatures was analyzed, and the relationship between these parameters used as an indication of the deterioration process of seeds. Seeds were exposed during 24h and submitted to tests for germination, first count germination, index the germination speed, length and dry weight of shoot and roots, electrical conductivity, and respiratory and enzymatic activity. The experiment was completely randomized with four replicates and the averages compared by Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) with subsequent regression analysis. Rice seeds showed a decrease

in germination and vigor in temperatures above 25°C. The activity of malate dehydrogenase enzyme increased in the plants whose seeds were exposed to 15 and 35°C (ranging from 32.55 to 39.04  $\mu\text{mol NAD}^+/\text{g MF}/\text{min}$ , respectively), while the enzyme glucose-6-phosphate dehydrogenase increased with no significant differences when seeds were subjected to 15, 30 and 35°C (0.58, 0.71 and 0.74  $\mu\text{mol NADPH}/\text{g MF}/\text{min}$ , respectively). It can be concluded that the evaluated biochemical tests can be used to identify the deteriorating process of rice seeds and that temperatures above 25°C can deteriorate the quality of rice seeds var. Pelota.

## INDICATIVO DE LA PÉRDIDA DE LA CALIDAD DE LA SEMILLA DE ARROZ A TEMPERATURAS DIFERENTE A TRAVÉS DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA Y RESPIRATORIA

Patricia Marini, Caroline Leivas Moraes, Cristina Ferreira Larré, Milene Conceição Lima, Dario Munt De Moraes y Luciano Do Amarante

### RESUMEN

En este trabajo se analizan las modificaciones en la respiración, la actividad de las enzimas del metabolismo respiratorio y la calidad fisiológica de las semillas de arroz bajo diferentes temperaturas, así como el uso de la relación entre estos parámetros como indicativo del proceso de deterioro de la semillas. Las semillas fueron expuestas durante 24h a temperaturas de 15, 25, 30 y 35°C, y determinaron: germinación, primer conteo de germinación, índice de velocidad de germinación, longitud y peso seco de brotes y raíces, conductividad eléctrica, actividad respiratoria y enzimática. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), con posterior análisis de regresión polinómica. Las semillas de arroz

mostraron una disminución en la germinación y el vigor a temperaturas superiores a los 25°C. La actividad de la enzima malato fue mayor en plántulas cuyas semillas fueron expuestas a 15 y 35°C (entre 32,55 y 39,04  $\text{mol NAD}^+/\text{g MF}/\text{min}$ , respectivamente), y la enzima glucosa-6-fosfato deshidrogenasa se incrementó sin que hubiesen diferencias significativas cuando las semillas fueron sometidas a 15, 30 y 35°C (0,58, 0,71 y 0,74  $\text{mmol NADPH}/\text{g MF}/\text{min}$ , respectivamente). Se puede concluir que las pruebas bioquímicas evaluadas pueden ser utilizadas para identificar semillas deterioradas y que temperaturas superiores a 25°C pueden deteriorar la calidad de las semillas de arroz var. Pelota.

A temperatura influencia na viabilidade e no vigor da semente, interferindo no processo respiratório. Portanto, a avaliação desse processo tem merecido atenção especial devido à alta relação entre este fenômeno e a qualidade fisiológica da semente (Mendes *et al.*, 2009; Madruga, 2010).

Somado a este fator, alguns autores têm avaliado em plântulas a atividade de enzimas importantes no processo de respiração celular em resposta a algum tipo de estresse, como exemplo, a enzima malato desidrogenase (Coutinho *et al.*, 2007) que catalisa a

conversão de malato à oxaloacetato, tendo importante função dentro do ciclo de Krebs, além de participar do movimento de malato através da membrana mitocondrial em outros compartimentos celulares (Spinola *et al.*, 2000) e a glicose-6-fosfato desidrogenase (Van Heerden *et al.*, 2003; Shan-Zhi *et al.*, 2005), que atua na rota alternativa das pentoses monofosfatadas, sendo responsável pela manutenção de um nível adequado de NADPH nas células (Shan-Zhi *et al.*, 2005).

Por isso, diante da escassez de estudos acerca das alterações metabólicas ocorridas

nos estágios iniciais do processo de deterioração de sementes, o presente trabalho objetivou analisar as modificações causadas na respiração, em enzimas do metabolismo respiratório e na qualidade fisiológica de sementes de arroz, cultivar Pelota, submetidas a diferentes temperaturas, bem como utilizar a relação entre esses parâmetros como indicativo do processo de deterioração de sementes.

### Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Fisiologia

de Sementes, Departamento de Botânica, e no Laboratório de Bioquímica Vegetal, Departamento de Química e Geociências da Universidade Federal de Pelotas, Brasil. Foram utilizadas sementes de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivar Pelota, obtidas no Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado -CPACT-EMBRAPA.

As sementes de arroz foram armazenadas em BOD ajustada para as diferentes temperaturas (15; 25; 30 e 35°C), por 24h. Após esse período, a viabilidade e o vigor das mesmas foram avaliados através dos seguintes testes:

**Porcentual de germinação:** conduzido com 200 sementes (quatro subamostras de 50 sementes) para cada repetição, com quatro repetições, totalizando 800 sementes. As sementes foram semeadas em papel germitest, previamente umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa inicial do substrato e mantidas em germinador a 25°C, conforme as Regras de Análise de Sementes (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de germinação, evidenciando o número de plântulas classificadas como normais.

**Primeira contagem de germinação:** conduzido juntamente com o teste de germinação, sendo a primeira contagem, para o arroz, aos cinco dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

**Índice de velocidade de germinação (IVG):** realizado, conjuntamente com o teste de germinação, e as contagens diárias foram realizadas a partir da protrusão da radícula. O último dia de contagem para este teste foi o mesmo prescrito para o teste de germinação, o cálculo do IVG foi efetuado de acordo com Maguire (1962).

**Comprimento de parte aérea e raízes:** foram obtidos pela média de 40 plântulas, por repetição, ao final do teste de germinação. A avaliação foi realizada com o auxílio de uma régua graduada e os resultados expressos em mm/plântula.

**Massas secas de parte aérea e raízes:** estas variáveis foram obtidas gravimetricamente ao final do teste de germinação, utilizando-se 40 plântulas por tratamento, após secagem do material vegetal em estufa a 70 ±1°C, sendo os resultados expressos em mg/plântula.

**Condutividade elétrica:** foram utilizadas 400 sementes por tratamento (quatro subamostras de 25 sementes para cada repetição), totalizando quatro repetições. A massa das se-

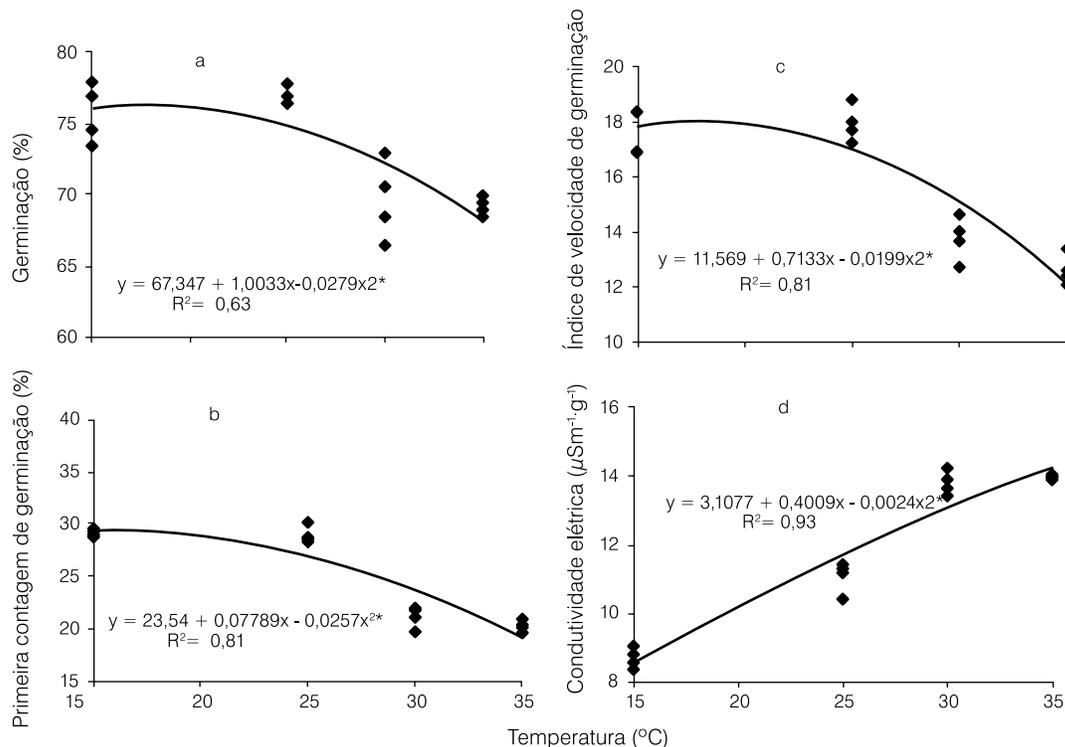


Figura 1. Germinação (a), primeira contagem de germinação (b), índice de velocidade de germinação (c) e condutividade elétrica (d) de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivar Pelota, submetidas a diferentes temperaturas (15; 25; 30 e 35°C) durante 24h. \* Significativo ao nível de 5 % pelo teste F.

mentes secas foi previamente determinada e as mesmas colocadas em bêquer com 80ml de água deionizada e mantidas em germinador com temperatura constante de 25°C. Após 24h foram realizadas as leituras em condutivímetro de bancada Digimed CD-21, sendo os resultados expressos em  $\mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  (Krzyzanowski *et al.*, 1991).

**Atividade respiratória das sementes:** foi determinada em aparelho de Pettenkofer. Foram colocadas 100g de sementes de arroz em um frasco armazenador, o qual foi levado para câmara tipo BOD na temperatura desejada (15; 25; 30 e 35°C), permanecendo nesta durante 24h. Após este período, foi realizada a medição da respiração das sementes, segundo metodologia descrita por Mendes *et al.*, (2009). Os resultados da taxa respiratória foram expressos em  $\mu\text{g CO}_2$  liberado/g de semente/h.

**Para a avaliação da atividade das enzimas respiratórias:** foram avaliadas a malato desidrogenase (EC 1.1.1.37) e a

glicose-6-fosfato desidrogenase (EC 1.1.1.49). Utilizaram-se plântulas coletadas ao final do teste de germinação, 14 dias após a semeadura (DAS). O extrato enzimático bruto para a determinação das atividades de ambas as enzimas foi obtido pela homogeneização de aproximadamente 800mg de material vegetal fresco (parte aérea e raízes das plântulas) em  $\text{N}_2$  líquido e polivinilpirrolidona (PVPP 1% p/v), seguida pela adição de 10ml de tampão de extração Tris-HCl 0,1M, pH 7,5, contendo EDTA 3mM e DTT 1mM. Após a maceração do material vegetal, o mesmo foi centrifugado a 10000xg, por 20min, à temperatura de 4°C ±1°C, segundo McCue *et al.* (2000). O sobrenadante obtido foi dessalinizado em coluna sephadex G-25 médio (PD 10; Amersham Pharmacia Biotech) e o eluído foi utilizado nos ensaios para a determinação da atividade enzimática. A atividade da malato desidrogenase (MDH) foi determinada segundo metodologia descrita por Ochoa (1955) com modificações, pelo

monitoramento da oxidação do NADH a 340nm a 25°C. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol NAD}^+/\text{g MF}/\text{min}$ . A atividade da glicose-6-fosfato desidrogenase (G6PDH) foi determinada segundo metodologia descrita por Duke *et al.*, (1977), pelo monitoramento da redução de NADP<sup>+</sup> a 340nm a 25°C. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol NADPH}/\text{g MF}/\text{min}$ .

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os dados relativos às variáveis mensuradas foram submetidos à análise de variância com posterior regressão polinomial.

## Resultados e Discussão

A curva de regressão evidenciou que o maior porcentual de germinação das sementes foi verificado na temperatura de 25°C, sendo que, nas temperaturas de 30 e 35°C a germinação foi afetada negativamente (Figura 1a). Estes resultados mostraram que em temperaturas superior-

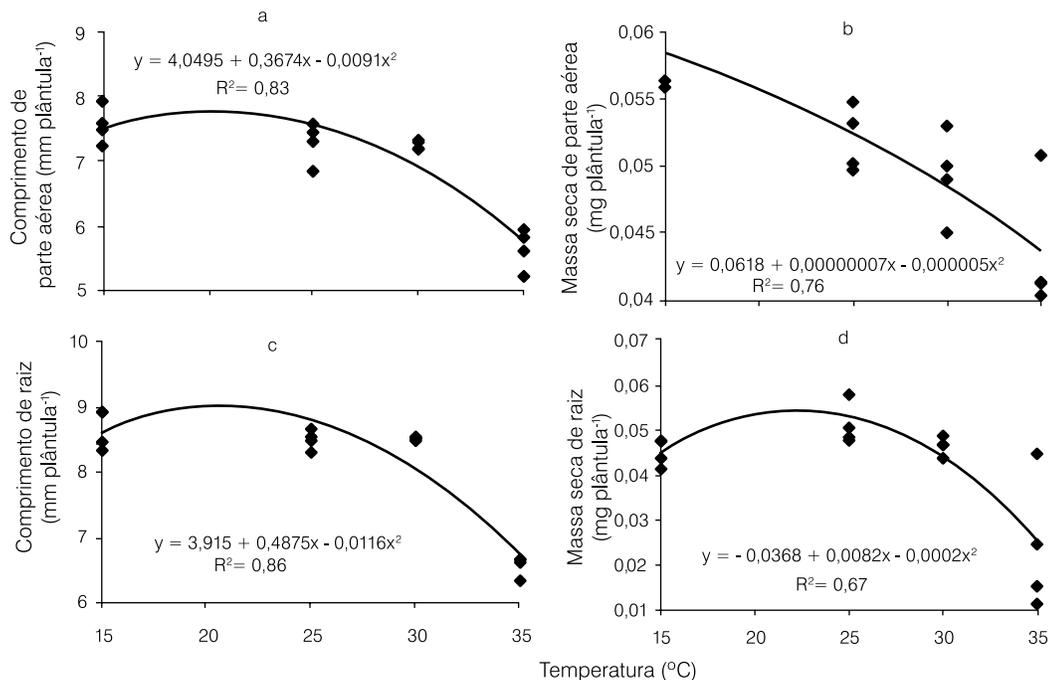


Figura 2. Comprimento de parte aérea (a) e raiz (c) e massas secas de parte aérea (b) e raiz (d) de plântulas de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivar Pelota, em função das temperaturas (15; 25; 30 e 35°C) durante 24h.

\*Significativo ao nível de 5% pelo teste F.

res a 25°C o processo germinativo é prejudicado, favorecendo a deterioração das sementes. Em contrapartida, em sementes de almeirão a germinação foi drasticamente reduzida em temperaturas menores que 15°C (Pinto Júnior *et al.*, 2009). Contudo, a temperatura de 35°C influenciou negativamente a porcentagem de germinação de sementes de rabanete (Steiner *et al.*, 2009), coentro (Pereira *et al.*, 2005) e cenoura (Pereira *et al.*, 2007), o que corrobora os resultados desta pesquisa.

Os dados referentes ao vigor, determinado pela primei-

ra contagem de germinação e índice de velocidade de germinação das sementes de arroz, mostraram que o melhor desempenho foi observado nas temperaturas de 15 e 25°C, sendo que as temperaturas mais elevadas (30°C e 35°C) contribuíram para a redução do vigor (Figura 1b, c).

A condutividade elétrica das sementes de arroz, da cultivar avaliada, aumentou com o acréscimo das temperaturas as quais as sementes foram expostas por 24h, indicando, alterações na permeabilidade das membranas e, como consequência, maior li-

xiviação de eletrólitos (Figura 1d). De acordo com Sá (1999), a exsudação de constituintes celulares está inversamente associada ao vigor, com base em três fatores: reflete a perda da integridade das membranas, representa a consequente perda de compartimentalização dos constituintes celulares e constitui excelente substrato para o desenvolvimento de micro-organismos.

O comprimento e a massa seca da parte aérea e das raízes, das plântulas de arroz, diminuíram com o incremento da temperatura (Figura 2), que não favoreceu o cresci-

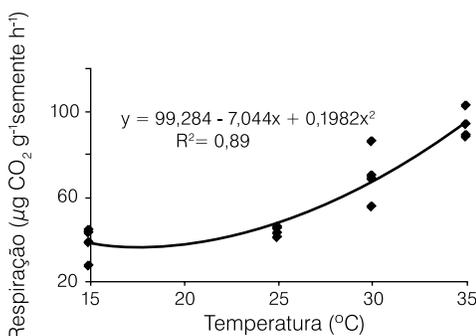


Figura 3. Taxa respiratória de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivar Pelota, submetidas a diferentes temperaturas (15; 25; 30 e 35°C) durante 24h. \*significativo ao nível de 5 % pelo teste F.

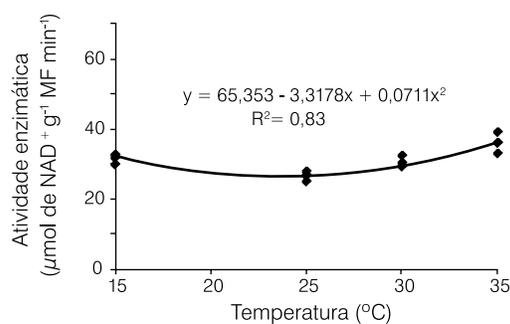


Figura 4. Atividade da enzima malato desidrogenase (MDH) em plântulas de arroz, cultivar Pelota, aos 14 dias após a semeadura (DAS) de sementes previamente submetidas às temperaturas de 15; 25; 30 e 35°C durante 24h.

mento inicial das plântulas, reduzindo, conseqüentemente, o vigor das mesmas. Estes resultados estão relacionados com as respostas das demais avaliações de vigor de sementes realizadas neste trabalho (Figura 1).

A taxa respiratória das sementes de arroz aumentou de forma exponencial, ou seja, à medida que aumentou a temperatura de exposição das sementes se verificou aumento da respiração (Figura 3). As sementes de arroz apresentaram maior taxa respiratória quando expostas por 24h à temperatura de 35°C e menor quando expostas à 15 e 25°C. Embora as sementes de arroz tenham apresentado maior atividade respiratória em 35°C, isto não demonstra que houve maior eficiência deste processo nesta temperatura, pois a exposição das sementes, por 24h à 35°C não favoreceu a qualidade fisiológica das mesmas, o que pôde ser evidenciado por meio do teste de condutividade elétrica, o qual demonstrou, nesta temperatura, menor vigor das sementes em estudo. Madruga (2010), avaliando a atividade respiratória de sementes de arroz cultivar Taim, em diferentes temperaturas, também constatou relação com testes padrões de qualidade fisiológica de sementes, assim como Mendes *et al.* (2009) avaliando sementes de soja, cultivar 8000, em temperatura ambiente (25°C).

A curva de regressão demonstrou tendência de maior atividade da enzima malato desidrogenase (MDH) nas plântulas que tiveram suas sementes previamente expostas às temperaturas extremas de 15 e 35°C, e menor quando as sementes foram submetidas à temperatura de 25°C. Contudo, através da curva de regressão, nota-se tendência a aumento da atividade enzimática nas plântulas que tiveram suas sementes previamente expostas à 35°C, indicando, desta forma, seu ponto máximo na função quadrática nesta temperatura aos 14 DAS (Figura 4).

A enzima malato desidrogenase catalisa a conversão de malato a oxaloacetato, com importante função de produção de NADH no ciclo de Krebs durante o processo de respiração, além de participar do movimento de malato através da membrana mitocondrial e outros compartimentos celulares (Spinola *et al.*, 2000). O aumento na atividade desta enzima nas plântulas oriundas de sementes expostas a 35°C pode ter ocorrido devido ao aumento do processo deteriorativo, característico de sementes de baixa qualidade, nas quais é comprovada a aceleração da atividade de enzimas envolvidas na respiração (Santos *et al.*, 2005). Da mesma forma, as plântulas de arroz menos vigorosas e com menor crescimento inicial foram as que tiveram suas sementes expostas previamente por 24h à 35°C (Figuras 1b, c, d e 2), evidenciando nesta temperatura alta atividade da MDH, o que pode ser explicado pelo aumento de sua atividade em diferentes compartimentos celulares e, pelo aumento da taxa respiratória nas sementes (Figura 3), as quais possivelmente já apresentavam transformações degenerativas, o que pode ter levado ao rápido consumo de suas reservas, logo no início do processo de germinação (Patané *et al.*, 2006), diminuindo a eficiência respiratória e, conseqüentemente, conduzindo ao menor aproveitamento nos processos de síntese, provocando decréscimo da germinação e vigor da semente, com reflexos diretos em suas plântulas.

Na menor temperatura (15°C) a respiração ocorreu de forma mais lenta e as reservas, por sua vez, não foram utilizadas de forma rápida, o que pode ter favorecido seu desdobramento e, conseqüente, utilização pelas plântulas. A atividade da enzima glicose-6-fosfato desidrogenase (G6PDH), aos 14 dias após a semeadura (DAS) foi superior e sem diferenças significativas

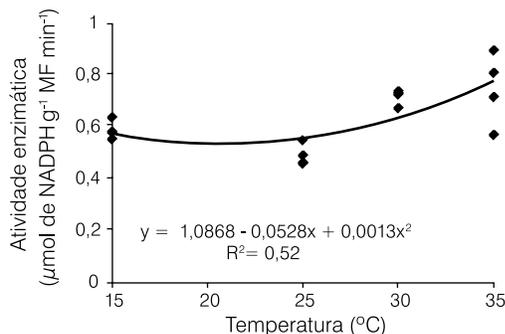


Figura 5. Atividade da enzima glicose-6-fosfato desidrogenase (G6PDH) em plântulas de arroz, cultivar Pelota, aos 14 dias após a semeadura (DAS) de sementes previamente submetidas a diferentes temperaturas (15; 25; 30 e 35°C) durante 24h.

nas plântulas de arroz, cultivar Pelota, quando as sementes foram expostas às temperaturas de 15; 30 e 35°C (Figura 5), porém, quando foram expostas a 25°C a atividade diminuiu significativamente, o que pode ser evidenciado na curva de regressão ajustada para esta enzima.

A resposta de plantas de soja (Van Heerden *et al.*, 2003) e banana (Shan-Zhi *et al.*, 2001) a baixas temperaturas resulta no aumento da capacidade de ocorrer à rota das pentoses monofosfatadas e, conseqüentemente, a atividade de sua enzima reguladora G6PDH, o que também foi observado nesta pesquisa, visto que a enzima G6PDH evidenciou maior atividade nas plântulas de arroz que tiveram suas sementes expostas a temperaturas extremas. Já em plantas cultivadas *in vitro* e submetidas à ambientes estressantes, tais como altas ou baixas temperaturas, foi possível observar diminuição da atividade da G6PDH e menor produção de NADPH (Kocsy *et al.*, 2001; Kevers *et al.*, 2004).

A maior atividade da enzima G6PDH observada na temperatura de 35°C aos 14 DAS não significou eficiência da atividade respiratória, visto que os testes de vigor avaliados através do comprimento e massa seca de parte aérea e raiz (Figura 2), assim como, a primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação (Figuras 1b, c) mostraram que esta temperatu-

ra em relação às menores, afetou negativamente a qualidade das sementes e plântulas em relação às menores temperaturas, evidenciando o início de um possível declínio das funções metabólicas, afetando o vigor das plântulas.

De maneira geral, temperaturas elevadas provocam diminuição do suprimento de aminoácidos livres, da síntese protéica e das reações anabólicas, podendo desnaturar proteínas e alterar a permeabilidade das membranas (Riley, 1981; Imatomi *et al.*, 2009). Enquanto, temperaturas baixas reduzem o processo de germinação devido à redução das atividades enzimáticas no metabolismo da semente (Matheus e Lopes, 2009), bem como a lixiviação de solutos para o meio externo.

A redução do poder germinativo possivelmente foi influenciada pelo início do processo deteriorativo ocasionado pela exposição das sementes às temperaturas mais elevadas (30 e 35°C), acarretando menor crescimento das plântulas (Figura 2) e elevação na atividade das enzimas respiratórias malato desidrogenase e glicose-6-fosfato desidrogenase (Figuras 4 e 5, respectivamente), uma vez que enzimas envolvidas na respiração podem ser ativadas em sementes de baixa qualidade (Santos *et al.*, 2005).

A análise da atividade enzimática, portanto, tem capacidade de avaliar os primeiros eventos da deterioração de sementes, pois estes eventos apresentam fortes relações com as modificações na atividade enzimática, a queda da velocidade e capacidade de germinação, assim como a diminuição no crescimento de plântulas (Santos *et al.*, 2004) e estas variáveis, por sua vez, dependem da eficiência dos processos metabólicos de síntese, apoiados por atividade respiratória eficiente, a qual depende de disponibilidade adequada de reservas acumuladas.

## Conclusões

A atividade respiratória e enzimática constituem indicadores da perda de qualidade de sementes e podem ser utilizadas para a identificação de parâmetros relacionados à deterioração de sementes.

A atividade respiratória e enzimática mostra alta relação com a qualidade fisiológica das sementes de arroz cultivar Pelota expostas às diferentes temperaturas.

Temperaturas superiores a 25°C depreciam a qualidade fisiológica das sementes de arroz cultivar Pelota.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Nacional Pós-Doutorado (PNPD/CAPES) e FAPERGS pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Brasil (2009). *Regras para Análise de Sementes*. SNAD/CLAV. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Brasília, Brasil. 398 pp.
- Carvalho DB, Carvalho RINde (2009) Qualidade fisiológica de sementes de guanxuma em influência do envelhecimento acelerado e da luz. *Acta Sci. Agron. 31*: 489-494.
- Carvalho LF, Sediya CS, Reis MS, Dias DCFS, Moreira MA (2009) Influência da temperatura de embebição da semente de soja no teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica. *Rev. Brás. Sem. 41*: 9-17.
- Corte VB, Borges EEL, Leite HG, Pereira BLC, Gonçalves JFC (2010). Estudo enzimático da deterioração de sementes de *Melanoxylon brauna* submetidas ao envelhecimento natural e acelerado. *Rev. Brás. Sem. 32*: 83-91.
- Coutinho WM, Silva-Mann R, Vieira MGGC, Machado CF, Machado JC (2007) Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de milho submetidas à termoterapia e condicionamento fisiológico. *Fitopatol. Brás. 32*: 458-464.
- Devi R, Muhjral N, Gupta AK, Kaur N (2007) Cadmium induced changes in carbohydrate status and enzymes of carbohydrate metabolism, glycolysis and pentose phosphate pathway in pea. *Env. Exp. Bot. 61*: 167-174.

- Duke SH, Schrader LE, Miller MG (1977) Low temperature effects on soybean (*Glycine max* L.) mitochondrial respiration and several dehydrogenase during imbibition and germination. *Plant Physiol.* 60: 716-722.
- Imatomi M, Peres SCJGdeA, Ferreira AG (2009) Caracterização e comportamento germinativo de sementes de *Casearia sylvestris* Swartz (SALICACEAE). *Rev. Brás. Sem.* 31: 36-47.
- Kevers C, Franck T, Strasser RJ, Dommès J, Gaspar T (2004) Hyperhydricity of micropropagated shoots: a typically stress-induced change of physiological state. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 77: 181-191.
- Kocsy G, Galiba G, Brunold C (2001) Role of glutathione in adaptation and signaling during chilling and cold acclimation in plants. *Physiol. Plant.* 113: 158-164.
- Krzyzanowski FC, França-Neto JB, Henning AA (1991) Relato dos testes de vigor disponíveis para grandes culturas. *Informativo ABRATES*: 15-50.
- Lamarca EV (2009) *Taxas Respiratórias e Velocidade de Deterioração de Sementes de Caesalpinia echinata Lam. em Função de Variações Hidricas e Térmicas*. Tese. Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, Brasil. 106 pp.
- Madruga PM (2010) *Atividade Respiratória e Bioquímica de Sementes de Arroz Submetidas a Diferentes Temperaturas*. Tese. Universidade Federal de Pelotas. Brasil. 50 pp.
- Maguire JD (1962) Speed of germination-aid in selection aid evolution for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2: 176-177.
- Matheus MT, Lopes JC (2009) Temperaturas cardinais para a germinação de sementes de *Erythrina variegata* L. *Rev. Brás. Sem.* 31: 115-122.
- McCue P, Zheng Z, Pinkham JL, Shetty K (2000) A model for enhanced pea seedling vigor following low pH and salicylic acid treatments. *Process Biochem.* 35: 603-613.
- Mendes CR, Moraes DM, Lima MGS, Lopes NF (2009) Respiratory activity for the differentiation of vigor on soybean seeds lots. *Rev. Brás. Sem.* 31: 171-176.
- Ochoa S (1955) Malic deshydrogenase from pig heart. Em Colowinck SP, Kaplan NO (Eds.) *Methods in Enzymology*. Academic Press. Nova Iorque, EEUU. pp. 735-739.
- Patané C, Cavallaro V, Avola G, D'agosta G (2006) Seed respiration of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] during germination as affected by temperature and osmoconditioning. *Seed Sci. Res.* 16: 251-260.
- Pereira RS, Muniz MFB, Nascimento WM (2005) Aspectos relacionados à qualidade de sementes de coentro. *Hort. Brás.* 23: 703-706.
- Pereira RS, Nascimento WM, Vieira JV (2007) Germinação e vigor de sementes de cenoura sob condições de altas temperaturas. *Hort. Brás.* 25: 215-219.
- Pinto Júnior AS, Steiner F, Schmidt MAH, Dranski JA, Rheinheimer AR, Zoz T, Echer MM, Guimarães VF (2009) Germinação de sementes de almeirão sob temperaturas adversas. *Hort. Brás.* 27: 1232-1238.
- Ramos MBP, Varela VP, Melo MFFde (2006) Influência da temperatura e da água sobre a germinação de sementes de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke Leguminosae-Caesalpinioideae). *Rev. Brás. Sem.* 28: 163-168.
- Riley GJP (1981) Effects of high temperature on protein synthesis during germination of Maize (*Zea mays* L.). *Rev. Planta* 151: 75-80.
- Sá ME (1999) Condutividade elétrica em sementes de tomate (*Lycopersicon lycopersicum* L.). *Sci. Agric.* 56: 13-20.
- Santos CMR, Menezes NL, Villela FA (2004) Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. *Rev. Brás. Sem.* 26: 110-119.
- Santos CMR, Menezes NL, Villela FA (2005) Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. *Rev. Brás. Sem.* 27: 104-114.
- Shan-Zhi L, Cai SY, Chen XM (2001) Effect of cold acclimation on calmodulin content and its regulative enzymes activities in banana seedlings. *Chin. J. Trop. Crops* 22: 29-35.
- Shan-Zhi L, Zhang ZY, Liu W, Lin YZ, Zhang O, Zhu B (2005). Role of glucose-6-phosphate dehydrogenase in freezing-induced freezing resistance of *Populus suaveolens*. *J. Plant Physiol. Mol. Biol.* 31: 34-40.
- Spinola MCM, Cicero SM, Melo M (2000) Alterações bioquímicas e fisiológicas em sementes de milho causadas pelo envelhecimento acelerado. *Sci. Agric.* 57: 263-270.
- Steiner F, Pinto Júnior AS, Zoz T, Guimarães VF, Dranski JAL, Rheinheimer AR (2009) Germinação de sementes de rabanete sob temperaturas adversas. *Rev. Brás. Sem. Ciênc. Agr.* 4: 430-434.
- Van Heerden PDR, De Villiers MF, Van Staden J, Kruger GHJ (2003) Dark chilling increases glucose-6-phosphate dehydrogenase activity in soybean leaves. *Physiol. Plant.* 119: 221-230.