

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal



Dissertação

**Qualidade fisiológica de sementes de arroz irrigado armazenadas
por dez anos em diferentes temperaturas**

FABÍOLA DE OLIVEIRA KRÜGER

Pelotas, 2013

Fabíola de Oliveira Krüger

**Qualidade fisiológica de sementes de arroz irrigado armazenadas
por dez anos em diferentes temperaturas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fisiologia Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Dario Munt de Moraes

Co-orientadores: Dr. Daniel Fernandez Franco

Dr^a. Caroline Jácome Costa

Pelotas, 2013

Dados de catalogação na fonte:
Ubirajara Buddin Cruz - CRB 10/901
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

K94q

Krüger, Fabíola de Oliveira

Qualidade fisiológica de sementes de arroz irrigado armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas / Fabíola de Oliveira Krüger. – 71f. ; il. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Pelotas. Instituto de Biologia. Pelotas, 2013. – Orientador Dario Munt de Moraes ; co-orientador Daniel Fernandez Franco e Caroline Jácome Costa.

1.Arroz irrigado. 2.*Oryza sativa* L. 3.Temperatura. 4.Viabilidade. 5.Vigor. I.Moraes, Dario Munt de. II.Franco, Daniel Fernandez. III.Costa, Caroline Jácome. IV.Título.

CDD: 633.88

Banca Examinadora:

Dr. Dario Munt de Moraes

Dr. Geri Eduardo Meneghello

Dr^a. Patricia Marini Madruga

*Dedico a Deus, meus pais
Luiz Krüger e Jeni Krüger.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por permitir essa conquista e por estar ao meu lado em todos os momentos dessa caminhada.

Aos meus pais Luiz e Jeni, pela educação, ensinamentos e, principalmente, pela preocupação em me proporcionar um futuro digno. Apesar das grandes dificuldades encontradas no dia a dia, nunca desistiram e sempre me ensinaram o caminho do bem, amo vocês.

Ao meu irmão Douglas e minha cunhada Fabiana por, sempre estarem ao meu lado, pela confiança e pelas palavras de esperança e otimismo.

Aos meus sobrinhos Alice e João Vitor pela presença maravilhosa, graça e alegria.

A minhas avós Ely e Dorvarina (em memória) pelo carinho e apoio recebidos durante toda minha caminhada nesta vida, sou muito grata a vocês.

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal por disponibilizar a estrutura física, corpo docente que possibilitaram a realização desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos e auxílio financeiro.

Ao meu orientador, professor Dario Munt de Moraes, pela orientação, confiança e respeito ao longo dessa etapa.

Aos meus co-orientadores Dr. Daniel Fernandez Franco e Dr^a. Caroline Jácome Costa, pela orientação, incentivo, amizade, carinho, dedicação, ensinamentos e apoio em todas as etapas deste trabalho, vocês são o meu estímulo em seguir em frente, meus sinceros agradecimentos e muito obrigado por fazerem parte de minha vida.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação pelos ensinamentos.

Aos funcionários da Embrapa Rosane Gosmes, Jurema, Alcides a equipe do Arroz aos funcionários da UFPel Luisa, Rudinei, Ari e Sandra pela amizade, carinho, dedicação e atenção que sempre tiveram comigo, muito obrigado.

Aos meus companheiros, amigos e fiéis escudeiros Marcio Gonçalves, Giovani Gouvêa, Chaiane Vaz, Paula Rodrigues, Andréa Martins, Fabiana Fonseca, Fernanda Tonel pela amizade, fidelidade, respeito, ajuda no trabalho e agradável convivência muito obrigada por tudo.

As amigas do Laboratório de Fisiologia Vegetal Cristina Larré, Caroline Moraes, Patricia Marini, Juliana de Magalhães, Natalia Silveira meu muito obrigado, pois sempre que precisei me estenderam.

A todos os colegas do programa de pós-graduação, e aos amigos que conquistei com os quais convivi e com quem muito aprendi.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse concluído da melhor maneira possível.

“Se não houver frutos, valeu a beleza das flores; se não houver flores, valeu a sombra das folhas; se não houver folhas, valeu a intenção da semente.”

Henrique de Sousa Filho (Henfil)

RESUMO

KRÜGER, Fabíola de Oliveira. Qualidade fisiológica de sementes de arroz irrigado armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas. 2013. N° de pag. 72. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

O armazenamento de sementes constitui etapa fundamental para a manutenção da qualidade física, fisiológica e sanitária das sementes. Entretanto, para a conservação de sementes em longo prazo, é necessário manter a atividade respiratória das sementes em níveis baixos, por meio da redução da temperatura ambiente e do grau de umidade, com a finalidade de reduzir a velocidade do processo de deterioração. Diante disso, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes de arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas. Foram utilizadas sementes das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza, armazenadas por dez anos a -15; 1 e 18 °C. Após o armazenamento, as sementes foram avaliadas quanto à umidade, germinação, primeira contagem de germinação, teste de frio modificado, emergência de plântulas em casa de vegetação, índice de velocidade de emergência, comprimento e massa seca de parte aérea e de raízes das plântulas oriundas dos testes de germinação e emergência, atividade de enzimas antioxidantes e atividade respiratória. Os resultados dos testes de viabilidade e vigor apresentaram as temperaturas de -15 e 1 °C como as melhores temperaturas para a manutenção da qualidade fisiológica das sementes, sendo estes resultados compatíveis com a atividade enzimática, sendo que as menores atividades das enzimas do sistema de defesa antioxidativo foram detectadas nas sementes armazenadas nas temperaturas que permitiram melhor conservação do seu potencial fisiológico. A atividade respiratória das sementes apresentou relação com o vigor das sementes armazenadas em diferentes temperaturas. De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que as sementes de arroz das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza mantêm a viabilidade e o vigor após dez anos de armazenamento a -15 e 1 °C.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., temperatura, viabilidade, vigor.

ABSTRACT

KRÜGER, Fabíola de Oliveira. Physiological quality of rice seeds stored for ten years at different temperatures. 2013. N° de pag. 72. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

Seed storage is an essential stage to maintain physical, physiological and sanitary quality of the seeds. However, for a long-term storage, it is necessary to keep the seeds respiratory activity at low levels, by reducing room temperature and moisture content, in order to slow of the deterioration process. Therefore, this research aimed to evaluate the physiological quality of rice seeds stored for ten years at different temperatures. We used seeds of the cultivars BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza stored for ten years at -15, 1 e 18 °C. After storage, the seeds were evaluated for moisture, germination, germination first count, modified cold test, seedling emergence in greenhouse, index of emergence speed, length and dry weight of shoots and roots of seedlings from germination and emergence tests, antioxidant enzymes activity and respiratory activity. The tests results for viability and vigor showed temperatures at -15 and 1°C as the best temperatures for maintaining the physiological quality of seeds, and these results are consistent with the enzymatic activity. The lowest enzyme activities of the anti-oxidative defense system were detected in seeds stored at the temperatures that allowed a better preservation of their physiological potential. The seeds respiratory activity presented a relation with the vigor of seeds stored at different temperatures. According to the obtained results, we concluded that rice seeds of cultivars BRS Pelota, Atalanta BRS and BRS Firmeza maintain viability and vigor after ten years of storage at -15 and 1° C.

Key-words: *Oryza sativa* L., temperature, viability, vigor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspecto das sementes das cultivares BRS Atalanta (a) e BRS Firmeza (b) armazenadas por dez anos na câmara de conservação de sementes, após serem submetidas ao teste de tetrazólio para avaliação da viabilidade das sementes..... 53, 66

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1: Qualidade fisiológica e atividade antioxidante de sementes e plântulas de arroz armazenadas sob diferentes temperaturas

Tabela 1. Grau de umidade (U), germinação, primeira contagem de germinação (PCG) e teste de frio (Frio) em sementes de três cultivares de arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas..... 47

Tabela 2. Comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz (CPR) e massa seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) de plântulas provenientes do teste de germinação de sementes de três cultivares de arroz armazenadas em diferentes temperaturas..... 48

Tabela 3. Atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) de plântulas de três cultivares de arroz, cinco dias após a semeadura (DAS) de sementes armazenadas por dez anos em -15 e 1 °C..... 49

Tabela 4. . Atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) em plântulas de arroz da cv. BRS Pelota cinco dias após a semeadura (DAS) de sementes armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas..... 50

Tabela 5. Atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) de plântulas provenientes do 5º dia do teste de germinação de sementes de arroz irrigado da cultivar BRS Pelota, armazenadas em diferentes temperaturas..... 51

Tabela 6. Atividade da enzima catalase (CAT) de plântulas provenientes do 14° após a semeadura de sementes das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza armazenadas em -15 e 1 °C por dez anos.....52

ARTIGO 2: Atividade respiratória para avaliação do vigor de sementes de arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas

Tabela 1: Germinação, emergência de plântulas em casa de vegetação, índice de velocidade de emergência (IVE) e atividade respiratória (Respiração) em sementes de três cultivares de arroz irrigado, armazenadas em por dez anos em diferentes temperaturas..... 64

Tabela 2. Comprimento da parte aérea (CPA) e raiz (CR) e massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) de plântulas obtidas do teste de emergência, provenientes de sementes das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza, armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas..... 65

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	14
REVISÃO DE LITERATURA.....	16
Cultura do arroz.....	16
Armazenamento de sementes.....	16
Conservação de sementes a curto, médio e longo prazos.....	17
Função do armazenamento.....	18
Grau de umidade e temperatura de armazenamento das sementes	19
Deterioração de sementes.....	20
Causas da deterioração.....	21
Avaliação da qualidade fisiológica das sementes.....	22
REFERÊNCIAS.....	24
ARTIGO 1.....	29
Introdução.....	31
Material e Métodos.....	33
Resultados e discussão.....	37
Conclusão.....	42
Referências.....	42
Tabelas.....	47
Figura.....	53
ARTIGO 2.....	54
Introdução.....	56
Material e Métodos.....	57
Resultados e discussão.....	59
Conclusão.....	62
Referências.....	62
Tabelas.....	64
Figura.....	66

INTRODUÇÃO GERAL

O arroz é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas. É o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando área aproximada de 158 milhões de hectares (SOSBAI, 2012). Entre os dez países maiores produtores de arroz, o Brasil encontra-se em nono lugar, sendo que 66,9% da produção nacional está localizada no estado do Rio Grande do Sul (CONAB, 2013).

A utilização de sementes de boa qualidade é fator de extrema importância para que se obtenha a produtividade esperada e o armazenamento é etapa fundamental para manutenção da qualidade fisiológica das sementes (MARCOS FILHO, 2005).

Entretanto a capacidade de uma semente em manter sua qualidade durante o armazenamento depende da longevidade inerente à espécie, da sua qualidade inicial e das condições ambientais de armazenamento (CARVALHO & VILLELA, 2006).

As sementes têm função fundamental na produção de grãos do país, sendo que grande parte dos pequenos produtores tem como prática guardar parte de sua produção para ser utilizada na nova safra como sementes. Mas, para que isto ocorra, as sementes devem ser armazenadas de forma segura e correta, a fim de manter sua qualidade fisiológica durante todo o período de armazenamento. Os problemas de conservação de produtos agrícolas tornam-se objeto de estudo permanente, visando prolongar ao máximo a qualidade dos produtos armazenados, sejam eles semente ou grão para consumo (BRAGANTINI, 2005).

A qualidade de sementes pode ser definida como um conjunto de características de natureza genética, sanitária, física e fisiológica que determinam seu valor para a semeadura. Esses quatro componentes básicos de qualidade apresentam importância equivalente, mas o potencial fisiológico tem despertado atenção especial da pesquisa (MARCOS FILHO, 2005).

De acordo com Carvalho & Nakagawa (2000), diversos fatores influenciam na conservação e manutenção da qualidade das sementes durante o armazenamento, dentre eles temperatura, umidade relativa do ar e o tipo de embalagem empregado.

A qualidade fisiológica das sementes tem sido um dos aspectos mais pesquisados nos últimos anos, em razão das sementes estarem sujeitas a diversas mudanças degenerativas, as quais podem ser de origem bioquímica, fisiológica e física que ocorrem após a sua maturidade, e que estão associadas à redução do vigor

(ALIZAGA et al., 1990). Assim, o armazenamento constitui etapa fundamental para manter a qualidade fisiológica da semente e garantir a manutenção de vigor e viabilidade no período compreendido entre a colheita e a semeadura (AZEVEDO et al., 2003).

Deste modo, o principal objetivo do armazenamento de sementes é o de reduzir a velocidade de deterioração, visto que a melhoria da qualidade não é possível, mesmo em condições ideais (VILLELA; PEREZ, 2004). Diante disso, objetivou-se, avaliar a qualidade fisiológica de sementes arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas.

REVISÃO DE LITERATURA

Cultura do arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) tem expressiva importância econômica e social nos países em que é produzido, constituindo um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana e representando a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas (CONAB, 2012). É o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando área aproximada de 158 milhões de hectares.

Os países com maior produção de arroz situam-se no continente asiático, sendo a China o maior produtor mundial. Entre os dez países maiores produtores de arroz, o Brasil encontra-se em nono lugar (SCIVITTARO; GOMES, 2007), constituindo o principal produtor de arroz do continente americano, com produção superior a 12 milhões de toneladas (IBGE, 2007), o que representa, aproximadamente, 1,8% do total mundial e cerca de 50% da produção das Américas (EMBRAPA, 2009).

O estado do Rio Grande do Sul é o principal produtor nacional de arroz irrigado com cerca um milhão de hectares de área cultivada e produtividade média de 7.000 Kg ha⁻¹, o que corresponde, aproximadamente, a 61% da produção nacional (SOSBAI, 2012).

Na safra de 2010/2011, a produção de arroz irrigado no Rio Grande do Sul foi de 13.135,1 mil toneladas (CONAB, 2011), com produtividade média de 7.500 Kg ha⁻¹ na safra 2011/2012, fazendo com que o país atingisse a auto-suficiência (CONAB, 2012). O contínuo desenvolvimento tecnológico tem levado a um aumento de produtividade e eficiência produtiva, o que vem colocando o Brasil em condições cada vez mais propícias para se tornar um forte competidor mundial (SOSBAI, 2012).

Armazenamento de sementes

Desde que o homem deixou de ser nômade e passou a cultivar seu próprio alimento, ele vem utilizando o armazenamento como uma atividade fundamental, com a finalidade de conservar as sementes para o próximo plantio. Inicialmente, essa atividade consistia na adoção de uma série de medidas que visavam a proteção das sementes contra o ataque de aves, insetos e microrganismos e, posteriormente, passou a ser etapa fundamental para a manutenção da qualidade fisiológica das

sementes, envolvendo o controle e monitoramento de vários aspectos ligados à viabilidade e aos fatores ambientais que interferem na longevidade das sementes. A complexidade das técnicas utilizadas durante o armazenamento das sementes depende, fundamentalmente, da finalidade da conservação e da longevidade requerida (MEDEIROS e EIRA, 2006).

O armazenamento tem por objetivo conservar as sementes, preservando suas qualidades físicas, fisiológicas e sanitárias, para posterior semeadura e obtenção de plantas sadias após a germinação. Dependendo do objetivo, pode ser necessária a sua conservação por períodos curtos ou longos (BENEDITO, 2010). Duas condições ambientais são fundamentais para a manutenção da viabilidade de sementes durante o armazenamento: umidade e temperatura. O período de armazenamento depende do planejamento do uso futuro das sementes, sendo considerado curto o período de até seis meses, médio, de até cinco anos e longo, superior a cinco anos (FOWLER; MARTINS, 2001).

A longevidade da semente é bastante influenciada pelas condições de armazenamento, sobretudo pelo teor de água e pela temperatura ambiental (VILLELA; PERES, 2004).

Além disso, de acordo com Vieira et al. (2001), sementes de várias espécies podem ser armazenadas por longos períodos sem tratamento, como muitas leguminosas pioneiras, mas outras necessitam preparação para o armazenamento e condições ambientais especiais. Assim, além do tratamento da própria semente, são necessários embalagem e ambiente apropriados. Os principais ambientes destinados ao armazenamento de sementes são câmara fria, câmara seca e câmara fria e seca, que se adaptam à maioria das condições (FREITAS; 2009).

Conservação de sementes a curto, médio e longo prazos

O armazenamento em curto prazo é realizado para conservar a qualidade das sementes no período compreendido entre a colheita e a semeadura (HARRINGTON, 1972). Em médio prazo, o armazenamento tem por objetivo garantir a demanda anual de sementes, possibilitando o estoque para os anos de baixa produção (CARNEIRO; AGUIAR, 1993). Nesses dois casos, as sementes ortodoxas podem ser acondicionadas em embalagem permeável e armazenadas em câmara seca ou acondicionadas em embalagem impermeável e armazenadas em câmara fria. Essas

duas condições de armazenamento podem ser realizadas em ambientes cujas temperaturas são superiores a zero (CARNEIRO; AGUIAR, 1993).

Para a conservação de sementes em longo prazo, é necessário manter a atividade respiratória das sementes em níveis baixos, por meio da redução da temperatura ambiente e do grau de umidade das sementes, sendo que a maioria das plantas cultivadas produz sementes cujo período de viabilidade pode ser prolongado pela redução da temperatura ambiente e do grau de umidade durante o armazenamento (FREITAS; 2009). Estas sementes podem ser armazenadas a temperaturas abaixo de zero, havendo limites para o armazenamento em temperaturas inferiores a zero apenas em casos excepcionais, por exemplo, quando o grau de umidade se eleva acima de 15%, o que pode causar danos às sementes por congelamento (GOEDERT, 1980).

Função do armazenamento

O armazenamento das sementes inicia-se quando estas atingem a maturidade fisiológica, sendo que o maior desafio é que as sementes, após certo período, ainda apresentem elevada qualidade fisiológica. Assim sendo, a função do armazenamento é manter a qualidade das sementes durante o período em que ficam armazenadas, visto que seu melhoramento não é possível mesmo sob condições ideais (VILLELA; PERES, 2004).

Como a deterioração das sementes é um processo irreversível, não se pode impedi-la, mas é possível retardar sua velocidade com o controle das condições ambientais durante o armazenamento eficiente das sementes (BAUDET, 2003).

Pode-se dizer que a função do armazenamento, tanto de grãos destinados à alimentação (humana ou animal) como de sementes, tem por base a conservação das condições iniciais ou o retardo da deterioração, através do controle de três principais fatores: umidade das sementes, umidade relativa do ar e temperatura do ambiente de armazenamento (MINOR; PASCHAL, 1982 e DHINGRA, 1985).

Dessa forma, o armazenamento tem por objetivo conservar as sementes, preservando sua qualidade física, fisiológica e sanitária, visando a posterior semeadura e obtenção de plantas vigorosas.

Grau de umidade e temperatura de armazenamento das sementes

A longevidade das sementes é variável de acordo com o genótipo, mas o período de conservação do potencial fisiológico depende, em grande parte, do grau de umidade e das condições do ambiente de armazenamento, sendo que o grau de umidade das sementes é a característica mais relacionada à velocidade de deterioração (MARCOS FILHO, 2005).

Durante o armazenamento, as sementes continuam em com suas atividades biológicas, como respiração, emissão de calor, vapor d'água e dióxido de carbono, cuja intensidade depende muito do grau de umidade da semente e da temperatura do ambiente (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

O alto grau de umidade das sementes, durante o armazenamento é uma das principais causas da perda do poder germinativo (DESAI et al., 1997), acarretando aumento da taxa respiratória e da atividade de microrganismos (HARRINGTON, 1972).

As consequências danosas do aumento do processo respiratório em um lote de sementes são caracterizadas pelo umedecimento e elevação da temperatura características que são agravadas quando é considerada a respiração dos microrganismos, bem como dos insetos que podem estar em associação com as sementes, o que pode refletir em rápido declínio da germinação e do vigor das sementes. O aumento do processo respiratório das sementes implica também no aumento do consumo de reservas, com a consequente perda de massa seca e vigor das sementes (BAUDET; VILELLA, 2006).

A umidade relativa do ar e a temperatura são os principais fatores que influenciam na manutenção da qualidade fisiológica da semente, em particular, do vigor, durante o armazenamento. A umidade relativa do ar tem relação com o grau de umidade das sementes, além de controlar a ocorrência dos diferentes processos metabólicos que ela pode sofrer, enquanto a temperatura influencia a velocidade dos processos bioquímicos e interfere indiretamente no grau de umidade das sementes.

Assim como a umidade, a temperatura é um fator muito importante no armazenamento das sementes. Temperaturas elevadas aceleram a respiração, bem como a atividade de microrganismos e insetos. Além disso, a temperatura e a umidade relativa do ar estão relacionadas, e o efeito de uma depende da outra (PARRELLA, 2011).

Sendo assim, a temperatura pode compensar os efeitos da alta umidade das sementes armazenadas, podendo-se armazenar sementes com umidade inadequada para conservação e manter a qualidade, através do manejo da temperatura (BURREL, 1970). Este mesmo autor mostrou que sementes de cevada, que apresentavam alta umidade, conservaram-se por um ano a 5 °C.

Estudos da ação da temperatura do ambiente sobre a massa de sementes têm oferecido dados importantes para melhoria das técnicas de armazenamento. Uma massa de sementes estando fria tem menor possibilidade de sofrer deterioração. Mesmo que seu valor de umidade seja alto, temperaturas baixas compensam os efeitos do grau de umidade, tanto no que diz respeito a processos metabólicos, quanto ao ataque de microrganismos, insetos e ácaros (BIZZETTO; HOMECHIN, 1997).

Dessa forma, as melhores condições para a manutenção da qualidade das sementes são baixa umidade relativa do ar e baixa temperatura, porque mantêm o embrião em sua mais baixa atividade metabólica (CORLETT, 2004).

Deterioração de sementes

As sementes atingem a máxima qualidade por ocasião da maturidade fisiológica, sendo que, a partir desse ponto, estão sujeitas a uma série de mudanças degenerativas de origem bioquímica, fisiológica e física. Essas mudanças caracterizam o processo de deterioração, o qual está associado com a redução do vigor e perda da capacidade germinativa das sementes (FREITAS, 2009).

O termo deterioração refere-se a toda e qualquer alteração fisiológica, bioquímica, física ou citológica, com início a partir da maturidade fisiológica, em ritmo progressivo, determinando a queda da qualidade e culminando com a morte da semente (MARCOS FILHO, 2005).

Toda e qualquer semente armazenada sofre deterioração que pode ser mais rápida ou mais lenta, dependendo das características ambientais e das características da própria semente. Geralmente, a redução da luminosidade, da temperatura e da umidade de ambos, semente e ambiente, faz com que seu metabolismo seja reduzido e que os microrganismos que as deterioram fiquem fora de ação, aumentando sua longevidade (VIEIRA et al., 2001).

O período que uma semente pode viver é determinado por suas características genéticas e recebe o nome de longevidade, enquanto que o período que a semente

realmente vive é determinado pela interação entre os fatores genéticos e ambientais. Esse período recebe o nome de viabilidade. É praticamente impossível determinar com exatidão o verdadeiro período de longevidade das sementes de uma espécie, no entanto, o tempo de vida que uma semente efetivamente vive dentro de seu período de longevidade em função de fatores como as características genéticas da planta mãe; vigor das plantas progenitoras e as condições climáticas durante a maturação (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

A manifestação da deterioração das sementes está muito associada ao armazenamento. No entanto, teoricamente este processo tem início na maturidade fisiológica e pode ser acelerada em qualquer etapa pós-maturidade, podendo se estender até o período de pós-semeadura. Não se pode negar, no entanto, que é detectada, com maior frequência, durante o armazenamento. A perda do poder germinativo é a consequência final da deterioração das sementes, ou seja, ocorre considerável deterioração antes que haja diminuição na percentagem de germinação (MARCOS FILHO, 2005).

Dentre as principais alterações envolvidas na deterioração das sementes, destacam-se o esgotamento das reservas alimentares, a alteração da composição química, como a oxidação dos lipídeos e a quebra parcial das proteínas, a alteração das membranas celulares, com redução da sua integridade, alterações enzimáticas e alterações nos nucleotídeos (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

Causas da deterioração

Sob quaisquer condições ambientais, as sementes deterioram-se, em armazéns comuns ou bancos de germoplasma. Esse processo, também chamado de envelhecimento das sementes, é de grande importância, pois, muitas vezes, seu efeito só é sentido no campo, após a constatação de baixo desempenho das sementes. A redução do potencial fisiológico das sementes pode ser percebida através da redução da germinação, velocidade e uniformidade de emergência das plântulas.

Outros eventos constatados na deterioração das sementes incluem alterações no material genético, baixa atividade de enzimas e menor produção de ATP. Há também várias referências à redução da síntese de DNA e da atividade respiratória, além da sensibilidade das mitocôndrias à deterioração. Em adição a essa

manifestações bioquímicas, são destacadas as alterações na estrutura do sistema de membranas celulares. Sabe-se que organelas de partes diferentes dos tecidos das células possuem funções específicas, diferindo em forma, metabolismo, função e sensibilidade. Macromoléculas, que são essenciais para a germinação, degradam-se durante o envelhecimento (MARCOS FILHO, 2005). Para Marcos Filho (2005), algumas destas proteínas-chave podem ser indicadoras da qualidade das sementes (vigor), mesmo quando ocorre diminuição das reservas das mesmas.

Avaliação da qualidade fisiológica das sementes

A avaliação da qualidade das sementes após sua colheita pode ser realizada através de testes laboratoriais, os quais são capazes de fornecer dados seguros sobre a sua capacidade de produzir um estande adequado e uniforme de plantas no campo, que é o principal interesse dos agricultores na fase de estabelecimento das culturas (PERETTI, 1994).

A determinação da percentagem de germinação de um lote de sementes tem importância significativa, pois, através do teste de germinação, o produtor terá condições de conhecer o percentual máximo de sementes germináveis de um lote, orientando o cálculo da densidade de semeadura (BRASIL, 2009).

Uma das grandes vantagens do teste de germinação é o fato de ser altamente padronizado e de fácil reprodução entre laboratórios, o que torna elevada a confiabilidade de seus resultados (BRASIL, 2009).

A avaliação da qualidade das sementes por meio do teste de germinação permite que elas expressem sua viabilidade sob condições favoráveis. Entretanto, em situações naturais, as sementes estão submetidas a uma série condições adversas, como variações na umidade do solo, radiação e competição, condições desfavoráveis que nem sempre permitem a expressão de todo seu potencial germinativo (HILHORST et al., 2001). Nesse sentido, os primeiros testes de vigor surgiram com o objetivo de identificar lotes com melhor comportamento no campo (PIÑA-RODRIGUES et al., 2004).

O vigor de sementes é definido pela AOSA (ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSIS, 1983) como uma das propriedades das sementes que determina seu potencial para uma emergência rápida e uniforme com o desenvolvimento de plântulas normais em uma ampla faixa de condições ambientais.

Os métodos de avaliação do vigor podem ser classificados em diretos, quando realizados no campo ou em condições de laboratório que simulem fatores adversos de campo, ou indiretos, quando realizados em laboratório, mas avaliando as características físicas, fisiológicas e bioquímicas que expressam a qualidade das sementes (PIÑA-RODRIGUES et al., 2004).

REFERÊNCIAS

- ALIGAZA, R. L.; MELLO, V. D. C.; SANTOS, D. S. B.; IRIGON, D. L. Avaliação de testes de vigor em sementes de feijão e suas relações com a emergência em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 12, n. 2, p. 44-58, 1990.
- AOSA. Association of Official Seed Analysts. Seed vigour handbook. In: **The handbook of seed testing**. East Lansing, 1983. 88p.
- AGUIAR, I. B.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLLA, M. B. **Sementes florestais e tropicais**. Brasília-DF, ABRATES, 1993. 350p.
- AZEVEDO, M. R. de Q. A.; GOUVEIA, J. P. G. de.; TROVÃO, D. M. de M. Influencia das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.519-524, 2003.
- BAUDET, L. Armazenamento de Sementes. In: PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M. D.; ROTA, G. M. (Ed.) **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: Gráfica Universitária-UFPel, 2003, p.369-418.
- BAUDET, L.; VILLELA, F. A. Armazenamento de sementes. In: PESKE, S. LUCÇA FILHO, O. A.; BARROS, A. C. S. A. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2006. p.428-472.
- BRAGANTINI, C. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão**. Santo Antônio de Goiás. Embrapa Arroz e Feijão. 2005. 28p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.
- BENEDITO, C. P. **Armazenamento e viabilidade de sementes de catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth)**. 2010. 63f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2010.

BIZZETTO, A., HOMECHIN, M. Efeito do período e da temperatura de armazenamento na qualidade fisiologia e sanitária de sementes de soja com altos índices de *Phomopsis sojae*. Brasília, **Revista Brasileira de Sementes**, v. 19, n. 2, p. 295–302, maio/ago. 1997.

BURREL, N. J. The Chiled Storage of Grain Home. **Cereals Authority - Journal Ceres**, v.5, 1970.

CARNEIRO, J.G.A.; AGUIAR, I.B. Armazenamento de sementes. In: AGUIAR, I.B.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B. **Sementes florestais tropicais**. Brasília: ABRATES, 1993. p.333-350.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.

CORLETT, F. M. F. **Qualidade fisiológica de sementes de urucum (*Bixa orellana* L.) armazenadas em diferentes ambientes e embalagens**. 2004. 94f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Oitavo levantamento/Brasília, Brasil. 2013. 29p.

DHINGRA, O.D. Prejuízos causados por microorganismos durante o armazenamento de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v.7, n.1, p.139-145, 1985.

DESAI, B. B.; KOTTECHA, P. M.; SALUNKE, D. K. **Seeds handbook: biology, production, processing and storage**. New York: Marcel Dekker, 1997. 627p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Importância econômica, agrícola e alimentar do arroz**. 2009. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap01.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2010.

FOWLER, J.A.P.; MARTINS, E.G. **Manejo de sementes de espécies florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 76p. (Documentos, 58).

FREITAS, A. R. Deterioração e armazenamento de sementes de hortaliças. In: NASCIMENTO, M. W. (Ed.). **Tecnologia de Sementes de Hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. p.155-182.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação**: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004. 323 p.

GOEDERT, C.O. Conservação de germoplasma: tipos de sementes para armazenamento a longo prazo. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS, 1980, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA-CENARGEN: EMBRAPA – DID, 1980. p. 30-32.

HARRINGTON, J.F. Seed storage and longevity. In: KOZLOWSKI, T.T. **Seed biology**. v.3. New York: Academic Press, 1972. p. 145-245.

HILHORST, H.W.M.; BEWLEY, J. D.; CASTRO, R.D.; SILVA, E.A.A.; THEREZINHA, M.; BRANDÃO JR., D.; GUIMARÃES, R.M.; MACHADO, J.C.; ROSA, S.D.V.F.; BRADFORD, K.J. **Curso avançado em fisiologia e tecnologia de sementes**. Lavras: UFLA, 2001. p.74.

INSTITUTO BRASILEIRO D GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pamclo/2007/default.shtm>>. Acesso em: 06 mai. 2013.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

MENDES, S. S. **Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit): uma leguminosa de importância para os sistemas agrícolas do Nordeste**. 56f. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2006.

MEDEIROS, A.C.S.; EIRA, M.T.S. **Comportamento fisiológico, secagem e armazenamento de sementes florestais nativas**. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2006. 13p. (Circular técnica, 127).

MINOR, H.C.; PASCHAL, E.H. Variation in storability of soybeans under stimulated tropical conditions. **Seed Science and Technology**, v.10, p.131-139, 1982.

McDONALD, M. B. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Science and Technology**, v. 27, n. 1, p. 177-237, 1999.

PARRELLA, D.L.N.N. **Armazenamento de sementes**. Projeto Semana de Ciências e Tecnologia para estudantes dos municípios de Prudente de Moraes e Sete Lagoas do estado de Minas Gerais. FAPEMIG, 2011. 16p.

PERETTI, A. **Manual para análise de semillas**. 1ed. Buenos Aires: Hemisfério Sur, 1994. 282p.

PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B.; PEIXOTO, M.C. Teste de Qualidade. In: FERREIRA, G. A.; BORGHETTI, F. (Ed.). **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.283-297.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz Irrigado**. Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil / Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Itajaí, SC: SOSBAI, 2012. 179p., il.

SCIVITTARO, W.B.; GOMES, A.S. **Adubação e calagem para o arroz irrigado no Rio Grande Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 8p. (Circular Técnica, 62).

SMITH, M. T.; BERJAK, P. Deteriorative changes associated with loss of viability of stored desiccation tolerant and desiccation-sensitive seeds. In: Kiegel, J.; Galili, G. (Ed.). **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker Inc., 1995. p. 701-746.

VIEIRA, A H.; MARTINS, E.P.; PEQUENO, P. L de L.; LOCATELLI, M.; SOUZA, M.G. de. **Técnicas de produção de sementes florestais**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2001. 4p. (Circular Técnica, 205).

VILLELA, A. F.; PERES B. W. Coleta, beneficiamento e armazenamento. In: FERREIRA, G. A.; BORGHETTI, F. (Ed.). **Germinação**: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.265-281.

ARTIGO 1

Qualidade fisiológica e atividade antioxidante de sementes e plântulas de arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas

(De acordo com as normas da Revista Ceres)

**Qualidade fisiológica e atividade antioxidante de sementes e plântulas de arroz
armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas**

RESUMO

A deterioração de sementes pode ocorrer de forma acelerada quando estas apresentarem maturação precoce ou em razão de armazenamento inadequado. Nestes casos, pode ocorrer a perda da qualidade fisiológica como a produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs). Diante disso, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes e a atividade de enzimas antioxidantes em plântulas oriundas de sementes de arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas. As sementes de arroz das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza foram acondicionadas em embalagem impermeável e armazenadas por dez anos a -15; 1 e 18 °C. Após o armazenamento, as sementes foram avaliadas quanto ao grau de umidade, germinação, primeira contagem de germinação, teste de frio modificado, comprimento e massa seca da parte aérea e das raízes das plântulas e determinação da atividade de enzimas do sistema antioxidativo (SOD, CAT, APX). De acordo com os resultados dos testes de avaliação da qualidade fisiológica, para as sementes das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza, as temperaturas de -15 e 1 °C proporcionaram as melhores condições para a manutenção da viabilidade e do vigor das sementes. Estes resultados foram compatíveis com a atividade enzimática das plântulas provenientes de sementes armazenadas sob diferentes temperaturas, onde se observou que as menores atividades das enzimas do sistema de defesa antioxidativo foram detectadas nas sementes armazenadas nas temperaturas que permitiram melhor conservação do seu potencial fisiológico. Conclui-se que sementes de arroz das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza não mantêm a viabilidade e o vigor após dez anos de armazenamento a 18 °C, mas mantêm quando armazenadas a -15 e 1 °C. A menor atividade das enzimas do sistema de defesa antioxidante indica sementes de maior vigor.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., enzimas antioxidantes, potencial fisiológico, viabilidade.

ABSTRACT

Physiological quality and antioxidant activity of rice seeds and seedlings stored for ten years at different temperatures

Seeds deterioration can occur rapidly when they present early maturing or due to inappropriate storage. These cases can result in loss of physiological quality as well as excessive production of reactive oxygen species (ROS). Therefore, the research objective was to evaluate the seeds physiological quality and the activity of antioxidant enzymes in seedlings from rice seeds stored for ten years at different temperatures. Rice seeds of cultivars BRS Pelota, BRS Atalanta and BRS Firmeza were waterproof packed and stored for ten years at -15, 1 and 18°C. After storage, the seeds were evaluated for moisture content, germination, germination first count, modified cold test, length and dry mass of shoots and roots of seedlings and determination of the activity of enzymes of the antioxidant system (SOD, CAT, APX). According to the tests results for physiological quality for seeds of cultivars BRS Pelota, Atalanta BRS and BRS Firmness, temperatures at -15 and 1°C provided the best conditions for maintaining the seeds viability and vigor. These results were consistent with the enzymatic activity of seedlings from seeds stored at different temperatures, where it was observed that the lower activities of the enzymes of the anti-oxidative defense system were detected in seeds stored at temperatures that allowed a better preservation of their physiological potential. The conclusion is that rice seeds of cultivars BRS Pelota, Atalanta BRS and BRS Firmeza do not maintain viability and vigor after ten years of storage at 18 °C, but do when stored at -15. and 1°C. The lower activity of the anti-oxidant defense system enzymes indicates the most vigorous seeds.

Key words: *Oryza sativa* L., anti-oxidant enzymes, physiological potential, viability.

INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os dez países com maior produção de arroz (*Oryza sativa* L.), sendo que 66,9% da produção nacional está localizada no estado do Rio Grande do Sul (Conab, 2013). Por esse motivo, a boa qualidade das sementes é um fator de extrema importância para o sucesso das culturas, as quais buscam uniformidade, proveniente de atributos como alta qualidade genética, sanitária, física e fisiológica (Marcos Filho, 2005).

O armazenamento constitui etapa fundamental para manter a qualidade fisiológica das sementes e garantir a manutenção do vigor e da viabilidade durante o período compreendido entre a colheita e a semeadura (Azevedo et al., 2003). Com o avanço da genética e do melhoramento de plantas, percebeu-se a necessidade de armazenar pequenos estoques de sementes por períodos mais longos. Posteriormente, ao observar a perda de material genético que poderia ser valioso para trabalhos de melhoramento, foram criados os bancos de germoplasma, com a missão de conservar materiais genéticos de uso atual ou potencial pelo maior período de tempo possível (Medeiros et al., 2006), exigindo o monitoramento constante dos principais fatores que interferem na conservação das sementes como a temperatura, o grau de umidade das sementes e umidade relativa do ar (Carvalho; Nakagawa, 2012).

Contudo, sabe-se que o processo de deterioração é contínuo e se inicia logo após a maturidade fisiológica prosseguindo até a perda completa da viabilidade das sementes. Embora este processo seja irreversível, mas é possível retardar sua velocidade com o controle das condições ambientais durante o armazenamento de forma eficiente (Silva, 2005).

A deterioração de sementes pode ocorrer de forma acelerada quando estas apresentarem maturação precoce ou em razão de armazenamento inadequado. Nestes casos, pode ocorrer a produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs), tais como o ânion superóxido ($O_2^{\bullet-}$), radical hidroxila ($OH^{\bullet}$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio singleto (1O_2), que podem limitar o crescimento e desenvolvimento do vegetal das plântulas (Carvalho et al., 2009;

Forman et al., 2010). Com o objetivo de conter os efeitos deletérios das EROs, as plantas desenvolveram um complexo sistema antioxidante, que constitui a defesa primária contra esses radicais gerados sob condições limitantes, como a enzima superóxido dismutase, que catalisa a dismutação do radical superóxido em H_2O_2 e O_2 , a ascorbato peroxidase e a catalase, que podem quebrar a molécula de H_2O_2 em H_2O e O_2 . Assim, o equilíbrio entre a produção de EROs e a capacidade de acionar rapidamente o sistema de defesa antioxidante, provavelmente, terá reflexos na capacidade de adaptação e sobrevivência das plântulas aos danos causados pela possível maturação precoce ou pelo mal armazenamento e consequente deterioração das sementes (Carvalho et al., 2009; El-Shabrawi et al., 2010; Deuner et al., 2011).

Em sementes de algodão, Goel e Sheoran (2003) observaram que o armazenamento a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ por 3, 6, 9, 12 e 18 meses reduziu progressivamente a atividade das enzimas CAT e SOD. Contudo, em soja (Stewart e Bewley, 1980) e amendoim (Sung e Jeng, 1994), as sementes não apresentaram alteração na atividade da SOD, enquanto que a CAT teve atividade detectada no eixo embrionário e nos cotilédones. Estes resultados indicam haver variabilidade na resposta das diferentes espécies em relação à deterioração de sementes. Porém, poucas informações são existentes sobre a atividade das enzimas antioxidantes no processo de deterioração de sementes de arroz irrigado armazenadas por longo prazo.

Diante disso, o objetivo foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes e a atividade de enzimas antioxidantes em plântulas oriundas de sementes de arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório Oficial de Análise de Sementes (LASO) da Embrapa Clima Temperado (Pelotas/RS), localizado na Estação Experimental Terras Baixas

(ETB), e no Laboratório de Fisiologia de Sementes, do Departamento de Botânica, na Universidade Federal de Pelotas (UFPel), *campus* Capão do Leão.

Foram utilizadas sementes de três cultivares de arroz irrigado: BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza, colhidas na área de produção de sementes da ETB na safra 2001/2002. Após a colheita, as sementes apresentaram umidade de 22%, sendo em seguida secas em estufa com circulação de ar até atingirem 13% de umidade. Posteriormente, foram submetidas a mais uma etapa de secagem onde apresentaram umidade de 9,9% para a cultivares BRS Pelota e BRS Atalanta, e 11,3% para a cultivar BRS Firmeza. Após a secagem, as sementes foram acondicionadas em latas de alumínio com capacidade para 1,0 Kg, e ocupadas com 0,5 Kg de sementes. Cada recipiente foi hermeticamente fechado e encaminhado para seus locais de armazenamento: câmara de conservação de sementes, refrigerador e freezer por dez anos, cujas temperaturas médias foram de 18, 1,0 e -15 °C, respectivamente.

Para caracterizar a qualidade fisiológica das sementes após o armazenamento, estas foram submetidas às seguintes avaliações:

Determinação do grau de umidade (U) - amostras de sementes de cada cultivar foram retiradas dos seus respectivos ambientes de armazenamento e colocadas em temperatura ambiente por 24 h previamente à determinação do grau de umidade. Adotou-se o método da estufa a 105 °C por 24 horas (Brasil, 2009) e os resultados foram expressos em porcentagem;

Germinação (G) e Primeira contagem de germinação (PCG) - avaliadas em quatro repetições de 100 sementes para cada tratamento, semeadas em rolos de papel específico para germinação (germitest[®]), umedecido com água destilada na quantidade equivalente a 2,5 vezes a sua massa seca e mantidas em germinador a 25 °C. As avaliações foram realizadas aos cinco e 14 dias após a semeadura, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009), sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

Teste de tetrazólio - as sementes foram submetidas ao pré-umedecimento entre papel germitest[®] umedecido, a 25 °C, por 18 horas. Após este período, as sementes foram seccionadas longitudinalmente com bisturi, na extremidade lateral ao longo do embrião. Para a coloração, as sementes permaneceram imersas em solução de 2,3,5-trifenil cloreto de tetrazólio, a 0,05%, por 4 horas, a 25 °C, no escuro. Após este período, as sementes foram lavadas em água corrente e mantidas submersas em água destilada até o momento da avaliação (Brasil, 2009). Este teste foi conduzido apenas nas sementes que não apresentaram germinação, para verificar a viabilidade do embrião.

Comprimento da parte aérea (CPA) e raiz (CR) das plântulas – determinada concomitantemente com o teste de germinação, aos 14 dias (Nakagawa, 1999). Os comprimentos médios da parte aérea e das raízes das plântulas foram obtidos dividindo-se a soma das medidas tomadas das subamostras pelo número de plântulas mensuradas, sendo os resultados expressos em cm plântula⁻¹.

Massa seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) das plântulas – obtida a partir das plântulas provenientes do teste de germinação. Cada amostra foi acondicionada em sacos de papel e mantida em estufa de circulação de ar forçada, a 70 °C, até atingir massa constante. A massa seca das plântulas foi determinada em balança de precisão de $\pm 0,001\text{g}$ (Nakagawa, 1999) e os resultados foram expressos em g plântula⁻¹.

Teste de frio – quatro repetições de 100 sementes de cada tratamento foram distribuídas em rolos de papel tipo germitest, umedecidos com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a sua massa seca. As sementes foram cobertas com solo peneirado, proveniente de lavoura de arroz, e cobertas com outra folha de papel germitest. Os rolos foram acondicionados em sacos plásticos, vedados, e mantidos em câmara regulada a temperatura de 10 °C, durante sete dias. Após este período, os rolos foram transferidos para um germinador à temperatura de 25 °C,

onde permaneceram por mais sete dias, de acordo com a descrição de Cícero & Vieira (1994).

Os resultados foram expressos em percentagem de plântulas normais.

Aos cinco e aos 14 dias após a semeadura (DAS), as plântulas oriundas das sementes submetidas às diferentes condições de armazenamento foram coletadas para avaliar a atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT). Para tanto, foram utilizados 300 mg de material vegetal fresco, macerados em 10% de polivinilpolipirrolidona (PVPP) e homogeneizados em 1,5 mL do tampão de extração, pH 7,8, contendo fosfato de potássio 100 mM, EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10 mM. Após centrifugação a 12.000 *g* por 20 minutos a 4 °C, o sobrenadante foi coletado e utilizado para a determinação da atividade das enzimas e para a quantificação das proteínas pelo método de Bradford (1976).

A atividade da SOD foi avaliada pela capacidade da enzima em inibir a fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) (Giannopolitis e Ries, 1977) em meio de reação contendo fosfato de potássio (50 mM, pH 7,8), metionina (14 mM), EDTA (0,1 µM), NBT (75 µM) e riboflavina (2 µM), acrescido de 50 µL do extrato enzimático, completando volume final de 2 mL com água destilada. As leituras foram realizadas a 560 nm, levando em consideração que uma unidade da SOD corresponde à quantidade de enzima capaz de inibir em 50% a fotorredução do NBT nas condições de ensaio.

A atividade da APX foi determinada segundo Nakano e Asada (1981), através da avaliação da taxa de oxidação do ascorbato durante dois minutos a 290 nm. Para a análise, foi utilizado meio de reação composto por fosfato de potássio (100 mM, pH 7,0), ácido ascórbico (0,5 mM), incubado a 37 °C. Após a incubação, adicionou-se H₂O₂ (0,1 mM) e 25 µL do extrato enzimático, completando volume final da reação para 2,0 mL, sendo imediatamente realizada a leitura.

A atividade da CAT foi determinada conforme Azevedo et al. (1998), com modificações, estimada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm, durante o mesmo período da reação para APX. O meio de reação composto pelo tampão fosfato de potássio (100 mM, pH 7,0) também foi incubado a 37 °C e antes de efetuar a leitura, sendo acrescido de H₂O₂ (12,5 mM) e 15 µL do extrato enzimático, completando volume final de 2,0 mL.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Utilizou-se o programa estatístico WinStat, versão 2.0 (Machado & Conceição, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O grau de umidade das sementes das três cultivares de arroz, após o período de armazenamento nas temperaturas de -15; 1 e 18 °C, diminuiu em relação aos valores apresentados no momento do armazenamento (Tabela 1). Entretanto, mesmo com essa pequena redução na umidade, esses níveis são considerados adequados para o armazenamento seguro de sementes de arroz, visto que restringem sua taxa respiratória e, conseqüentemente, limitam o consumo de reservas durante a respiração e a velocidade de deterioração (Embrapa, 2006).

A porcentagem de germinação antes do armazenamento das sementes em diferentes temperaturas foi 97% para a cv. BRS Pelota e 96% para as cultivares BRS Atalanta e BRS Firmeza. Após o período de armazenamento, a germinação das sementes apresentou diferença significativa para cada cultivar nas diferentes temperaturas de armazenamento (Tabela 1). No entanto, não houve diferença significativa entre as cultivares quando armazenadas a -15 °C; as cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza obtiveram 91, 92 e 94% de sementes germinadas, respectivamente. O mesmo não foi observado quando as sementes das três cultivares foram armazenadas a 1 °C, visto que, nesta temperatura, a cultivar BRS Pelota

apresentou diferença significativa para porcentagem de germinação (87%) em relação às cultivares BRS Atalanta e BRS Firmeza. Já o armazenamento 18 °C permitiu germinação apenas para as sementes da cv. BRS Pelota, com 66% de germinação. As sementes das cultivares BRS Atalanta e BRS Firmeza não apresentaram viabilidade, o que foi confirmado pelo teste de tetrazólio, que demonstrou que o embrião dessas sementes, quando armazenadas em temperatura de 18 °C, perdeu a viabilidade após dez anos de armazenamento (Figura 1).

Comparando o percentual de sementes germinadas antes e após o armazenamento, verificou-se, de maneira geral, que houve redução na germinação após o período de armazenamento, porém, as sementes da cv. BRS Firmeza armazenadas a 1 °C conservaram o percentual de germinação inicial (96%). Entretanto, as condições de armazenamento em -15 e 1 °C mantiveram os padrões de germinação exigidos para comercialização de sementes de arroz irrigado, que é acima de 80% (Rio Grande do Sul, 2000).

O teste de primeira contagem da germinação pode ser considerado um indicativo de vigor, sendo que os resultados demonstraram que, para as sementes da cv. BRS Pelota, o armazenamento a -15 e 1 °C resultou em maior vigor das sementes, com percentual de 91 e 86% para a primeira contagem de germinação (PCG), respectivamente. Já no armazenamento a 18 °C, a PCG foi significativamente inferior para esta cultivar (Tabela 1). Para as cv. BRS Atalanta e BRS Firmeza, a PCG foi superior para as sementes armazenadas na temperatura de 1 °C. Contudo, este teste, mesmo com percentual elevado, não é suficiente para garantir o desempenho das sementes no campo, já que seu potencial depende também das condições do ambiente externo (Nascimento e Pereira, 2007).

Diante disso, o teste de frio com solo é um parâmetro importante a ser analisado, pois avalia a qualidade fisiológica das sementes com a combinação de baixa temperatura, alto grau de umidade do substrato e agentes patogênicos (Marcos Filho, 2005). Os resultados observados para o teste de frio demonstraram que, embora com valores relativamente baixos, para a cv.

BRS Pelota, o maior vigor foi apresentado para as sementes armazenadas a -15 °C. Para as cultivares BRS Atalanta e BRS Firmeza, as sementes oriundas do armazenamento a -15 e 1 °C apresentaram maior vigor, não diferindo significativamente entre si. Destaca-se que os valores observados para estas duas cultivares e temperaturas de armazenamento foram significativamente superiores aos observados para as sementes da cv. BRS Pelota (Tabela 1).

Sementes de boa qualidade fisiológica devem ter, no mínimo, 70 a 85% de plântulas normais no teste de frio (Grabe, 1976), e os dados obtidos mostram médias superiores a 75% de plântulas normais, para as sementes das cultivares BRS Atalanta e BRS Firmeza armazenadas a -15 e 1 °C, demonstrando que, para estas duas temperaturas de armazenamento, estas duas cultivares possuem elevada qualidade fisiológica.

Em relação aos parâmetros de crescimento de plântulas, houve diferença entre as cultivares (Tabela 2). Para a cv. BRS Pelota, o comprimento da parte aérea (CPA) e massa seca (MSPA) foram significativamente superiores quando as sementes foram armazenadas a 18 °C. Para a cv. BRS Atalanta houve aumento significativo para o CPA nas sementes oriundas do armazenamento a -15 °C e, para a cv. BRS Firmeza, o maior comprimento da parte aérea e massa seca das plântulas foi observado após o armazenamento das sementes a 1 °C. Nestas duas cultivares, a MSPA não diferiu entre as temperaturas de armazenamento de -15 e 1 °C.

O comprimento das raízes (CR) na cv. BRS Pelota demonstrou melhor resposta para as plântulas oriundas das sementes armazenadas a -15 e 18 °C, os quais diferiram significativamente do armazenamento a 1 °C (Tabela 2). Já a massa seca das raízes (MSR) desta cultivar foi significativamente superior somente no armazenamento a -15 °C. Segundo Patané et al. (2006), dependendo da condição de armazenamento, as sementes podem sofrer estresse severo, levando a um rápido consumo de suas reservas logo no início do processo de germinação e um rápido crescimento, fator que pode explicar o maior comprimento e massa seca da parte aérea e raiz das plântulas da cv. BRS Pelota oriundas das sementes armazenadas a

18 °C (Tabela 2). Este processo pode, ainda, ter conduzido ao menor aproveitamento nos processos de síntese, provocando decréscimo da germinação e do vigor (Tabela 1). Esta resposta pode estar relacionada com o processo de deterioração das sementes que foram armazenadas a 18 °C, o qual ocorre de forma gradativa, manifestando-se nas sementes como uma sequência de eventos de origem bioquímica ou fisiológica (Marini et al., 2012).

Nas cultivares BRS Atalanta e BRS Firmeza, os resultados obtidos para o CR e a MSR não diferiram entre as temperaturas de armazenamento de -15 e 1 °C, destacando-se que, para estas duas cultivares, não foram computados parâmetros de crescimento na condição de armazenamento em câmara de conservação, uma vez que, nesta condição, não houve sementes germinadas (Tabela 1).

A ativação do mecanismo de defesa antioxidante nas plântulas de arroz provenientes das sementes armazenadas a -15; 1 e 18 °C, após 5 e 14 dias após a semeadura, foi quantificada através da atividade das enzimas SOD, CAT e APX, ressaltando-se que, para as cv. BRS Atalanta e BRS Firmeza, estas enzimas não foram avaliadas na condição de armazenamento a 18 °C devido à ausência de germinação das sementes após o armazenamento.

Entre as enzimas envolvidas na remoção das espécies reativas de oxigênio (EROs) formadas em situações de estresse, a SOD é a primeira na linha de defesa contra o estresse oxidativo (Pompeu et al., 2008; Pereira et al., 2012). Entretanto, a atividade desta enzima não apresentou diferença significativa aos cinco DAS entre as plântulas analisadas das três cultivares de arroz que tiveram suas sementes armazenadas a -15 e 1 °C (Tabela 3). O mesmo comportamento foi observado para as enzimas CAT e APX, indicando que, nestas condições de armazenamento, não houve indução de estresse nas plântulas, não intensificando a atividade das enzimas antioxidantes. Entretanto, a atividade da APX em plântulas de arroz da cv. BRS Pelota, aos 5 DAS, apresentou interação entre as diferentes temperaturas de armazenamento, sendo que, para o armazenamento a 1 e 18 °C, foram observados valores significativamente

superiores aos analisados nas plântulas das sementes provenientes do armazenamento a -15 °C (Tabela 4).

Estes resultados indicam maior produção de EROs nas plântulas oriundas de sementes armazenadas a 1 e 18 °C em relação ao armazenamento a -15 °C, fato que pode estar relacionado às respostas obtidas pelo testes de avaliação da qualidade fisiológica das sementes desta cultivar nas três temperaturas de armazenamento, onde a melhor resposta foi obtida para o armazenamento a -15 °C. Estes resultados já foram observados em outros estudos, que evidenciaram que sementes com baixa atividade desta enzima apresentaram alta qualidade fisiológica e, conseqüentemente, menor produção de EROs, caracterizando menor desestruturação do sistema de membranas e, portanto, menor grau de deterioração das sementes (Borba, 2013).

A avaliação da atividade das enzimas SOD e APX nas plântulas de arroz das três cultivares aos 14 DAS, nas condições de armazenamento a -15 e 1 °C não apresentaram variação significativa entre as cultivares (Tabela 5). Por outro lado, a atividade da CAT apresentou interação para os fatores temperatura de armazenamento e cultivar, sendo observada atividade significativamente superior na cv. BRS Atalanta na condição de armazenamento a -15 °C em relação ao armazenamento a 1 °C (Tabela 6). A menor atividade da CAT foi observada nas plântulas 14 DAS da cv. BRS Atalanta oriundas das sementes armazenadas a -15 °C, possivelmente relacionada ao seu maior vigor (Tabela 1), visto que plântulas mais vigorosas tendem a menor formação de radicais livres, a exemplo do radical H_2O_2 , substrato para o funcionamento da enzima CAT.

A CAT tem baixa afinidade pelo H_2O_2 , tornando-se mais ativa somente quando ocorre acúmulo deste composto (Jaleel et al., 2009), conseqüentemente, sementes mais vigorosas, a exemplo das sementes da cv. BRS Atalanta que foram armazenadas a 1 °C, apresentam menor

produção deste radical, evidenciando menor necessidade de acionar o sistema de defesa enzimático.

O aumento observado na atividade das enzimas APX e da CAT nas diferentes condições de armazenamento indicam maior produção de EROs o que, conseqüentemente, evidencia o início do processo de deterioração, caracterizando redução no vigor das sementes (El-Shabrawi et al., 2010). Portanto, ao avaliar a atividade enzimática nas plântulas provenientes de sementes armazenadas sob diferentes temperaturas, observou-se que as menores atividades das enzimas do sistema de defesa antioxidativo foram detectadas nas sementes armazenadas nas temperaturas que permitiram melhor conservação do seu potencial fisiológico.

CONCLUSÃO

Sementes de arroz das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza não mantêm a viabilidade e o vigor após dez anos de armazenamento a 18 °C, mas mantêm quando armazenadas a -15 e 1 °C. A menor atividade das enzimas do sistema de defesa antioxidante indica sementes de maior vigor.

REFERÊNCIAS

Azevedo MRQA, Gouveia JPG, Trovão DMM, Queiroga VP (2003). Influência das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7: 519-524.

Brasil (2009). *Regras para Análise de Sementes*. SNAD/CLAV. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Brasília, Brasil. 399p.

Borba ICG (2013). *Metabolismo antioxidativo para a classificação de lotes de sementes quanto ao vigor*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 80p.

Carvalho NM, Nakagawa J (2012). *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 5.ed. FUNEP: Jaboticabal, 590p.

Carvalho LF, Sedyama CS, Rei SMS, Dias DCFS, Moreira MA (2009). Influência da temperatura de embebição da semente de soja no teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica. *Revista Brasileira de Sementes*, 4: 9-17.

Cícero SM, Vieira RD (1994). Teste de frio. In: Vieira RD, Carvalho NM. *Testes de vigor em sementes*. Jaboticabal, FUNEP, p.151-164.

Companhia Nacional de Abastecimento (2013). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*. Oitavo levantamento/Brasília, Brasil. 29p.

Deuner C, Maia MS, Deuner S, Almeida A, Meneghello GE (2011). Viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão-miúdo submetidos ao estresse salino. *Revista Brasileira de Sementes*, 33:711-720.

El-Shabrawi H, Kumar B, Kaul T, Reddy MK, Silngla-Pareek SL, Sopory SK (2010). Redox homeostasis, antioxidant defense, and methylglyoxal detoxification as markers for salt tolerance in Pokkali rice. *Protoplasma* 245: 85-96.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (2006). *Cultivo do Arroz de Terras Altas no Estado de Mato Grosso*. Disponível <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltasMatoGrosso/pos_colheita.htm>. Acesso em: 03 jul. 2013.

Forman HJ, Maiorino M, Ursini F (2010). Signaling functions of reactive oxygen species. *Biochemistry*, 49: 835-842

GOEL A, SHEORAN (2003). Lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzymes in cotton seeds under natural ageing. *Biologia Plantarum*, 46: 429-434.

Jaleel CA, Riadh K, Gopi R, Manivannan P, Ines J, Al-Juburi HJ, Chang-Xing Z, Hong-Bo S, Panneerselvam R (2009). Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiology Plant*, 31: 427-436.

Marini P, Moraes CL, Marini N, Moraes DM, do Amarante L (2012). Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de arroz submetidas ao estresse térmico. *Revista Ciência Agronômica*, 43: 722-730.

Machado A, Conceição AR (2007). *Programa estatístico winstat: sistema de análise estatístico para Windows*. Pelotas, Brasil.

Marcos FJ (2005). *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: Fealq, 495.

- 373 Mendes CR (2008). *Atividade respiratória como método alternativo na diferenciação do vigor*
374 *de lotes de sementes*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 166 p.
375
- 376 Nascimento WM, Pereira RS (2007). Testes para avaliação do potencial fisiológico de
377 sementes de alface e sua relação com a germinação sob temperaturas adversas. *Revista*
378 *Brasileira de Sementes*, 29:175-179.
379
- 380 Pereira MD, Filho SM (2012). Suitability of electrical conductivity test for *Solanum*
381 *sessiliflorum* seeds. *Revista Agrarian*, 5: 93-98.
382
- 383 Pompeu RCFF, Cândido MJD, Neiva JMN (2008). Componentes da biomassa pré-pastejo e
384 pós-pastejo de capim-tanzânia sob lotação rotativa com quatro níveis de suplementação
385 concentrada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v: 383-393.
386
- 387 Rio Grande do Sul (2000). Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Departamento de
388 Produção Vegetal. *Normas e padrões de produção de sementes para o Estado do Rio Grande*
389 *do Sul*. Porto Alegre: CESM, 160.
390
- 391 Stewart RR, Bewley JD (1980). Lipid peroxidation associated with accelerated aging of
392 soybean axes. *Plant Physiology*, 65: 245-248.
393
- 394 Silva MCC da (2005). *Fenologia, maturação fisiológica e aspectos da germinação de sementes*
395 *de Platymiscium floribundum Vog. no parque estadual Alberto Lofgren, Instituto Florestal*.
396 Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo 126 p.
397

Sung JM, Jeng TL (1994). Lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzymes associated with accelerated ageing of peanut seed. *Physiologia Plantarum*, 91: 51-55.

Tabela 1. Grau de umidade (U), germinação, primeira contagem de germinação (PCG) e teste de frio (Frio) em sementes de três cultivares de arroz irrigado, armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas.

Variáveis	Cultivar	-15 °C	1 °C	18 °C	CV (%)
Umidade (%)	BRS Pelota	6,69	7,41	6,82	-
	BRS Atalanta	7,89	7,73	8,02	
	BRS Firmeza	8,06	7,98	7,96	
Germinação (%)	BRS Pelota	91 Aa	87 Bb	66 Ab	3,02
	BRS Atalanta	92 Aa	93 Aa	0 Bb	
	BRS Firmeza	94 Aa	96 Aa	0 Bb	
PCG (%)	BRS Pelota	91 Aa	86 Ba	56 Ab	4,84
	BRS Atalanta	83 Bb	93 Aa	0 Bc	
	BRS Firmeza	85 Bb	93 Aa	0 Bc	
Frio (%)	BRS Pelota	65 Ca	56 Cb	16 Ac	6,32
	BRS Atalanta	78 Ba	80 Ba	0 Bb	
	BRS Firmeza	90 Aa	89 Aa	0 Bb	

Letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 2. Comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz (CPR) e massa seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) de plântulas provenientes do teste de germinação de sementes de três cultivares de arroz armazenadas em diferentes temperaturas.

Variáveis	Cultivar	-15 °C	1 °C	18 °C	CV (%)
CPA (cm)	BRS Pelota	9,29 Bb	9,16 Bb	11,80 Aa	3,16
	BRS Atalanta	10,19 Aa	9,56 Bb	0 Bc	
	BRS Firmeza	9,6 Bb	10,04 Aa	0 Bc	
CR (cm)	BRS Pelota	11,81 Ab	8,21 Bb	10,67 Aa	10,06
	BRS Atalanta	9,92 Ba	10,75 Aa	0 Bb	
	BRS Firmeza	8,63 Ba	11,20 Aa	0 Bb	
MSPA (mg)	BRS Pelota	43,43 Bb	47,25 Aab	50,6 Aa	10,19
	BRS Atalanta	51,93 Aa	53,81 Aa	0 Bb	
	BRS Firmeza	48,18 Aa	47,87 Aa	0 Bb	
MSR (mg)	BRS Pelota	52,43 Aa	29,87 Bb	31,50 Ab	11,47
	BRS Atalanta	32,93 Ca	33,56 Ba	0 Bb	
	BRS Firmeza	41,25 Ba	40,75 Aa	0 Bb	

Letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 3. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) de plântulas de três cultivares de arroz, cinco dias após a semeadura (DAS) de sementes armazenadas por dez anos em -15 e 1 °C.

Cultivar	SOD (U mg⁻¹ Prot.)	CAT (μmol H₂O₂ min⁻¹ mg⁻¹ Prot.)	APX (μmol ASA min⁻¹ mg⁻¹ Prot.)
BRS Pelota	0,6527 ^{ns}	0,0960 ^{ns}	1,0743 ^{ns}
BRS Atalanta	0,7186 ^{ns}	0,0894 ^{ns}	1,3301 ^{ns}
BRS Firmeza	0,6693 ^{ns}	0,0981 ^{ns}	1,2467 ^{ns}
CV (%)	18,14	20,88	19,95

Não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 4. Atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) em plântulas de arroz da cv. BRS Pelota cinco dias após a semeadura (DAS) de sementes armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas.

APX ($\mu\text{mol ASA min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{Prot.}$)	
Ambiente	BRS Pelota
-15 °C	0,8764 b
1 °C	1,2723 a
18 °C	1,4041 a
CV (%)	16,39

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 5. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) e ascorbato peroxidase (APX) de plântulas de arroz das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza, 14 dias após a semeadura de sementes armazenadas em -15 e 1 °C por dez anos.

Cultivar	SOD (U mg⁻¹ Prot.)	APX (μmol ASA min⁻¹ mg⁻¹ Prot.)
BRS Pelota	0,5713 ^{ns}	0,9835 ^{ns}
BRS Atalanta	0,6962 ^{ns}	1,0617 ^{ns}
BRS Firmeza	0,7321 ^{ns}	1,2961 ^{ns}
CV (%)	25,91	17,08

Não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 6. Atividade da enzima catalase (CAT) de plântulas provenientes do 14º após a semeadura de sementes das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza armazenadas em -15 e 1 °C por dez anos.

CAT ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ Prot.}$)		
Cultivares/ambiente	-15 °C	1 °C
BRS Pelota	0,0688 Aa	0,0764 Aa
BRS Atalanta	0,0978 Aa	0,0596 Ab
BRS Firmeza	0,0740 Aa	0,0791 Aa
CV (%) 21,72		

Letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).



Figura 1. Teste de tertrazólio em sementes das cultivares BRS Atalanta (a) e BRS Firmeza (b) armazenadas por dez anos a 18 °C.

ARTIGO 2

Atividade respiratória para avaliação do vigor de sementes de arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas

(De acordo as normas da Revista Ceres)

Atividade respiratória para avaliação do vigor de sementes de arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas

RESUMO

Alterações causadas nas sementes nos estágios iniciais de deterioração provocam modificações no sistema de membranas e na atividade respiratória, podendo acarretar problemas a atividades gerais de síntese e consequentemente, na germinação e no vigor da semente. Diante disso, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica e a atividade respiratória de sementes de arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas. Foram utilizadas sementes de arroz das cv. BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza, acondicionadas em embalagem impermeável e armazenadas por dez anos a -15; 1 e 18 °C. Para caracterizar a qualidade fisiológica, as sementes foram avaliadas quanto à germinação, emergência de plântulas em casa de vegetação, índice de velocidade de emergência, comprimento e massa seca de parte aérea e de raízes das plântulas provenientes do teste de emergência e atividade respiratória. Sementes de arroz da cv. BRS Pelota armazenadas a -15 °C apresentaram melhor qualidade fisiológica. Para as cv. BRS Atalanta e BRS Firmeza, a temperatura de armazenamento que proporcionou a manutenção da qualidade fisiológica das sementes foi 1 °C, corroborando com os resultados observados na atividade respiratória das sementes. Conclui-se que é possível manter a qualidade fisiológica de sementes de arroz das cv. BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza submetidas à secagem e acondicionamento em embalagem impermeável, após dez anos de armazenamento a -15 e 1 °C. A avaliação da atividade respiratória das sementes apresenta relação com o vigor das sementes armazenadas em diferentes temperaturas.

Termos para indexação: *Oryza sativa* L, respiração, viabilidade, vigor, deterioração.

ABSTRACT**Respiratory activity to evaluate the vigor of rice seeds stored for ten years at different temperatures**

Changes in the seeds in early stages of deterioration cause alterations in the membranes system and respiratory activity. This may cause problems to general synthesis activities and consequently, to the germination and seed vigor. Therefore, the research aim was to evaluate the physiological quality and respiratory activity of rice seeds stored for ten years at different temperatures. We used rice seeds of cultivars BRS Pelota, Atalanta BRS and BRS Firmeza, waterproof packed and stored for ten years at -15, 1 and 18°C. To feature the physiological quality of the seeds, they were evaluated for germination, seedling emergence in greenhouse, rate of emergence, length and dry mass of shoots and roots of seedlings from the emergence test and respiratory activity. Rice seeds of the cultivar BRS Pelota, stored at -15°C showed the best physiological quality. To the cultivars BRS Atalanta and BRS Firmeza, the storage temperature that maintained the seeds physiological quality was 1°C, corroborating the observed results in the respiratory activity of the seeds. We concluded that it is possible to maintain the physiological quality of rice seeds of the cultivars BRS Pelota, Atalanta BRS and BRS Firmeza when submitted to drying and waterproof packing after ten years of storage at -15 and 1°C. The respiratory activity evaluation is related to the vigor of seeds stored at different temperatures.

Key words: *Oryza sativa* L., respiration, viability, vigor, deterioration.

INTRODUÇÃO

O arroz é o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando área aproximada de 158 milhões de hectares (Sosbai, 2012). O Brasil é o principal produtor de arroz no continente americano, destacando-se entre os dez maiores produtores mundiais (Embrapa, 2009). Para a obtenção de altas produtividades, é necessário o uso de sementes de boa qualidade, sendo o armazenamento considerado etapa fundamental para conservação da qualidade física, fisiológica e sanitária das sementes (Marcos Filho, 2005).

A deterioração das sementes é um processo irreversível (Freitas, 2009) e as alterações causadas nas sementes nos estágios iniciais deste processo envolvem modificações no sistema de membranas (Carvalho *et al.*, 2009) e na atividade respiratória (Guimarães, 1999; Lamarca, 2009), sendo esta última uma das mais frequentes durante o processo de deterioração, podendo acarretar problemas nas atividades gerais de síntese e, conseqüentemente, na germinação e no vigor da semente.

Porem o armazenamento inadequado de sementes com alto grau de umidade e em ambientes com elevadas temperaturas e elevado teor de umidade aceleram o processo de deterioração, causando perda da qualidade fisiológica das mesmas (Azevedo et al., 2003).

Dessa forma, para a conservação de sementes em longo prazo, é necessário manter a atividade respiratória em níveis baixos, por meio da redução da temperatura ambiente e do grau de umidade das sementes.

Tendo em vista que existem poucas informações na literatura estabelecendo a relação entre a qualidade fisiológica, os níveis de deterioração e a atividade respiratória em sementes de arroz armazenadas por longo prazo.

Diante disso objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica e a atividade respiratória de sementes de arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório Oficial de Análise de Sementes (LASO) da Embrapa Clima Temperado (Pelotas/RS), localizado na Estação Experimental Terras Baixas (ETB), e no Laboratório de Fisiologia de Sementes, do Departamento de Botânica, da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), *campus* Capão do Leão.

Foram utilizadas sementes de três cultivares de arroz irrigado: BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza, colhidas na área de produção de sementes da ETB na safra 2001/2002. Após a colheita, as sementes apresentavam 22% de umidade, sendo secas em estufa com circulação de ar até atingirem 13% de umidade. Posteriormente, as sementes foram submetidas a mais uma etapa de secagem até atingirem 9,9% de umidade, para a cultivares BRS Pelota e BRS Atalanta, e 11,3% para a cultivar BRS Firmeza. Após a secagem, aproximadamente 0,5 Kg de sementes de cada cultivar foi acondicionado em latas de alumínio com capacidade para 1,0 Kg. Cada recipiente foi hermeticamente fechado e as sementes permaneceram armazenadas por um período de dez anos em diferentes temperaturas: -15; 1 e 18 °C.

Após o armazenamento, as sementes das três cultivares foram submetidas às seguintes avaliações:

Germinação – utilizou-se quatro repetições de 100 sementes para cada tratamento, semeadas em rolos de papel umedecido com água destilada na quantidade equivalente a 2,5 vezes a sua massa seca e mantidas em germinador regulado a 25 °C. As avaliações foram realizadas aos cinco e aos 14 dias após a semeadura (DAS), conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009), sendo os resultados expressos em percentagem de plântulas normais.

Teste de tetrazólio - as sementes foram submetidas ao pré-umedecimento entre papel germitest[®] umedecido, a 25 °C, por 18 horas. Após este período, as sementes foram

seccionadas longitudinalmente com bisturi, na extremidade lateral ao longo do embrião. Para a coloração, as sementes permaneceram imersas em solução de 2,3,5-trifenil cloreto de tetrazólio, a 0,05%, por 4 horas, a 25 °C, no escuro. Após este período, as sementes foram lavadas em água corrente e mantidas submersas em água destilada até o momento da avaliação (Brasil, 2009). Este teste foi conduzido apenas nas sementes que não apresentaram germinação, para verificar a viabilidade do embrião.

Emergência das plântulas (E) - as sementes foram semeadas em bandejas plásticas, em casa de vegetação, utilizando como substrato solo proveniente de lavoura de arroz. Foram utilizadas quatro repetições de 100 sementes de cada tratamento, sendo as avaliações realizadas diariamente a partir da emergência das sementes, até que o número de plântulas emersas permanecesse constante. Os resultados obtidos foram expressos em percentagem de emergência, computando-se a percentagem de plântulas emersas 21 dias após a semeadura (DAS),

O índice de velocidade de emergência (IVE) foi realizado conjuntamente com o teste de emergência através de contagens diárias a partir da germinação das sementes, até que o número de plântulas emersas permanecesse constante, sendo calculado de acordo com Maguire (1962).

Comprimento de raiz e parte aérea das plântulas – determinado concomitantemente com o teste de emergência, aos 21 DAS (Nakagawa, 1999). Os comprimentos médios da parte aérea e das raízes das plântulas foram obtidos dividindo-se a soma das medidas tomadas das subamostras pelo número de plântulas mensuradas, sendo os resultados expressos em cm plântula⁻¹.

Massa seca da parte aérea e raiz das plântulas – obtida a partir das plântulas provenientes do teste de emergência. Cada amostra foi acondicionada em sacos de papel e mantida em estufa de circulação forçada de ar, a 70 °C, até atingir massa constante. A massa

seca das plântulas foi determinada em balança de precisão de $\pm 0,001\text{g}$ (Nakagawa, 1999) e os resultados foram expressos em g plântula^{-1} .

Atividade respiratória (AR) - determinada no aparelho de Pettenkofer sendo utilizadas 100 g de sementes de arroz de cada cultivar e temperatura de armazenamento. As sementes foram embebidas por 60 minutos em 80 mL de água destilada para acelerar o processo respiratório, e após este período foi realizada a medição da respiração das sementes de acordo com metodologia descrita por Mendes *et al.* (2008). Os resultados da taxa respiratória foram expressos em mg CO_2 liberado mg^{-1} de sementes h^{-1} . O cálculo da atividade respiratória foi realizado com base na seguinte equação: $N \times D \times 22$, onde N representa a normalidade do ácido usado (HCl 0,1 N); D a diferença entre o volume de HCl gasto na titulação da prova em branco e o volume de HCl gasto na titulação da amostra e 22, a normalidade do CO_2 .

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico WinStat, versão 2.0 (Machado & Conceição, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sementes das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza apresentavam, respectivamente, 97%, 96% e 96% de germinação, antes do armazenamento. Após dez anos de armazenamento, foi possível observar diferenças significativas na porcentagem de germinação das sementes das três cultivares nas diferentes temperaturas de armazenamento (Tabela 1). As sementes das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza armazenadas a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ obtiveram 91, 92 e 94% de germinação, respectivamente, enquanto que as sementes armazenadas a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ apresentaram 87%, 93% e 96% de germinação, respectivamente. Embora tenha ocorrido redução na germinação inicial das sementes de todas as cultivares, nas diferentes

temperaturas de armazenamento, a redução mais acentuada foi verificada nas sementes que permaneceram armazenadas na temperatura de 18 °C. Nesse caso, a germinação das sementes da cultivar BRS Pelota reduziu-se para 66% e as sementes das cultivares BRS Atalanta e BRS Firmeza perderam completamente a viabilidade (Tabela 1), o que foi confirmado pelo teste de tetrazólio, que demonstrou que o embrião das sementes dessas duas cultivares estava inviável (Figura 1).

Apesar da redução observada na germinação das sementes armazenadas por dez anos a -15 e 1 °C (Tabela 1), esta se manteve dentro dos padrões de germinação exigidos para comercialização de sementes de arroz irrigado, que é acima de 80% (Rio Grande do Sul, 2000).

Em relação à emergência de plântulas, verificou-se que as sementes das três cultivares, armazenadas a -15 e 1 °C, não apresentaram diferenças significativas, entretanto, as sementes armazenadas a 18 °C apresentaram menor desempenho (Tabela 1). Os resultados obtidos para o IVE também demonstraram desempenho inferior para as plântulas das três cultivares oriundas das sementes armazenadas a 18 °C. Esses resultados corroboram com o que foi observado na germinação, onde as sementes das três cultivares armazenadas a 18 °C apresentaram o pior desempenho, sendo que as sementes das cultivares BRS Atalanta e BRS Firmeza não apresentaram germinação e emergência após o armazenamento a 18 °C (Tabela 1).

A atividade respiratória das sementes das três cultivares de arroz armazenadas a 1 °C foi mais elevada, comparativamente às demais temperaturas de armazenamento (Tabela 1). Este resultado concorda com o desempenho das sementes das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza no teste de germinação, que foi superior para as sementes armazenadas a 1 °C. Estudos realizados com lotes de sementes de soja, feijão, milho (Martins, 2012) e feijão-miúdo (Aumonde *et al.*, 2012) também observaram maior atividade respiratória em lotes de maior vigor.

Sabe-se que o processo respiratório é a primeira atividade metabólica rapidamente ativada logo após a embebição das sementes, dando início ao processo de germinação (Höfs *et al.*, 2004). Dessa forma, maior liberação de CO₂ caracteriza a integridade das membranas celulares, inclusive as mitocondriais, sendo um indicativo de maior capacidade de reorganização dos sistemas celulares das sementes e, portanto, de maior vigor. A avaliação do comprimento da parte aérea das plântulas provenientes das sementes das cultivares BRS Pelota e BRS Atalanta obtidas no teste de emergência não apresentou o pior desempenho após o armazenamento a -15 e 1 °C (Tabela 2). Entretanto, as plântulas provenientes das sementes da cultivar BRS Firmeza armazenadas a -15 °C apresentaram maior comprimento de parte aérea do que aquelas provenientes de sementes armazenadas a 1 °C. As sementes da cultivar BRS Pelota armazenadas a 18 °C apresentaram o pior desempenho de CPA e CR, demonstrando sensibilidade para separação das sementes com menor vigor (Tabela 2).

O CR, a MSPA e a MSR das sementes de arroz das cultivares BRS Atalanta e BRS Firmeza armazenadas a -15 e 1 °C não apresentaram diferenças significativas (Tabela 2).

A maior atividade respiratória verificada nas sementes de arroz da cultivar BRS Atalanta e BRS Firmeza oriundas de sementes armazenadas a 1 °C apresenta relação com os resultados encontrados nos demais testes de avaliação da qualidade fisiológica, os quais, juntamente com alta atividade respiratória, caracterizam as sementes destas cultivares como as mais vigorosas, tendo em vista que a maior liberação de CO₂ reflete maior integridade das membranas celulares, inclusive as mitocondriais.

A utilização da correlação linear para definir a eficiência de um teste de vigor é definida por Marcos Filho (1999^a), ao destacar que, dentre os critérios de avaliação da confiabilidade de um determinado teste para avaliação da qualidade de sementes a correlação desse teste com emergência em campo é um dos mais adotados. Esse teste é considerado o melhor indicativo para inferir sobre o vigor de lotes de sementes, pois na sua execução devem ser utilizadas

condições que simulem aquelas que as sementes estarão sujeitas por ocasião da semeadura em campo (Silveira et al., 2002).

As respostas do teste de atividade respiratória foram correlacionadas com os testes de germinação, emergência, índice de velocidade de emergência, comprimento da parte aérea e raiz, massa seca da parte aérea, sendo que estes correlacionaram-se de forma altamente significativamente (1%). O que revelou que é possível estimar a viabilidade e o vigor das sementes de arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas por meio do teste de atividade respiratória. O único teste que não foi significativo 1% foi o teste de massa seca da raiz (Tabela 3).

Verificou-se, na tabela 3, que houve correlação significativa ($r=-0,67$) entre o teste de respiração e o teste de emergência em casa de vegetação. O que sugere que este teste é bom para detectar diferenças na qualidade fisiológica de sementes de arroz armazenadas por longo prazo em diferentes temperaturas.

CONCLUSÕES

É possível manter a qualidade fisiológica de sementes de arroz das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza submetidas à secagem e acondicionamento em embalagem impermeável, após dez anos de armazenamento a -15 e 1 °C. A atividade respiratória das sementes apresenta relação com o vigor das sementes armazenadas em diferentes temperaturas.

REFERÊNCIAS

Azevedo MRQA, Gouveia JPG, Trovão DMM, Queiroga VP (2003). Influência das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7: 519-524.

235

236 Aumonde TZ, Marini P, Moraes DM, Maia MS, Pedó T, Tillmann MAA, Villela FA (2012).
237 Classificação do vigor de sementes de feijão miúdo pela atividade respiratória. *Revista*
238 *Interciência*, 37: 55-58.

239

240 Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*.
241 Brasília: MAPA/SDA/ACS, 2009. 399 p.

242

243 Carvalho LF, Sedyama CS, Reis MS, Dias DCFS, Moreira MA (2009). Influência da
244 temperatura de embebição da semente de soja no teste de condutividade elétrica para avaliação
245 da qualidade fisiológica. *Revista Brasileira de Sementes*, 41: 9-17.

246

247 Corte VB, Borges EEL, Pontes CA, Leite ITA, Ventrella MC, Mathias AA (2006).
248 Mobilização de reservas durante a germinação das sementes e crescimento das plântulas de
249 *Caesalpinia peltophoroides* Benth. (Leguminosae-Caesalpinoideae). *Revista Árvore*, 30: 941-
250 949.

251

252 Dische Z (1962). General color reactions. In: WHISTLER, R. L.; WOLFRAN, M. L. (Ed.)
253 *Carbohydrates chemistry*. v.1. New York: Academic Press, p.477-512.

254

255 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa) (2009). *Importância*
256 *econômica, agrícola e alimentar do arroz*. 2009. Disponível em
257 <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoBrasil/cap01.](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoBrasil/cap01.htm)
258 [htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoBrasil/cap01.htm)>. Acesso em: 10 mar. 2012.

259

- 260 Freitas AR (2009). Deterioração e armazenamento se sementes de hortaliças. In:
261 NASCIMENTO, M. W. (Ed.). *Tecnologia de Sementes de Hortaliças*. Brasília: Embrapa
262 Hortaliças, p.155-182.
- 263
- 264 Guimarães RM (1999). *Fisiologia de sementes*. Lavras: UFLA/FAEPE, 81p.
- 265
- 266 Handel E (1968). Direct microdetermination of sucrose. *Analytical Biochemistry*, 22: 280-283.
- 267
- 268 Henning FA, Mertz LM, Junior EAJ, Machado RD, Fiss G, Zimmer PD (2010). Composição
269 química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. *Bragantia*, 69:
270 727-734.
- 271
- 272 Höffs A, Schuch LOB, Peske ST, Barros ACSA (2004). Efeito da qualidade fisiológica das
273 sementes e da densidade de semeadura sobre o rendimento de grãos e qualidade industrial em
274 arroz. *Revista Brasileira Sementes*, 26: 55-62.
- 275
- 276 Lamarca EV (2009). *Taxas respiratórias e velocidade de deterioração de sementes de*
277 *Caesalpinia echinata Lam. em função de variações hídricas e térmicas*. Tese de Doutorado.
278 Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. 106 p.
- 279
- 280 Maguire JD (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling
281 emergence and vigor. *Crop Science*, Madison, 2: 176-177.
- 282
- 283 Machado A, Conceição AR (2007). *Programa estatístico winstat: sistema de análise estatístico*
284 *para Windows*. Pelotas.

Martins ABN (2013). *Atividade respiratória para separação de lotes de sementes*. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 58 p.

Mendes CR, Moraes DM, Lima MGS, Lopes NF (2009). Respiratory activity for the differentiation of vigor on soybean seeds lots. *Revista Brasileira de Sementes*, 31: 171-176.

McCready RM, Guggolz A, Silveira V, Owens HS (1950). Determination of starch and amylase in vegetables; application to peas. *Analytical Chemistry*, Washington, 22: 1156-1158.

Nakagawa J (1999). Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina:ABRATES, p.2.1-2.24.

Rio Grande do Sul (2000). Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Departamento de Produção Vegetal. *Normas e padrões de produção de sementes para o Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CESM, 160p.

Sociedade Sul-Brasileira de arroz irrigado (2012). *Arroz Irrigado*. Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil / Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Itajaí, SC: SOSBAI, 179p.

Tabela 1. Germinação, emergência de plântulas em casa de vegetação, índice de velocidade de emergência (IVE) e atividade respiratória (Respiração) em sementes de três cultivares de arroz irrigado, armazenadas em por dez anos em diferentes temperaturas.

Variáveis	Cultivar	-15 °C	1 °C	18 °C	CV (%)
Germinação (%)	BRS Pelota	91 Aa	87 Bb	66 Ab	3,02
	BRS Atalanta	92 Aa	93 Aa	0 Bb	
	BRS Firmeza	94 Aa	96 Aa	0 Bb	
Emergência (%)	BRS Pelota	88 Aa	89 Ba	80 Ab	8,77
	BRS Atalanta	96 Aa	96 Aa	0 Bb	
	BRS Firmeza	93 ABa	93 ABa	0 Bb	
IVE	BRS Pelota	18,81 Ba	17,88 Aa	15,05 Ab	7,31
	BRS Atalanta	21,99 Aa	19,26 Ab	0 Bc	
	BRS Firmeza	17,72 Ba	17,85 Aa	0 Bb	
Respiração	BRS Pelota	36,66 Bb	65,63 Ba	38,86 Ab	18,28
	BRS Atalanta	70,88 Ab	116,35 Aa	0 Bc	
	BRS Firmeza	15,64 Cb	35,93 Ca	0 Bc	

Letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 2. Comprimento da parte aérea (CPA) e raiz (CR) e massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) de plântulas obtidas do teste de emergência, provenientes de sementes das cultivares BRS Pelota, BRS Atalanta e BRS Firmeza, armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas.

Variáveis	Cultivar	-15 °C	1 °C	18 °C	CV (%)
CPA (cm)	BRS Pelota	27,61 Aa	26,84 Aa	18,87Ab	9,15
	BRS Atalanta	26,21 Aa	26,05 Aa	0 Bb	
	BRS Firmeza	24,82 Aa	20,10 Bb	0 Bc	
CR (cm)	BRS Pelota	5,98 Ab	11,94 Aa	5,11 Ab	33,93
	BRS Atalanta	8,60 Aa	6,18 Ba	0 Bb	
	BRS Firmeza	6,64 Aa	8,10 Ba	0 Bb	
MSPA (mg)	BRS Pelota	253,5 Ba	273,5 Aa	127,75 Ab	19,74
	BRS Atalanta	357,0 Aa	293,0 Aa	0 Bb	
	BRS Firmeza	264,7 Ba	248,0 Aa	0 Bb	
MSR (mg)	BRS Pelota	57,25 Aa	56,25 Aa	69,50 Aa	39,45
	BRS Atalanta	34,75 Ba	64,75 Aa	0 Bb	
	BRS Firmeza	72,25 Aa	68,75 Aa	0 Bb	

Letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).



Figura 1. Teste de tertrazólio em sementes das cultivares BRS Atalanta (a) e BRS Firmeza (b) armazenadas por dez anos a 18 °C.

Tabela 3 - Coeficiente de correlação entre as variáveis analisadas nos testes de avaliação da qualidade fisiológica de sementes de arroz armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas.

Teste	G	E	IVE	CPA	CR	MSPA	MSR	R
G	1							
E	0,98**	1						
IVE	0,97**	0,98**	1					
CPA	0,96**	0,95**	0,97**	1				
CR	0,78**	0,78**	0,80**	0,80**	1			
MSPA	0,90**	0,89**	0,91**	0,92**	0,78**	1		
MSR	0,75**	0,74**	0,68**	0,67**	0,49**	0,57**	1	
R	0,63**	0,67**	0,68**	0,68**	0,56**	0,68**	0,41*	1

¹G = germinação; E= emergência; IVE= Índice de velocidade de emergência; CPA = comprimento da parte aérea; CR = comprimento da raiz; MSPA = matéria seca da parte aérea; MSR = matéria seca raiz; R= respiração; ns = não significativo; ** = significativos a 1% de probabilidade; * = significativo a 5%, pelo teste t.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Através dos testes de viabilidade e vigor, assim como os teste das enzimas atioxidantes e a atividade respiratória foi possível verificar que as sementes de arroz das cultivares BRS Atalanta, BRS Pelota e BRS Firmeza armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas matem sua qualidade fisiológica quando armazenadas em -15 e 1 °C.

Ao avaliar a atividade enzimática nas plântulas provenientes de sementes armazenadas sob diferentes temperaturas, observou-se que as menores atividades das enzimas do sistema de defesa antioxidativo foram detectadas nas sementes armazenadas nas temperaturas que permitiram melhor conservação do seu potencial fisiológico.

As sementes de arroz das três cultivares foram armazenadas por dez anos em diferentes temperaturas -15; 1 e 18 °C tendo sido verificado que a temperatura de 18 °C não mantêm a viabilidade e o vigor após o período de armazenamento.

A atividade respiratória apresentou a mesma tendência nas três cultivares estudadas, onde houve aumento gradativo nos valores da respiração com o aumento do vigor e da germinação. Caracterizando que quanto maior a atividade respiratória nas sementes de arroz das cultivar BRS Atalanta, BRS Pelota e BRS Firmeza armazenadas em 1 °C maior é o vigor.

Os resultados dos testes estudados se correlacionaram significativamente tanto quando comparados com a emergência em casa de vegetação quando com a atividade respiratória. Sendo eficiente e compatível com os de outros testes para determinar a viabilidade e o vigor de sementes.