

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DOS ALIMENTOS**

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE  
ARMAZENAMENTO NO ENVELHECIMENTO  
DE ARROZ**

**TESE DE DOUTORADO**

**Tiago André Kaminski**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**



# **INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO NO ENVELHECIMENTO DE ARROZ**

**Tiago André Kaminski**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Área de Concentração em Qualidade de Alimentos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Ciência e Tecnologia dos Alimentos.**

**Orientador: Prof. Auri Brackmann**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

Kaminski, Tiago André

Influência das condições de armazenamento no envelhecimento de arroz /  
Tiago André Kaminski.-2012.

123 f. ; 30 cm

Orientador: Auri Brackmann

Coorientadora: Leila Picolli da Silva

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de  
Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de  
Alimentos, RS, 2012

1. Cocção 2. Viscosidade 3. Textura 4. Polimento 5. Amido I. Brackmann,  
Auri II. Silva, Leila Picolli da III. Título.

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

---

©2012

Todos os direitos autorais reservados a Tiago André Kaminski. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua Clemente Soltis, n. 67, Bairro Santa Fé, Guarani das Missões, RS, 97950-000.

Fone: (55) 3353 1291; Celular: (55) 9935 7874; E-mail: tiagoandrekaminski@hotmail.com

---

**Universidade Federal de Santa Maria**  
**Centro de Ciências Rurais**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO  
NO ENVELHECIMENTO DE ARROZ**

elaborada por  
**Tiago André Kaminski**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Ciência e Tecnologia dos Alimentos**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Auri Brackmann, Dr.** (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

---

**Moacir Antônio Schiocchet, Dr.** (EPAGRI)

---

**Melissa Walter, Dr<sup>a</sup>.** (IFF)

---

**Cláudia Kaehler Sautter, Dr<sup>a</sup>.** (UFSM)

---

**Tatiana Emanuelli, Dr<sup>a</sup>.** (UFSM)

Santa Maria, 29 de maio de 2012.

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente agradeço a minha família, em especial a minha mãe Regina, meus irmãos Tassiana e Júnior, e minha esposa Taís, pelo incentivo e apoio em mais esta etapa de formação.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos (PPGCTA) e ao Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) que possibilitaram a realização do sonhado Doutorado.

Ao Prof. Dr. Auri Brackmann pela atenciosa orientação e permanente aprendizado sobre o dinâmico funcionamento do laboratório de pós-colheita.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Leila Picolli da Silva pela fundamental coorientação do trabalho, Prof. Dr. Sidnei Lopes dos Santos pelo auxílio nas análises estatísticas, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tatiana Emanuelli e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Kaehler Sautter pela colaboração na docência orientada em Toxicologia Aplicada aos Alimentos e atenção dispensada nas atividades realizadas no Núcleo Integrado de Desenvolvimento de Análises Laboratoriais (NIDAL).

À empresa SLC Alimentos, que me proporcionou o desenvolvimento dos trabalhos relacionados ao Doutorado concomitantemente às atividades profissionais, além de disponibilizar materiais e amostras essenciais aos experimentos. Ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), particularmente ao pesquisador Carlos Alberto Alves Fagundes, pelo apoio técnico e concessão de amostras. Ao Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski pelo auxílio com as análises de viscosidade e atividade enzimática no Laboratório de Cereais da Universidade de Passo Fundo (UPF). À empresa RiceTec Sementes e sua Gerente de Qualidade, Cláudia Militz da Costa, pelo intercâmbio de informações técnicas e auxílio com as análises de viscosidade.

Aos colegas e amigos (Tassiane Ferrão, Naglezi Lovatto, Bruna Alves, Bruna Roberto, Fernanda Goulart, Deiverson Ceconi, Angélica Nicoletti, Elizângela Alves, Ana Betine Bender, Caroline Speroni e Jaqueline Piccolo) que me auxiliaram nas diversas análises laboratoriais e proporcionaram uma ótima convivência.

Meus sinceros agradecimentos a todos, vocês também fazem parte deste trabalho!

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos  
Universidade Federal de Santa Maria

### INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO NO ENVELHECIMENTO DE ARROZ

AUTOR: TIAGO ANDRÉ KAMINSKI

ORIENTADOR: AURI BRACKMANN

COORIENTADORA: LEILA PICOLLI DA SILVA

Data e local da defesa: Santa Maria, 29 de maio de 2012.

No armazenamento do arroz ocorrem alterações nas propriedades físico-químicas dos grãos, em decorrência de um processo denominado de envelhecimento, o qual é fundamental para a qualidade culinária deste cereal. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de determinar as condições de atmosfera e temperatura mais favoráveis ao processo de envelhecimento no armazenamento de arroz, reduzindo o tempo para que este cereal apresente cocção satisfatória, sem comprometimento tecnológico e sensorial dos grãos. Ao mesmo tempo, foram avaliadas diferentes variedades de arroz irrigado (BR-IRGA 410, IRGA 416 e IRGA 417), a composição química dos grãos e, através de análise sensorial, a aceitação e preferência dos consumidores. A intensidade do processo de envelhecimento foi periodicamente verificada através de análises relacionadas às características de cocção, alongação, textura, viscosidade, atividade enzimática, coloração e composição química dos grãos depois de polidos. O armazenamento em maiores períodos (até 180 dias) e temperaturas (até 35°C) evidenciou as alterações mais pronunciadas nos parâmetros avaliados por propriedades de cocção (menor absorção de água, pH e resíduos na água de cocção), teste de cocção (maior rendimento volumétrico, tempo de cocção e solubilidade), alongação (maiores valores de alteração proporcional, taxa de alongação e alongação efetiva); textura (menor firmeza e adesividade, além de maior elasticidade e coesividade); propriedades viscoamilográficas (grânulos de amido mais organizados no decorrer do armazenamento, constatados principalmente pela menor quebra, maior viscosidade e retrogradação). Estas condições de armazenamento combinadas com atmosferas controladas demonstraram que as alterações decorrentes do processo de envelhecimento foram aceleradas na presença de O<sub>2</sub> e retardadas na de CO<sub>2</sub>, constatadas através das propriedades de cocção (menor absorção de água e pH), cor (aumento nas coordenadas de cromaticidade a\* e b\*, além de redução na luminosidade, brancura, transparência e grau de polimento) e atividade enzimática (maior número de queda) nas amostras mantidas em presença de O<sub>2</sub>. Embora as condições de armazenamento mais favoráveis ao processo de envelhecimento do arroz tenham sido obtidas em maiores temperaturas e concentrações atmosféricas de O<sub>2</sub>, o armazenamento a 35°C combinado com baixas concentrações atmosféricas de O<sub>2</sub> é recomendado para retardar ou inibir processos metabólicos, prevenindo alterações indesejáveis de cor e atividade enzimática nos grãos. As variedades mostraram comportamentos distintos nos parâmetros analíticos testados, mas as condições de armazenamento favoráveis ao envelhecimento do arroz promoveram melhores características culinárias para todas. A composição química dos grãos foi pouco alterada no armazenamento, de maneira significativa para a matéria mineral, compostos fenólicos, amilose e amido resistente. Na análise sensorial, realizada após 60 e 180 dias de armazenamento, os consumidores demonstraram maior aceitação e preferência por arroz com maiores características do envelhecimento.

**Palavras-chave:** Cocção. Viscosidade. Textura. Polimento. Amido.

## **ABSTRACT**

PhD Thesis  
Graduate Program on Food Science and Technology  
Federal University of Santa Maria

### **INFLUENCE OF THE STORAGE CONDITIONS IN THE RICE AGEING PROCESS**

AUTHOR: TIAGO ANDRÉ KAMINSKI

ADVISOR: AURI BRACKMANN

CO-ADVISOR: LEILA PICOLLI DA SILVA

Defense's place and date: Santa Maria, May 29, 2012.

In the rice storage, changes in the grains' physic-chemical properties occur due to a process called ageing, which is fundamental to the culinary quality of this cereal. This work was conducted aiming to determine the most favorable atmosphere and temperature conditions for the ageing process in the rice storage, reducing the time for this cereal to present satisfactory cooking, without compromising the technological and sensory characteristics of the grains. Different varieties of rice (BR-IRGA 410, IRGA 416 and IRGA 417), the chemical composition of the grains and, by sensorial analysis, the consumers' acceptance and preference were simultaneously assessed. The intensity of rice ageing process was periodically verified by the analysis of the following characteristics; cooking, elongation, texture, viscosity, enzyme activity, coloration and the grains' chemical composition after being polished. The storage in longer periods (up to 180 days) and higher temperatures (up to 35 °C) evidenced more pronounced changes in the parameters evaluated by the cooking properties (lower water absorption, pH levels and solid content in the cooking water); cooking test (greater volume yield, cooking time and more loose grains); elongation (higher values of proportional change, elongation ratio and actual elongation); texture (lower hardness and adhesiveness, besides higher springiness and cohesiveness); viscoamylographic properties (more organized starch granules during the storage, noticed mainly by its lower breakdown, higher viscosity and setback). Meanwhile these storage conditions, combined with controlled atmospheres, demonstrated that the changes resulted from the ageing process were accelerated in the presence of O<sub>2</sub> and retarded in the presence of CO<sub>2</sub>, that was observed through the cooking properties (lower water absorption and pH levels), color (increase in the chromaticity coordinates a\* and b\*, besides the reduction in the luminosity, whiteness, transparency and milling degree) and enzymatic activity (great falling number) in the samples stored in the presence of O<sub>2</sub>. Although the most favorable storage conditions for the rice ageing process were obtained in higher temperatures and atmospheric concentrations of O<sub>2</sub>, the storage at 35 °C combined to lower atmospheric concentrations of O<sub>2</sub> is recommended to retard or inhibit metabolic processes, preventing undesired color changes and enzymatic activity in the grains. The varieties showed distinct behavior in the analytical parameters tested, but all of them presented better culinary characteristics in storage conditions that were favorable to the rice ageing process. The chemical composition of the grains suffered small alterations in the storage, most significantly in the ashes, phenolic compounds, amylose and resistant starch. In the sensory analysis, conducted after 60 and 180 days of storage, a greater consumers' acceptance and preference was observed for the rice that presented more ageing characteristics.

**Keywords:** Cooking. Viscosity. Texture. Milling. Starch.



## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1

- Figura 1 – Absorção de água do arroz armazenado em atmosfera controlada a 0,5°C, 20°C, 35°C e médias das temperaturas..... 28
- Figura 2 – pH da água de cocção do arroz armazenado em atmosfera controlada a 0,5°C, 20°C, 35°C e médias das temperaturas..... 29
- Figura 3 – Resíduos e turbidez da água de cocção do arroz armazenado sob diferentes temperaturas..... 30
- Figura 4 – Coordenadas L\* e a\* do arroz armazenado sob diferentes temperaturas..... 31
- Figura 5 – Coordenada b\* do arroz armazenado em atmosfera controlada a 0,5°C, 20°C, 35°C e médias das temperaturas..... 32
- Figura 6 – Brancura do arroz armazenado em atmosfera controlada a 0,5°C, 20°C, 35°C e médias das temperaturas..... 33
- Figura 7 – Transparência do arroz armazenado em atmosfera controlada a 0,5°C, 20°C, 35°C e médias das temperaturas..... 34
- Figura 8 – Grau de polimento do arroz armazenado em atmosfera controlada a 0,5°C, 20°C, 35°C e médias das temperaturas..... 35
- Figura 9 – Número de queda do arroz armazenado em atmosfera controlada a 0,5°C, 20°C, 35°C e médias das temperaturas..... 36

### ARTIGO 2

- Figure 1 – Volume yield, cooking time and appearance of cooked grains of rice stored under different temperatures..... 51
- Figure 2 – Proportionate change, elongation ratio and actual elongation of rice stored under different temperatures..... 52
- Figure 3 – RVA parameters of rice stored under different temperatures..... 53
- Figure 4 – Preference ordering test of rice stored under different temperatures for 60 and 180 days..... 55

### ARTIGO 3

- Figure 1 – Water absorption of rice stored under different atmospheric conditions..... 69
- Figure 2 – pH of the cooking water of rice stored under different atmospheric conditions.. 70
- Figure 3 – Solid content and turbidity in the cooking water of rice stored under different temperatures..... 71

Figure 4 – Volume yield, cooking time and appearance of cooked grains of rice stored under different temperatures.....	72
Figure 5 – Texture parameters (hardness and adhesiveness) of rice stored under different temperatures.....	73
Figure 6 – Texture parameters (springiness and cohesiveness) of rice stored under different temperatures.....	74

#### **ARTIGO 4**

Figura 1 – Coordenadas L* e a* de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes temperaturas.....	86
Figura 2 – Coordenada b* de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes atmosferas e temperaturas.....	87
Figura 3 – Brancura de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes atmosferas e temperaturas.....	88
Figura 4 – Transparência de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes atmosferas e temperaturas.....	89
Figura 5 – Grau de polimento de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes atmosferas e temperaturas.....	90
Figura 6 – Rendimento volumétrico, tempo de cocção e soltabilidade de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes temperaturas.....	91

#### **ARTIGO 5**

Figura 1 – Parâmetros de alongação de três variedades de arroz armazenadas sob diferentes temperaturas.....	112
Figura 2 – Parâmetros de RVA (temperatura de pasta, tempo de pico e viscosidade de pico) de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes temperaturas..	113
Figura 3 – Parâmetros de RVA (quebra, retrogradação e viscosidade final) de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes temperaturas.....	114

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 2

Table 1 – Acceptance test of rice stored under different temperatures..... 54

Table 2 – Summation points of rice stored under different temperatures in the preference ordering test..... 56

### ARTIGO 3

Table 1 – Pearson's correlations (r) between the parameters analyzed in the cooking properties, cooking method and texture of rice samples..... 75

### ARTIGO 5

Tabela 1 – Composição química dos grãos de três variedades de arroz irrigado armazenados em casca e posteriormente polidos (continua)..... 109

Tabela 1 – Composição química dos grãos de três variedades de arroz irrigado armazenados em casca e posteriormente polidos (conclusão)..... 110

Tabela 2 – Frações de amido dos grãos de três variedades de arroz irrigado armazenados em casca e posteriormente polidos..... 111

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACC	American Association of Cereal Chemists (Associação Americana de Químicos de Cereais)
abs	Absorbância
ANOVA	Analysis of variance (análise de variância)
AOAC	Association of Official Analytical Chemists (Associação de Químicos Analíticos Oficiais)
BR-IRGA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Instituto Rio Grandense do Arroz
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CIELAB	Commision Internationale Eclairage (Comissão Internacional de Iluminação) e LAB (atributos de cor: L*, a* e b*)
EAG	Equivalente ácido gálico
EEA	Estação Experimental de Arroz
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação)
FN	Falling number (número de queda)
IRGA	Instituto Rio Grandense do Arroz
MS	Matéria seca
S/A	Sociedade Anônima
SLC	Schneider, Logemann e Companhia
SPSS	Statistical Package for Social Sciences (Pacote Estatístico para Ciências Sociais)
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Percentual
°	Grau
°C	Grau Celsius
a*	Atributo de cor do verde ao vermelho
b*	Atributo de cor do azul ao amarelo
B	Breadth (largura do grão de arroz)
C	Comprimento do grão de arroz
cm	Centímetro
CO <sub>2</sub>	Gás dióxido de carbono
g	Gramma
kg	Quilo
L	Litro ou largura do grão de arroz
L*	Luminosidade
mg	Miligramma
mL	Mililitro
mm	Milímetro
N	Concentração normal ou newton
N <sub>2</sub>	Gás nitrogênio
nm	Nanometro
O	Oeste
O <sub>2</sub>	Gás oxigênio
P	Probabilidade de significância estatística
pH	Potencial hidrogeniônico
r	Coefficiente de correlação
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
RVA	Análise de viscosidade em equipamento Rapid Visco-Analyzer
RVU	Unidade da análise de viscosidade em equipamento Rapid Visco-Analyzer
s	Segundo
S	South (Sul)
W	West (Oeste)
µm	Micrometro

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>ARTIGO 1 – EFEITO DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO SOBRE CARACTERÍSTICAS DE ARROZ IRRIGADO.....</b>	<b>23</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>23</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>23</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>24</b>
<b>Materiais e métodos.....</b>	<b>26</b>
<b>Resultados e discussão.....</b>	<b>27</b>
<b>Conclusão.....</b>	<b>37</b>
<b>Referências.....</b>	<b>37</b>
<b>ARTIGO 2 – CHANGES IN CULINARY, VISCOAMYLOGRAPHIC AND SENSORY CHARACTERISTICS DURING RICE STORAGE AT DIFFERENT TEMPERATURES.....</b>	<b>40</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>40</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>40</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>41</b>
<b>Materials and methods.....</b>	<b>42</b>
<b>Results and discussion.....</b>	<b>44</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>48</b>
<b>References.....</b>	<b>48</b>
<b>ARTIGO 3 – COOKING AND TEXTURE PARAMETERS FOR PADDY RICE STORAGE UNDER DIFFERENT TEMPERATURES AND ATMOSPHERIC CONDITIONS.....</b>	<b>57</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>57</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>57</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>58</b>
<b>Materials and methods.....</b>	<b>59</b>
<b>Results and discussion.....</b>	<b>60</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>65</b>
<b>References.....</b>	<b>66</b>

<b>ARTIGO 4 – MUDANÇAS NA COR E COCÇÃO DURANTE O ARMAZENAMENTO DE ARROZ EM CASCA.....</b>	<b>76</b>
Resumo.....	76
Abstract.....	76
Introdução.....	77
Materiais e métodos.....	78
Resultados e discussão.....	79
Conclusão.....	83
Referências.....	83
<b>ARTIGO 5 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ALTERAÇÕES ESTRUTURAIS NO ARMAZENAMENTO DE ARROZ IRRIGADO.....</b>	<b>92</b>
Resumo.....	92
Abstract.....	92
Introdução.....	93
Materiais e métodos.....	94
Resultados e discussão.....	96
Conclusão.....	104
Referências.....	104
<b>DISCUSSÃO GERAL.....</b>	<b>115</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>118</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>119</b>

## INTRODUÇÃO

O arroz é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas no mundo, corresponde a 29% do total de grãos utilizados usados na alimentação humana e 20% da fonte de energia da população mundial (trigo e milho correspondem a 19 e 5%, respectivamente) (HOSSAIN e NARCISO, 2004; SOSBAI, 2010).

A área cultivada com arroz ocupa aproximadamente 158 milhões de hectares, que representam 11% das terras aráveis do planeta e proporcionam uma produção anual de cerca de 662 milhões de toneladas de grãos em casca, sendo entre 11 e 13 milhões destas produzidas no Brasil, detentor do título de principal produtor fora do continente asiático e nono maior produtor a nível mundial, conforme a seguinte ordem decrescente dos 10 maiores países produtores: China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Mianmar, Filipinas, Brasil e Japão (CONAB, 2009; SOSBAI, 2010).

No Mercosul, o Brasil participa com cerca de 81% da produção total, seguido do Argentina, Uruguai, e Paraguai, com respectivos 8,8; 8,2 e 2% (SOSBAI, 2010). Já no cenário nacional, o Rio Grande do Sul se destaca como maior produtor, sendo responsável por cerca de 63% da produção, com mais de 1 milhão de hectares cultivados em praticamente todas as regiões da metade sul que possuem solos de várzea aptos para o cultivo de arroz irrigado. As áreas de cultivo de arroz no Rio Grande do Sul estão distribuídas entre as regiões Sul (15,60%), Campanha (16,36%), Planície Costeira Interna (12,87%), Planície Costeira Externa (11,68%), Depressão Central (15,36%) e Fronteira Oeste (28,13%) (CONAB, 2009; IRGA, 2008; SOSBAI, 2010).

No Rio Grande do Sul, o arroz é produzido em 133 municípios, envolvendo aproximadamente 232 mil pessoas que vivem de modo direto ou indireto da exploração dessa cultura. O setor agroindustrial opera com 350 indústrias e responde por quase 50% do beneficiamento de arroz no país, porém apenas 12% desta produção é destinada ao consumo no respectivo estado, enquanto o restante é exportado para demais centros consumidores (SOSBAI, 2010).

Estes dados demonstram que a cultura do arroz é uma das mais importantes do mundo, pois além de sua representatividade como fonte de energia, é fonte de renda para significativa parcela da população mundial. Isto é bem representado na metade sul do Rio Grande do Sul,



onde o arroz irrigado é a principal atividade econômica, representando mais de 50% do valor bruto da produção para diversos municípios (SOSBAI, 2010).

A importância social mais representativa do arroz está na sua contribuição no barateamento da cesta básica. O preço pago ao produtor, eliminado o efeito da inflação, está valendo menos de 1/5 do que há 35 anos. Esta queda só foi possível de ser suportada pelos produtores devido ao grande aumento da produtividade neste período. Este aumento da produtividade também foi acompanhado da redução no tempo para colheita, através de uma conjugação de fatores, como pesquisa agrônômica, ação direta dos agricultores, avanços de recursos da engenharia e informática, que incidiram nas lavouras e se expressaram na maior velocidade de colheita e no aumento da capacidade de transporte de grãos (ELIAS et al., 2009; SOSBAI, 2010).

Porém, os avanços conquistados na produção não foram acompanhados na pós-colheita, que ainda prescinde de uma maior aliança entre quantidade e qualidade. Como o arroz é colhido com umidade elevada, impurezas e matérias estranhas, o transporte até unidade de secagem deve ocorrer no menor tempo possível. Recomenda-se que a secagem dos grãos seja realizada imediatamente após a colheita ou, no máximo, até 24 horas após; quando isso não é possível, deve-se pré-limpar, aerar e/ou pré-secar o arroz (AMATO e ELIAS, 2005; ELIAS, 2007).

Assim, a pós-colheita, incluindo a recepção, limpeza, secagem e, principalmente, armazenamento, constitui-se no principal gargalo operacional da cadeia produtiva do arroz, que para ser superado necessita de novas tecnologias amparadas por sólidos conhecimentos científicos (ELIAS et al., 2009).

No ambiente de armazenamento os grãos comportam-se como um ecossistema, no qual elementos bióticos (grãos, insetos e microrganismos) e abióticos (impurezas, ar intergranular, vapor de água e estrutura da unidade de armazenamento) são afetados, química e biologicamente, por fatores ambientais como temperatura e atmosfera (PENTEADO, 1990; ELIAS, 2007).

O armazenamento tem como principal objetivo a preservação e manutenção da qualidade mais próxima possível do momento da colheita (FAGUNDES et al., 2009). No caso do arroz, um sistema adequado de armazenamento compreende grãos com umidade uniforme (máxima de 13%), mínimas impurezas, reduzida população de insetos e microrganismos e baixa temperatura, normalmente alcançada por um sistema adequado de aeração (PENTEADO, 1990; ELIAS, 2007).

As sucessões de alterações que ocorrem no armazenamento tendem a reduzir a qualidade do arroz destinado à industrialização (ELIAS, 2007). No entanto, a ocorrência de algumas alterações é importante ao agronegócio do arroz, pois envolvem transformações físico-químicas nos grãos e agregam qualidade culinária, não observada nos grãos beneficiados e cozidos pouco tempo após a colheita, quando ficam pegajosos (FONSECA et al., 2005; FONSECA e CASTRO, 2008).

O consumo médio mundial de arroz é de 60 kg/pessoa/ano, com médias mais elevadas nos países asiáticos, situadas entre 100 e 150 kg/pessoa/ano. Na América Latina são consumidos, em média, 30 kg/pessoa/ano, destacando-se o Brasil como maior consumidor (45 kg/pessoa/ano) (SOSBAI, 2010). Aproximadamente 95% dos brasileiros utilizam o arroz em pelo menos uma refeição por semana e 50% consomem no mínimo uma vez por dia. O maior consumo, cerca de 70% do total, é de arroz branco polido, seguido de arroz parboilizado, cujo consumo tem aumentado significativamente nas últimas décadas e atualmente corresponde a 25%, enquanto que, cerca de 5% do consumo é reservado ao arroz integral (ELIAS, 2007).

Os percentuais de consumo demonstram a preferência do consumidor brasileiro por arroz branco polido (ELIAS, 2007). Outro aspecto relacionado à preferência do consumidor é a classe dos grãos, sendo que a grande maioria das variedades de arroz cultivadas no Brasil têm grãos da classe longo-fino (agulinha), pois consumidores os associam com uma melhor qualidade culinária do que grãos das classes curto e médio (AMATO e ELIAS, 2005; SOSBAI, 2010).

Demais características que determinam a preferência dos consumidores brasileiros estão relacionadas à presença de grãos translúcidos, de coloração clara, com bom rendimento de panela, de rápido cozimento, sem sabor e odor fortes, com aparência de grãos secos e soltos após o cozimento e com possibilidade de serem reaquecidos sem perder a maciez original (BASSINELLO et al., 2004; ELIAS, 2007). Destas características, a soltabilidade dos grãos cozidos é a característica mais marcante, também responsável pelo crescimento do mercado nacional de arroz parboilizado. O processo de parboilização confere, além da soltabilidade, outras vantagens aos grãos, como maiores rendimentos culinário (em peso e volume) e industrial (em grãos inteiros), porém enfrenta resistência de alguns consumidores devido aspectos sensoriais, como cor, sabor e odor característicos (AMATO e ELIAS, 2005).

A qualidade culinária tem sido relacionada a cinco fatores principais:

- Genéticos; variedades de arroz diferem em qualidade culinária, devido às proporções de seus constituintes, principalmente de amilose, proteínas e lipídios (CUTRIM et al., 2006;

FONSECA et al., 2005; FONSECA e CASTRO, 2008; JULIANO, 1998; LOPES et al., 2009).

- Produção e manejo de campo; um cultivo inadequado pode acarretar em alta incidência de grãos gessados, barriga branca e trincados, comprometendo características tecnológicas e sensoriais, como aspecto visual e qualidade culinária (ALVES et al., 2009; HOUSTON, 1972).
- Armazenamento; mesmo para as variedades de melhor aporte genético deve-se prover tempo necessário de descanso para atingirem qualidade culinária aceitável (CUTRIM et al., 2006; FONSECA et al., 2005; LOPES et al., 2009; SILVA et al., 2006).
- Beneficiamento; arroz requer polimento adequado e eficiente separação dos defeitos (ELIAS, 2007; FAGUNDES et al., 2009).
- Preparo; um bom arroz pode empapar se o modo de preparo não for adequado, enquanto um produto de baixa qualidade culinária pode ser melhorado por modificações no modo de preparo básico e ingredientes (BASSINELLO et al., 2004; GULARTE et al., 2005; SILVA et al., 2007).

Estes fatores demonstram que o atendimento ou não dos critérios de qualidade exigidos pelos consumidores depende do comprometimento de toda cadeia produtiva do arroz: Começando com as características genéticas e cultivo do arroz; passando por um adequado processo de limpeza, secagem, armazenamento e beneficiamento; culminando no empacotamento em embalagens que, além de protegerem o produto, apresentem informações e orientem o consumidor no modo correto de preparo.

Diversas variedades de arroz são desenvolvidas e testadas periodicamente, onde após as imprescindíveis observações agronômicas como a resistência às pragas, ciclo de maturação, produtividade, entre outros, o sucesso da implantação é alcançado apenas após a aprovação da indústria e dos consumidores (LIMA et al., 2006; SOSBAI, 2010). Dada importância econômica, social e nutricional do arroz no Rio Grande do Sul, são poucos os trabalhos com enfoque no aperfeiçoamento da qualidade tecnológica e sensorial na pós-colheita deste cereal, que deveriam corroborar com o sucesso de determinadas culturas bem adaptadas ao campo, mas que não atendem todas as exigências industriais e mercadológicas.

A variedade BR-IRGA 410 foi desenvolvida em parceria da Embrapa Clima Temperado e Instituto Rio Grandense do Arroz. Lançada no ano de 1980, apresenta alto potencial de rendimento de grãos e boa adaptação às regiões orizícolas do Rio Grande do Sul. Porém, limitações decorrentes da suscetibilidade à brusone e toxidez por excesso de ferro no

solo, além de alto índice de barriga branca e baixo rendimento de grãos inteiros, principalmente quando a colheita é realizada mais tardiamente, determinaram sua gradativa substituição por outras variedades, inclusive de melhores características culinárias, reduzindo bastante sua utilização atual (IRGA 2008; SOSBAI, 2010).

A variedade IRGA 416 foi desenvolvida pelo Instituto Rio Grandense do Arroz e lançada no ano de 1987. É uma cultivar de ciclo precoce, com alta produtividade e excelente aspecto visual dos grãos. Atualmente é muito pouco cultivada, devido ter demonstrado baixa estabilidade na produtividade, suscetibilidade à brusone e, principalmente, objeções culinárias por apresentar grãos muito pegajosos quando cozidos (IRGA 2008; SOSBAI, 2010).

Também desenvolvida pelo Instituto Rio Grandense do Arroz, a variedade IRGA 417 foi lançada no ano de 1995, a partir do cruzamento entre genitores das subespécies índica e japônica. Apresenta precocidade, produtividade e suscetibilidade à brusone semelhantes à IRGA 416. Bem adaptada às regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, atualmente é uma das cultivares mais utilizada pela ótima qualidade dos grãos, com maior rendimento de inteiros e notáveis características culinárias (IRGA 2008; SOSBAI, 2010).

Os fatores genéticos estão estreitamente relacionados à composição química dos grãos, principalmente ao amido do arroz, que é formado por dois tipos de polímeros, amilose e amilopectina. O teor do primeiro, correspondente à fração linear, é utilizado para prever o comportamento culinário do arroz: Quanto maior, mais secos e soltos, e, quanto menor, mais agudados e aglutinados apresentam-se os grãos cozidos (BASSINELLO et al., 2004; CUEVAS e FITZGERALD, 2008; NAVES, 2007).

As variedades IRGA 416, BR-IRGA-410 e IRGA 417 são caracterizadas por apresentarem conteúdo de amilose baixo (até 19%), intermediário (entre 20 e 24%) e alto (mais de 25%), respectivamente (COFFMAN e JULIANO, 1987; STORCK, 2004). Assim, como as quantidades intermediárias e altas de amilose definem a aceitabilidade culinária do arroz, sustentam o aumento nas áreas cultivadas com a variedade IRGA 417, em detrimento da IRGA 416.

Independente da composição química, para as variedades de arroz cultivadas por sistema irrigado no Brasil é preconizado um período de 12 meses de armazenamento para os grãos apresentarem qualidade culinária. Este período é inviável e agrava ainda mais a situação de gargalo na pós-colheita, por isso na prática, as principais indústrias arroseiras observam um período de três meses de armazenamento antes de iniciar o beneficiamento do arroz da safra, inicialmente inclusive dosando este com produtos de melhor qualidade culinária, ou seja, armazenados de safras anteriores (PENTEADO, 1990; PEREZ e JULIANO, 1981).

As alterações que ocorrem no armazenamento são usualmente denominadas de envelhecimento do arroz, mas também de maturação pós-colheita, tempo de prateleira e período de descanso (FONSECA et al., 2005; FONSECA e CASTRO, 2008). Este processo tem início logo após a colheita e segue durante todo o período em que o arroz é armazenado, através de um mecanismo ainda não completamente conhecido e monitorado por alterações nas propriedades físico-químicas dos grãos, através de análises de viscosidade, textura, coloração, atividade enzimática e cocção (SOWBHAGYA e BHATTACHARYA, 2001; SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2002).

As modificações na composição química do arroz foram inicialmente mais estudadas para entender o processo de envelhecimento deste cereal. Contudo, em condições normais de armazenamento, os constituintes dos grãos praticamente não variam quantitativamente, apenas sutis mudanças nas frações de amido, proteína e lipídios foram evidenciadas no armazenamento em maiores temperaturas. Logo, as observações das propriedades físico-químicas se mostraram mais promissoras do que avaliações quantitativas nos constituintes dos grãos para avaliar a intensidade do processo de envelhecimento no arroz (VILLAREAL et al., 1976; ZHOU et al., 2002).

As principais hipóteses para o processo de envelhecimento do arroz indicam a ocorrência de:

- Combinação de ácidos graxos livres (formados pela atividade enzimática, mais intensa em maiores temperaturas e umidade) com amido, principalmente com amilose e cadeias longas de amilopectina (PENTEADO, 1990; SHOWBHAGYA e BHATTACHARYA, 2001).
- Reorganização estrutural do grânulo de amido e cadeias proteicas, aumentando interações intramoleculares e peso molecular (CHRASIL, 1990; CHRASIL e ZARINS, 1992; ZHOU et al., 2002).
- Menor interação do amido com proteínas, pela nova interação com ácidos graxos e aumento de interações intramoleculares (ZHOU et al., 2002).
- Redução da atividade da enzima  $\alpha$ -amilase, que inicialmente promove maior aglutinação entre os grãos, devido à degradação do amido das camadas externas destes (ZHOU et al., 2002; SODHI et al., 2003).
- Alterações dos componentes estruturais das paredes celulares (SODHI et al., 2003).

Estes eventos, além de promoverem alterações nas características culinárias, são acompanhados de alterações na cor e aroma do arroz mais velho, que podem ser desejáveis ou

não, dependendo da intensidade em que ocorrem e da preferência do consumidor (MOHAPATRA e BAL, 2007; ZHOU et al., 2002).

O tempo é a principal variável envolvida no envelhecimento do arroz, com alterações mais pronunciadas nos grãos no decorrer do período de armazenamento (CUTRIM et al., 2006; FONSECA et al., 2005; LOPES et al., 2009; ZHOU et al., 2002). Alguns trabalhos demonstraram que a temperatura atua como promotor das alterações estruturais nos grãos (FARUQ et al., 2003; REHMAN, 2006; SOWBHAGYA e BHATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2002). Sob temperaturas controladas, tem-se observado que maiores temperaturas favorecem o envelhecimento no arroz, sendo mais testadas com esta finalidade na faixa de 30 a 40°C (REHMAN, 2006; SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2003). No armazenamento convencional (em silo, sacaria, contêiner, ...), o efeito da temperatura é menos evidente, pois os grãos sofrem grande variação de temperatura dependendo da área de disposição, sistema de aeração ou resfriamento, estação do ano e até de variações de temperatura no mesmo dia (ELIAS, 2007; LAZZARI et al., 2006). Entretanto, poucos trabalhos avaliaram os atributos sensoriais do arroz armazenado sob condições atmosféricas modificadas ou controladas (PENTEADO, 1990; YANAI et al., 1979), que têm sido mais estudadas em relação à preservação de características nos grãos, como diminuição da velocidade de respiração e perda de peso, manutenção da capacidade de germinação, além da prevenção de contaminações e infestações (AGUIAR et al., 2004; MAZARO et al., 1995; PENTEADO, 1990; ROZADO et al., 2008). Para prevenção destas situações adversas aos grãos, também se recorre ao uso de baixas temperaturas, uma vez que ocorrem com maior intensidade em temperaturas superiores à ambiente (ELIAS et al. 2009; LAZZARI et al., 2006).

Aos meios científico e industrial persistem incertas as condições que mais favorecem o processo de envelhecimento e o tempo que estas alterações levam para estabilizar no arroz. Pesquisas nesta área são muito importantes para o agronegócio do arroz, pois a combinação de métodos físicos no armazenamento, como a temperatura com atmosfera modificada ou controlada, pode viabilizar a consecução de um produto diferenciado, mais adequado à preferência geral do consumidor brasileiro e concorrente ao arroz parboilizado. O condicionamento das condições atmosféricas e da temperatura no armazenamento são alternativas mais simples e ecológicas comparadas ao processo de parboilização do arroz, que envolve etapas de encharcamento, cocção em autoclave e secagem dos grãos, acarretando em elevado consumo energético e de água potável (AMATO e ELIAS, 2005; MARSHALL e WADSWORTH, 1994).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo geral definir as condições de atmosfera e temperatura mais favoráveis ao processo de envelhecimento no armazenamento de arroz, reduzindo o tempo para que este cereal apresente cocção satisfatória, sem comprometimento tecnológico e sensorial dos grãos.

Paralelamente, foram estabelecidos objetivos mais específicos, tais como:

- Estudar o comportamento de diferentes variedades de arroz irrigado (típicas da região sul do Brasil) frente às condições de armazenamento.
- Verificar se o processo de envelhecimento do arroz é acompanhado de alterações na composição química dos grãos.
- Avaliar, a partir de análise sensorial, a percepção dos consumidores em relação ao arroz armazenado e a efetividade das diferentes condições de armazenamento em agregar características de arroz envelhecido precocemente.

# ARTIGO 1 – EFEITO DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO SOBRE CARACTERÍSTICAS DE ARROZ IRRIGADO

## Effect of storage conditions on characteristics of irrigated rice

### Resumo

Foram periodicamente avaliadas as propriedades de cocção, cor e atividade enzimática dos grãos de arroz irrigado, variedade BR-IRGA 410, armazenados em casca sob diferentes temperaturas (0,5; 20 e 35°C) e atmosferas controladas (testemunha, 60% de O<sub>2</sub>, 60% de O<sub>2</sub> + 20% de CO<sub>2</sub> e 20% de CO<sub>2</sub>) durante 180 dias. No decorrer do período de armazenamento, observou-se redução na atividade enzimática e absorção de água dos grãos, além de menores valores de pH, resíduos e turbidez na água de cocção. Os atributos de cor dos grãos, avaliados em colorímetro, tiveram diminuição da coordenada L\*, aumento das coordenadas a\* e b\*, indicando grãos mais escuros, com maior intensidade de vermelho e amarelo, respectivamente, enquanto que os parâmetros obtidos em branquímetro demonstraram redução na brancura, transparência e grau de polimento dos grãos armazenados. Estes parâmetros foram influenciados significativamente (P<0,01) pelas variáveis testadas (temperatura, atmosfera e tempo de armazenamento), com exceção dos parâmetros de resíduos, turbidez, coordenadas L\* e a\*, que não foram influenciados significativamente (P>0,01) pelas atmosferas testadas. Tais resultados sugerem a ocorrência do processo de envelhecimento no arroz armazenado, de maneira mais expressiva em maiores temperaturas e concentrações atmosféricas de O<sub>2</sub>. A temperatura de 35°C tem potencial para ser utilizada na aceleração do processo de envelhecimento do arroz, principalmente se combinada às atmosferas controladas com baixas concentrações de O<sub>2</sub>, que auxiliam na manutenção da cor do arroz.

**Palavras-chave:** Envelhecimento, atmosfera controlada, cor, número de queda, cocção.

### Abstract

The cooking properties, color and enzymatic activity of the rice grains, variety BR-IRGA 410, stored in husk under different temperatures (0.5, 20 and 35 °C) and controlled atmospheres (control, 60% O<sub>2</sub>, 60% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> and 20% CO<sub>2</sub>) were periodically evaluated for 180 days. During the storage period, there was reduction in enzyme activity and water absorption of the grains, in addition to lower pH values, solid content and turbidity in



the cooking water. The color attributes of grains, evaluated at colorimeter, showed reduction of L\*, increase of a\* and b\*, indicating darkening, reddening and yellowing of the grains, respectively, whereas the parameters obtained in milling meter demonstrated reduction in the whiteness, transparency and milling degree of stored grains. These parameters were influenced ( $P < 0.01$ ) by the variables tested (temperature, atmosphere and storage time), except the parameters of solid content, turbidity, a\* and L\* coordinates, which were not affected significantly ( $P > 0.01$ ) for the tested atmospheres. These results suggest the occurrence of ageing of rice, more significant at higher temperatures and atmospheric concentrations of O<sub>2</sub>. The temperature of 35 °C has potential to be used in accelerating the ageing of rice, especially if combined with controlled atmospheres with low concentrations of O<sub>2</sub>, which help to maintain the rice color.

**Keywords:** Ageing, controlled atmosphere, color, falling number, cooking.

## Introdução

A produção mundial do arroz é de 662 milhões de toneladas anuais, sendo que entre 11 e 13 milhões destas são produzidas no Brasil, que detém o título de principal produtor fora do continente asiático e nono maior produtor mundial (CONAB, 2009; FRITZ et al., 2008; SOSBAI, 2010). No cenário nacional, o Rio Grande do Sul contribui com cerca de 63% da produção, com mais de 1 milhão de hectares cultivados em praticamente todas as regiões da metade sul que possuem solos de várzea aptos para este tipo de cultivo e representam aproximadamente 30% da produção total de grãos do estado (IRGA, 2008; SOSBAI, 2010). As áreas de cultivo de arroz irrigado no Rio Grande do Sul estão distribuídas entre as regiões Sul (15,60%), Campanha (16,36%), Planície Costeira Interna (12,87%), Planície Costeira Externa (11,68%), Depressão Central (15,36%) e Fronteira Oeste (28,13%) (CONAB, 2009; IRGA, 2008; SOSBAI, 2010).

No Brasil, o consumo *per capita* é de aproximadamente 52,5 kg/ano (base casca), que apesar de ser inferior ao consumo médio mundial de 85 kg/ano, é considerado alto, se comparado às médias de consumo dos países mais desenvolvidos, como da Europa e Estados Unidos (16,7 kg/ano) (CONAB, 2009). Aproximadamente 95% dos brasileiros utilizam o arroz em pelo menos uma refeição por semana e 50% consomem arroz no mínimo uma vez por dia. O maior consumo, cerca de 70% do total, é de arroz branco polido, seguido do arroz parboilizado, cujo consumo tem aumentado significativamente nas últimas décadas e atualmente corresponde a 25%, enquanto que, apenas 5% do consumo nacional são reservados ao arroz integral e variedades especiais (ELIAS, 2007).

Os percentuais de consumo refletem a preferência do consumidor brasileiro por arroz branco polido, grãos longos finos e inteiros, além de maior apreço por grãos translúcidos, de coloração clara, bom rendimento de panela, rápido cozimento, ausência de sabor e odor fortes, aparência de secos e soltos após o cozimento e com possibilidade de serem reaquecidos sem perder a maciez original (BASSINELLO et al., 2004; ELIAS, 2007; JULIANO e DUFF, 1991). Destas preferências, a qualidade culinária é uma característica marcante e reflete diretamente na aceitação do produto pelo consumidor e no valor de mercado do arroz, sendo que o atendimento a esta exigência está relacionado às características intrínsecas dos grãos e ao fenômeno usualmente chamado de envelhecimento do arroz, também denominado de maturação pós-colheita, tempo de prateleira e período de descanso do arroz (FONSECA et al., 2005; FONSECA e CASTRO, 2008; SOWBHAGYA e BHATTACHARYA, 2001).

Desde que o arroz é cultivado têm-se conhecimento que este cereal modifica suas propriedades de cocção drasticamente durante o armazenamento, porém apenas nas últimas décadas estas alterações começaram a ser investigadas cientificamente (SOWBHAGYA e BHATTACHARYA, 2001). O envelhecimento do arroz é um processo complexo que tem início logo após a colheita deste cereal e ocorre principalmente no arroz em casca, mas também no arroz integral, no arroz polido, na farinha de arroz, no amido de arroz e no arroz cozido, permanecendo como um dos maiores enigmas da química de cereais (ZHOU et al., 2002).

As modificações na composição química do arroz têm sido estudadas para elucidar o processo de envelhecimento deste cereal, porém nas condições normais de armazenamento, os constituintes dos grãos praticamente não variam quantitativamente, sendo observadas apenas sutis mudanças nas frações de amido, proteínas e lipídios de arroz armazenado em diferentes temperaturas (ZHOU et al., 2002). Desta maneira, alterações estruturais intra e intermoleculares provocadas por interações entre os constituintes majoritários dos grãos (amido, principalmente amilose, proteínas e ácidos graxos) aumentam a insolubilidade dos complexos formados e alteram algumas características físico-químicas do arroz armazenado, que podem ser constatadas a partir de análises de viscosidade, textura, cor, atividade enzimática e propriedades de cocção dos grãos (SODHI et al., 2003; VILLAREAL et al., 1976; ZHOU et al., 2002; ZHOU et al., 2003; ZHOU et al., 2007).

Quanto às características culinárias, o arroz beneficiado poucos meses após a colheita geralmente apresenta grãos bastante pegajosos após cocção. O armazenamento em sistemas graneleiros convencionais por aproximadamente 12 meses confere melhores características culinárias, porém este período é inviável para a maioria das indústrias de arroz, que

atualmente precisam adquirir matérias-primas de melhor aporte genético ou já descansadas, além de dispor de estrutura de armazenamento suficiente para manter o arroz até atingir qualidade culinária satisfatória (ELIAS, 2007; MARSHALL e WADSWORTH, 1994; PENTEADO, 1990).

Diversos trabalhos relataram a influência das condições de armazenamento no processo de envelhecimento do arroz, sendo unânimes em ressaltar que o tempo contribui nas alterações decorrentes deste processo, enquanto outros trabalhos relacionaram o tempo com a temperatura de armazenamento (FARUQ et al., 2003a; REHMAN, 2006; SOWBHAGYA e BHATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2002; ZHOU et al., 2003), mas poucos avaliaram a influência das condições atmosféricas (PENTEADO, 1990; YANAI et al., 1979), que têm sido mais estudadas em relação à preservação de características nos grãos, como diminuição da velocidade de respiração e perda de peso, manutenção da cor e capacidade de germinação, além da prevenção de contaminações e infestações (MAZARO et al., 1995; PENTEADO, 1990; ROZADO et al., 2008).

Considerando o exposto, foram periodicamente avaliadas as propriedades de cocção, cor e atividade enzimática dos grãos de arroz irrigado da variedade BR-IRGA 410, armazenados em casca sob diferentes temperaturas e condições atmosféricas durante 180 dias, no intuito de monitorar a influência das variáveis no processo de envelhecimento do arroz.

## **Materiais e métodos**

Condução do experimento: Arroz em casca seco, variedade BR-IRGA 410, cultivado na região sul do estado do Rio Grande do Sul (33°31' S e 53°22' O) em sistema irrigado por alagamento na safra 2008/2009, foi coletado imediatamente após a secagem por método intermitente. A amostra foi subdividida em frações com cerca de 1 kg, fechadas em sacaria de algodão, identificadas e acondicionadas aleatoriamente em câmaras herméticas com diferentes temperaturas (0,5; 20 e 35°C) e atmosferas controladas (testemunha, 60% de O<sub>2</sub> com cal hidratada para absorver e evitar acúmulo de CO<sub>2</sub>, 60% de O<sub>2</sub> + 20% de CO<sub>2</sub> e 20% de CO<sub>2</sub>) no Núcleo de Pesquisa em Pós-Colheita da Universidade Federal de Santa Maria. As amostragens e análises foram realizadas nos intervalos de 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após o início do armazenamento, sendo testadas as combinações de temperatura X atmosfera X tempo de armazenamento do arroz em três repetições.

Beneficiamento do arroz: Em máquina testadora de arroz (MT, Suzuki), cerca de 100 g de arroz foi descascado, polido e classificado em cada operação. Os grãos de arroz polido remanescentes no *trieur* (inteiros) e no cocho (quebrados) foram pesados para cálculo do

rendimento em porcentagem, sendo reservados apenas os grãos inteiros para sequencia de análises.

Propriedades de cocção: Conforme metodologia proposta por Zhou et al. (2007), 2 g de arroz foram transferidos para tubo de ensaio com tampa, adicionados de 20 mL de água destilada e incubados em banho-maria a 95°C por 30 minutos. Após o período de incubação e resfriamento em gelo por 10 minutos, quantificou-se a água residual (não absorvida), transferiu-se 1 mL para cadinho de porcelana previamente e posteriormente mantido em estufa a 105°C até peso constante e pesado, mediu-se o pH e, após 16 horas de repouso, leu-se a turbidez em espectrofotômetro a 600 nm, utilizando água destilada como branco. Desta maneira, foram mensurados os parâmetros de absorção de água dos grãos ( $\text{mL g}^{-1}$ ), resíduos ( $\text{mg mL}^{-1}$ ), pH e turbidez da água de cocção.

Análises de cor: Através de colorímetro (CR-310, Minolta) foram avaliadas, diretamente nos grãos, três coordenadas cartesianas do espaço psicométrico CIELAB:  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ .  $L^*$  indicando a luminosidade do preto ( $L^* = 0$ ) ao branco ( $L^* = 100$ ),  $a^*$  indicando a tendência da cor verde ( $-a^*$ ) ao vermelho ( $+a^*$ ) e  $b^*$  indicando a tendência da cor azul ( $-b^*$ ) ao amarelo ( $+b^*$ ). Em branquímetro (MM1D, Satake) foram avaliados os parâmetros de brancura (5,0 - 70,0%), transparência (0,01 - 8,00%) e grau de polimento (0 - 199).

Atividade enzimática: Os grãos de arroz foram moídos em micromoinho (MA-630, Marconi) e a fração moída peneirada em peneira com abertura de 300  $\mu\text{m}$ . A atividade enzimática foi avaliada em 5 g da farinha de arroz através de sistema *falling number* (FN 1500, Perten) e conforme método 56-81B descrito pela AACC (2000). O tempo necessário para reduzir a viscosidade do gel pela ação enzimática e permitir a queda do agitador, denominado de número de queda, foi mensurado em segundos.

Análise estatística: Em programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) 8.0 para *Windows*, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e comparados pelo teste de *Tukey* em nível de 1% de significância para as interações das variáveis do experimento (temperatura, atmosfera e tempo de armazenamento). As médias dos parâmetros com interações significativas entre as variáveis foram dispostas graficamente em função do tempo de armazenamento, com linha de tendência e equação da reta ou função, observando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) mínimo de 0,8.

## Resultados e discussão

No beneficiamento das amostras não foram evidenciadas alterações significativas no rendimento de grãos inteiros e quebrados durante o período do experimento. A variedade de

arroz armazenada apresentou rendimento médio de 53,2 X 15,3 em grãos inteiros X quebrados, que se manteve nos 180 dias, independentemente da temperatura e atmosfera de armazenamento.

Os gráficos da Figura 1 demonstram diminuição na absorção de água pelos grãos de arroz armazenados, influenciada significativamente ( $P < 0,01$ ) pela temperatura, atmosfera e tempo de armazenamento. Maiores temperaturas, concentrações atmosféricas com  $O_2$  e tempo de armazenamento atribuíram maior resistência à absorção de água pelos grãos.

A redução na absorção de água não representa menor capacidade de absorção da água de cocção pelos grãos, mas demonstra que as alterações estruturais tornam os grãos de arroz armazenados mais resistentes à entrada de água (ZHOU et al., 2007).

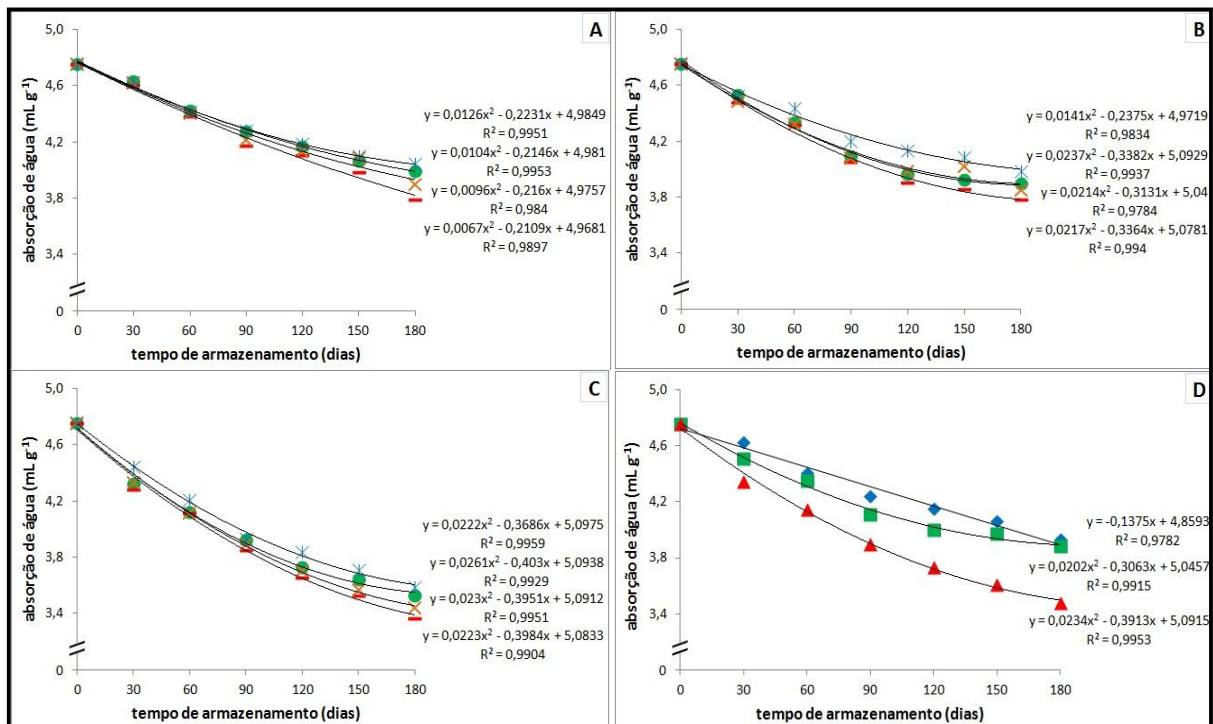


Figura 1 – Absorção de água do arroz armazenado em atmosfera controlada (● testemunha, — 60% O<sub>2</sub>, × 60% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> e \* 20% CO<sub>2</sub>) a 0,5°C (A), 20°C (B), 35°C (C) e médias (D) das temperaturas (◆ 0,5°C, ■ 20°C e ▲ 35°C).

Conforme gráficos da Figura 2, o pH da água de cocção também foi influenciado significativamente ( $P < 0,01$ ) pelas três variáveis testadas no experimento. No decorrer do armazenamento, as amostras apresentaram diminuição nos valores de pH da água de cocção, de maneira mais pronunciada em maiores temperaturas e concentrações atmosféricas com  $O_2$ .

A redução no pH é indicativo do aumento da acidez na água de cocção das amostras. Esta é uma característica do processo de envelhecimento do arroz, no qual ocorrem reações de oxidação em alguns constituintes e hidrólise dos triglicerídios em ácidos graxos, favorecidas por maiores temperaturas e presença de O<sub>2</sub> (SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2002; ZHOU et al., 2007).

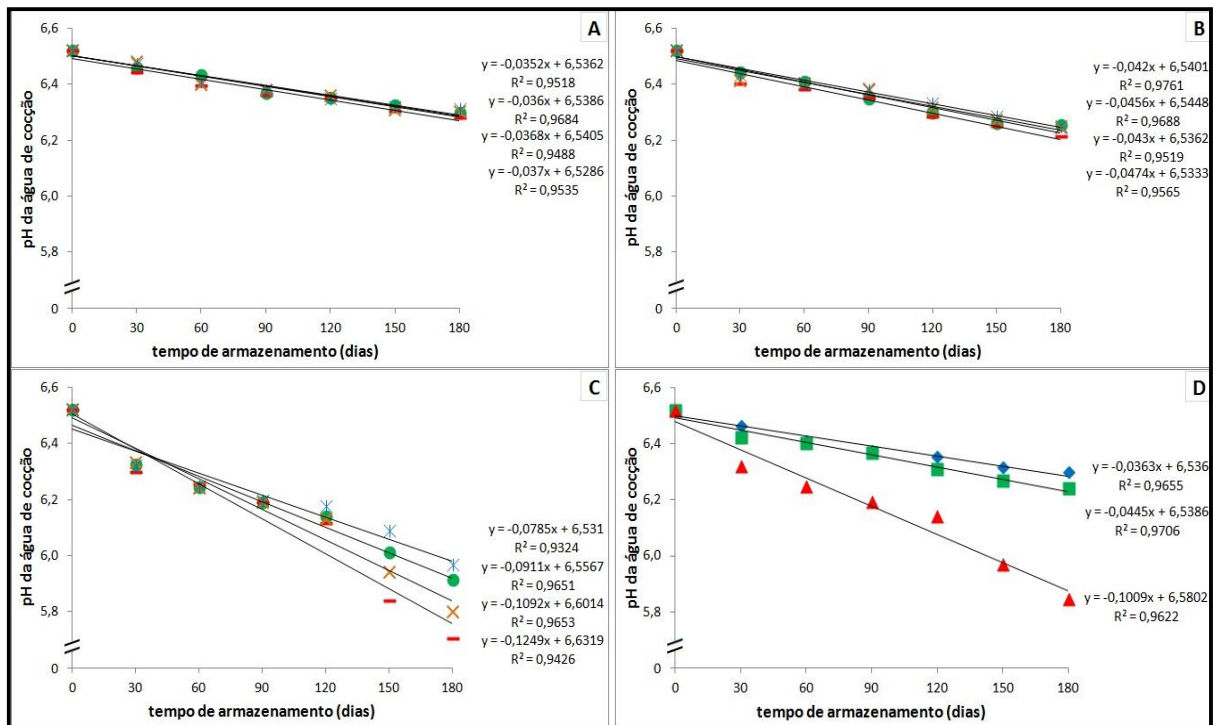


Figura 2 – pH da água de cocção do arroz armazenado em atmosfera controlada (● testemunha, — 60% O<sub>2</sub>, × 60% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> e × 20% CO<sub>2</sub>) a 0,5°C (A), 20°C (B), 35°C (C) e médias (D) das temperaturas (◆ 0,5°C, ■ 20°C e ▲ 35°C).

Na Figura 3 estão demonstradas as quantidades de resíduos dos grãos transferidos para a água na cocção e a turbidez decorrente da presença destes resíduos. Estes parâmetros foram influenciados ( $P < 0,01$ ) pela temperatura e tempo de armazenamento, mas sem influência significativa ( $P > 0,01$ ) das atmosferas testadas. A redução nos parâmetros foi mais expressiva nas amostras mantidas em maiores temperaturas e de maneira mais intensa até a metade do período de armazenamento (90 dias), seguida de aparente estabilização.

Estas constatações também podem ser atribuídas às alterações estruturais nos grãos, decorrentes do processo de envelhecimento do arroz que, em maiores períodos e temperaturas de armazenamento, promoveram maior organização estrutural dos grânulos de amido e

cadeias protéicas, impedindo lixiviação de componentes dos grãos no cozimento (SODHI et al., 2003; ZHOU et al. 2007).

A perda de sólidos dos grãos para a água de cocção é uma propriedade importante para definir a qualidade de cocção do arroz, visto que resíduos provenientes dos grãos tendem a gelatinizar e promover pegajosidade entre os grãos, normalmente desfavorável às características sensoriais mais apreciadas pelos consumidores (ELIAS, 2007; SODHI et al., 2003).

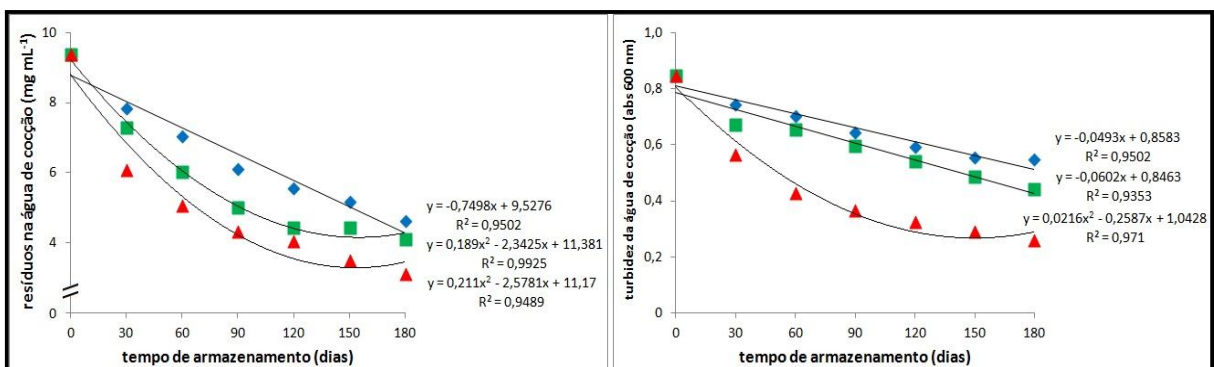


Figura 3 – Resíduos e turbidez da água de cocção do arroz armazenado sob diferentes temperaturas (♦ 0,5°C, ■ 20°C e ▲ 35°C).

De acordo com a Figura 4, as coordenadas de cromaticidade  $L^*$  e  $a^*$ , foram influenciadas pela temperatura e tempo de armazenamento, sem influência significativa das condições atmosféricas ( $P > 0,01$ ).

A luminosidade dos grãos diminuiu no decorrer do armazenamento, de maneira mais acentuada até a metade deste período (90 dias), seguida de posterior aparente estabilização. A temperatura de 35°C proporcionou menor luminosidade, enquanto que a 0,5 e 20°C as reduções na luminosidade dos grãos mantidos nestas temperaturas foram menores e bastante semelhantes.

A coordenada  $a^*$  aumentou linearmente durante o período de armazenamento, com curvas bem distintas entre as temperaturas testadas, sendo observados maiores valores deste atributo de cor em maiores temperaturas desde 30 dias de armazenamento.

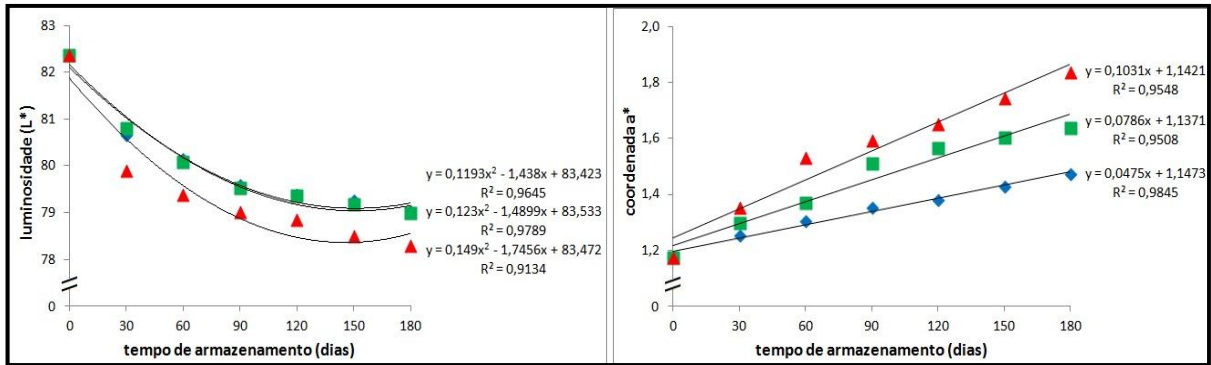


Figura 4 – Coordenadas L\* e a\* do arroz armazenado sob diferentes temperaturas (◆ 0,5°C, ■ 20°C e ▲ 35°C).

Observando a Figura 5, nota-se que a coordenada de cromaticidade b\* foi influenciada significativamente ( $P < 0,01$ ) pela temperatura, atmosfera e tempo de armazenamento, com alterações mais pronunciadas nos grãos armazenados em maiores temperaturas e atmosferas com maior concentração de O<sub>2</sub>.

As alterações de cor constatadas a partir das análises colorimétricas demonstraram a tendência dos grãos ficarem mais escuros, avermelhados e amarelados no armazenamento, prejudicando um importante quesito de qualidade utilizado na escolha dos produtos pelos consumidores, que têm preferência por arroz com grãos mais claros e translúcidos (BASSINELLO et al., 2004; ELIAS, 2007; MARSHALL e WADSWORTH, 1994).

Estas alterações de cor estão relacionadas com a ocorrência de reações de Maillard, reações enzimáticas, transferência de compostos com cor das camadas externas para o endosperma do grão e, principalmente, com a oxidação de constituintes do grão. Nas condições de armazenamento mais favoráveis ao envelhecimento do arroz (35°C e presença de O<sub>2</sub>) são favorecidas as reações oxidativas e, indiretamente, as reações de Maillard, em razão do estresse oxidativo, que disponibiliza água para reações de escurecimento não enzimático, pouco relevantes em baixas atividades de água e temperaturas inferiores a 40°C (BOBBIO e BOBBIO, 2001; FENNEMA et al., 2010).

Tais reações e eventos ocorrem naturalmente no arroz, mas principalmente quando os grãos são armazenados em casca, com umidade superior a 13%, em maiores temperaturas, em condições que favoreçam reações oxidativas e em processos de hidratação (FONSECA et al., 2011; MARSHALL e WADSWORTH, 1994; ROY et al., 1991).



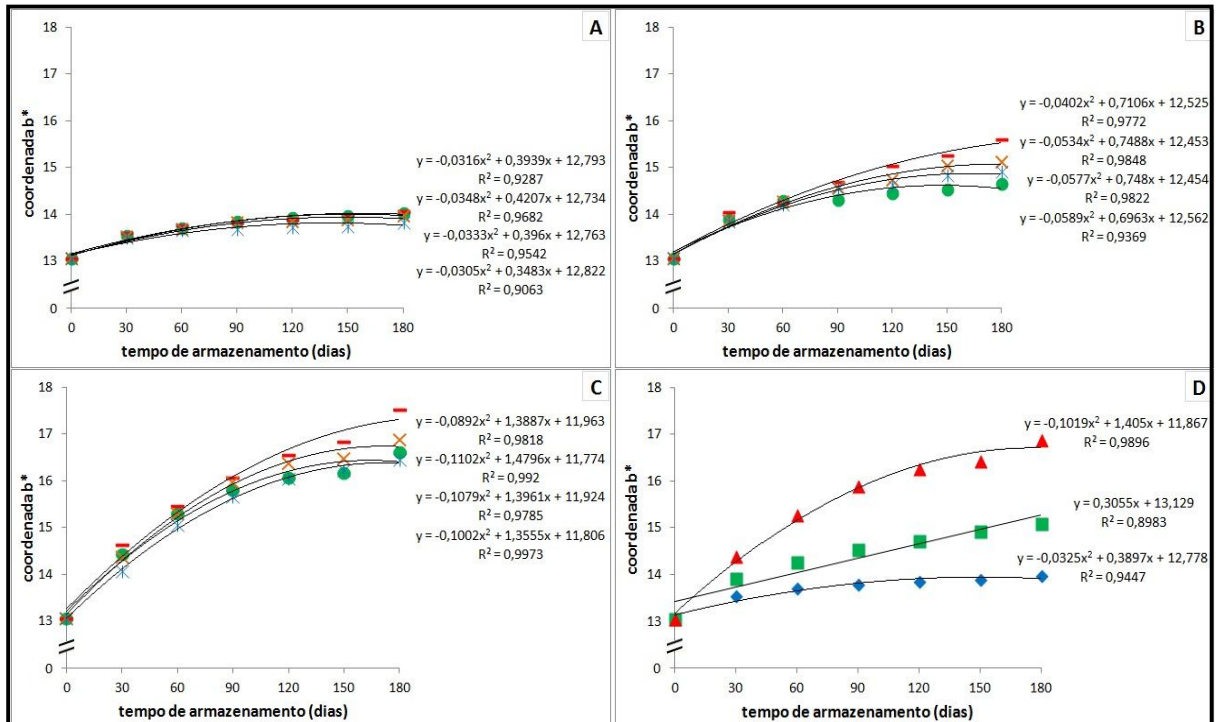


Figura 5 – Coordenada  $b^*$  do arroz armazenado em atmosfera controlada (● testemunha, — 60%  $O_2$ , × 60%  $O_2$  + 20%  $CO_2$  e \* 20%  $CO_2$ ) a 0,5°C (A), 20°C (B), 35°C (C) e médias (D) das temperaturas (◆ 0,5°C, ■ 20°C e ▲ 35°C).

Nas análises dos grãos em branquímetro, constatou-se que a temperatura, atmosfera e tempo de armazenamento influenciaram significativamente ( $P < 0,01$ ) na redução dos parâmetros de brancura (Figura 6), transparência (Figura 7) e grau de polimento (Figura 8). Mesmo com a redução dos parâmetros analisados, ao final dos 180 dias de armazenamento, todas as amostras apresentavam qualidade aceitável para o beneficiamento e comercialização dos grãos de arroz como polidos.

A redução da brancura nos grãos foi maior nas maiores temperaturas de armazenamento, sendo que a 35°C, a atmosfera com 60% de  $O_2$  contribuiu ainda mais na redução da brancura, principalmente a partir da metade do armazenamento (Figura 6C). Já na atmosfera com 20% de  $CO_2$ , os grãos mantiveram-se mais brancos independentemente da temperatura de armazenamento.

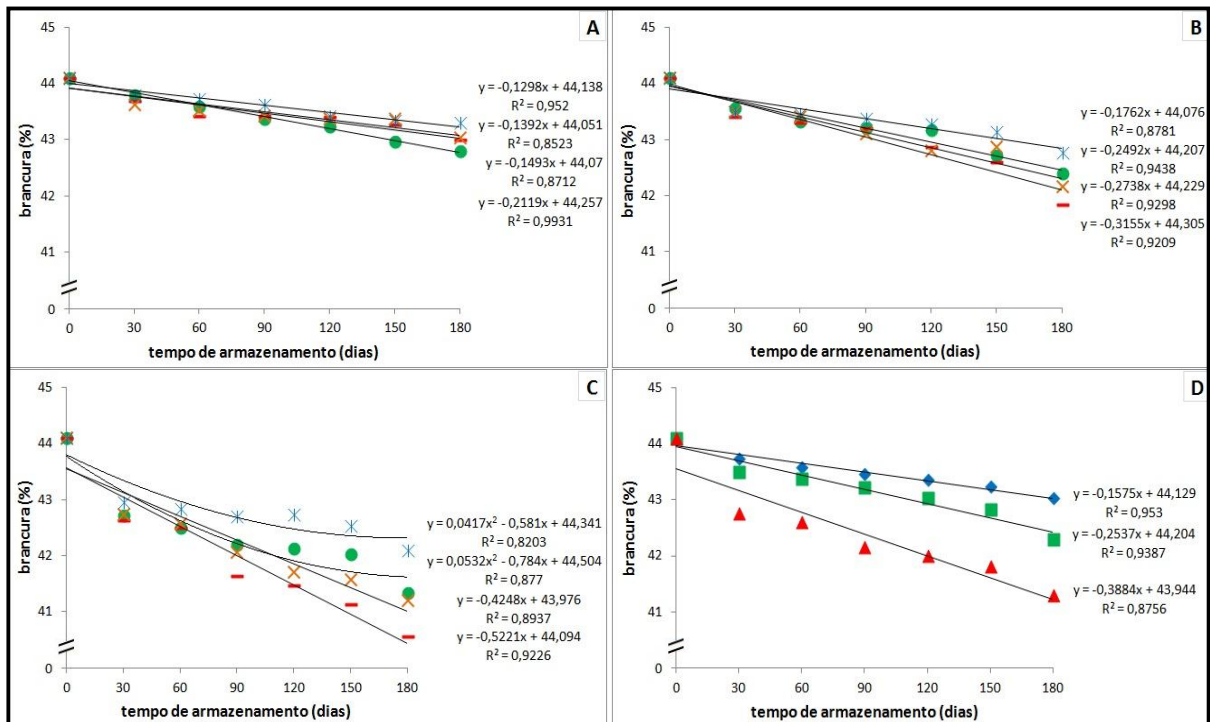


Figura 6 – Brancura do arroz armazenado em atmosfera controlada (● testemunha, — 60% O<sub>2</sub>, × 60% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> e ⋆ 20% CO<sub>2</sub>) a 0,5°C (A), 20°C (B), 35°C (C) e médias (D) das temperaturas (◆ 0,5°C, ■ 20°C e ▲ 35°C).

Os grãos ficaram expressivamente mais translúcidos quando submetidos ao armazenamento em menores temperaturas, especialmente 0,5°C (Figura 7D), enquanto que a atmosfera com 60% de O<sub>2</sub> prejudicou a transparência nas três temperaturas de armazenamento testadas. Na temperatura de 35°C, a atmosfera com 20% de CO<sub>2</sub> proporcionou redução menos expressiva na transparência (Figura 7C), já a 20°C, os grãos mais translúcidos estiveram armazenados na câmara testemunha (Figura 7B).

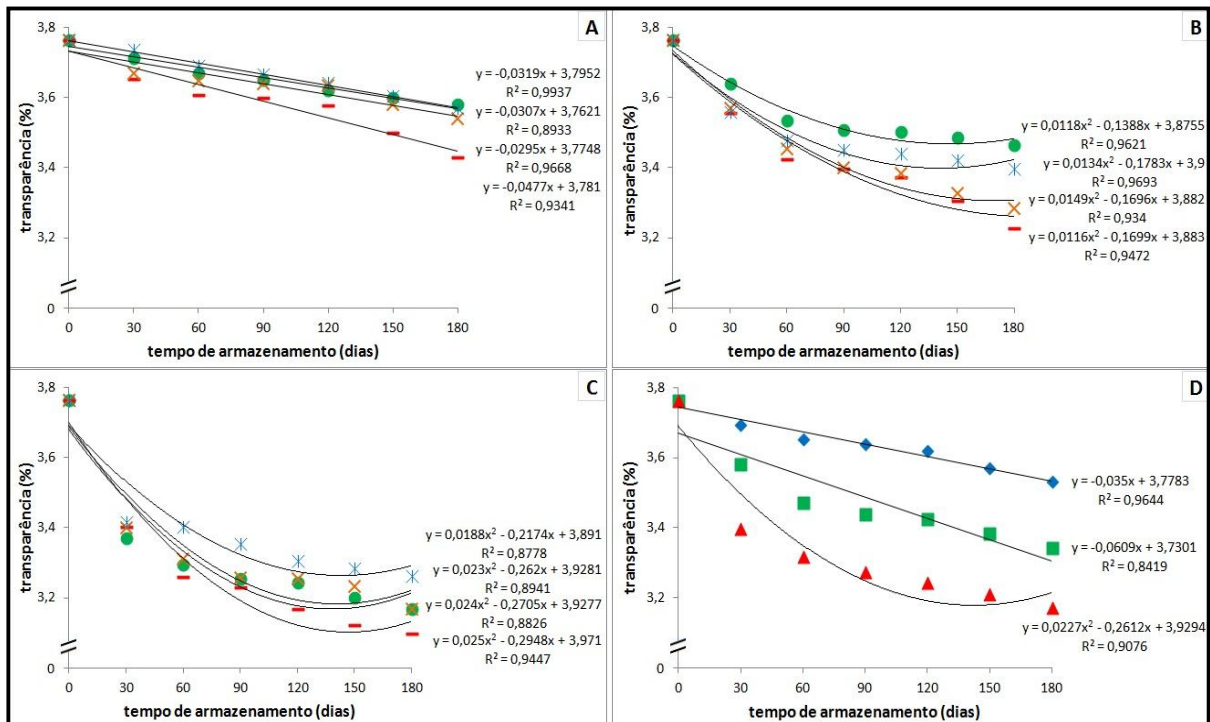


Figura 7 – Transparência do arroz armazenado em atmosfera controlada (● testemunha, — 60% O<sub>2</sub>, × 60% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> e \* 20% CO<sub>2</sub>) a 0,5°C (A), 20°C (B), 35°C (C) e médias (D) das temperaturas (◆ 0,5°C, ■ 20°C e ▲ 35°C).

O grau de polimento é um parâmetro tradicionalmente relacionado à quantidade de farelo removida do grão, determinado por meio de aparelhos ópticos ou inspeção visual, sendo que neste caso são considerados apenas quatro graus de polimento para o arroz (bem polido, razoavelmente bem polido, levemente polido e não polido) e sem uma definição precisa destes termos (HOUSTON, 1972).

A redução no grau de polimento foi constatada em todos os tratamentos no decorrer do armazenamento, sendo que a atmosfera com 20% de CO<sub>2</sub> mostrou-se mais eficiente na manutenção do grau de polimento a partir de 120 dias. Atmosferas com maiores concentrações de O<sub>2</sub> determinaram reduções mais expressivas no grau de polimento do arroz. Maiores temperaturas de armazenamento, proporcionaram decréscimos mais acentuados no grau de polimento das amostras (Figura 8D). Nestes casos, as reduções no grau de polimento estão mais relacionadas às alterações de cor e transparência demonstradas nos resultados descritos anteriormente do que à remoção do farelo do grão na etapa de polimento.

Além de constituir uma característica sensorial, o grau de polimento tem importância tecnológica, nutricional e culinária para o arroz. Quando os grãos de arroz são pouco ou mal polidos, podem apresentar coloração mais escura, estrias de farelo e sofrer rancificação

lipídica. No arroz excessivamente polido observa-se maior quebra dos grãos no processo de brunimento, remoção das camadas mais externas contendo maior conteúdo mineral, vitamínico, protéico e lipídico que, além de diminuir o valor nutricional, prejudica a qualidade culinária, pois são nestas camadas que ocorrem as alterações estruturais que mais contribuem para as características do arroz armazenado (MARSHALL e WADSWORTH, 1994; MOHAPATRA e BAL, 2007; OLIVEIRA et al., 2007).

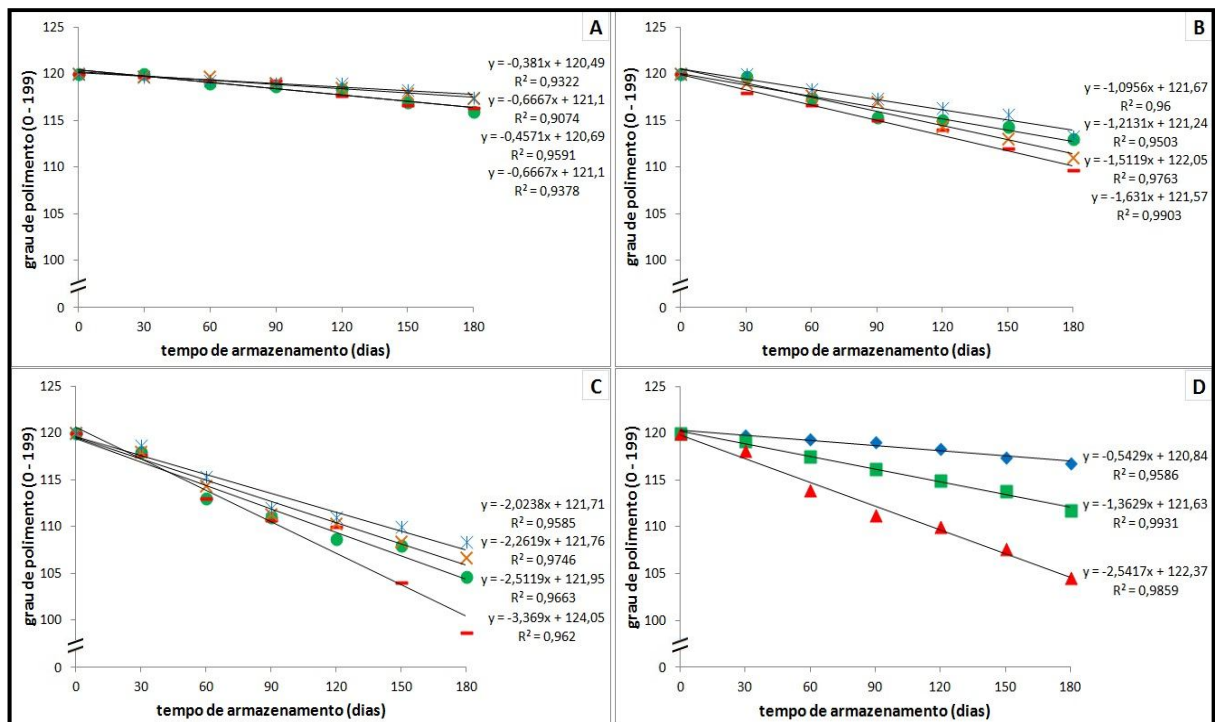


Figura 8 – Grau de polimento do arroz armazenado em atmosfera controlada (● testemunha, ■ 60% O<sub>2</sub>, × 60% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> e ✱ 20% CO<sub>2</sub>) a 0,5°C (A), 20°C (B), 35°C (C) e médias (D) das temperaturas (◆ 0,5°C, ■ 20°C e ▲ 35°C).

A atividade enzimática das amostras, determinada indiretamente pelo sistema *falling number* e descrita na Figura 9, foi influenciada significativamente ( $P < 0,01$ ) pela temperatura, atmosfera e tempo de armazenamento. Embora nesta metodologia seja mensurada especificamente a atividade da enzima  $\alpha$ -amilase, no decorrer do armazenamento, a redução na atividade enzimática foi mais expressiva nas amostras mantidas em atmosfera controlada com 60% de O<sub>2</sub> e temperatura de 35°C, enquanto que atmosfera com CO<sub>2</sub> e menores temperaturas mantiveram maiores atividades enzimáticas. Estes resultados demonstram que as

condições de armazenamento mais favoráveis ao envelhecimento do arroz contribuem na redução da atividade enzimática no decorrer do armazenamento.

As enzimas que perdem atividade têm reconhecida atuação na mobilização de reservas dos grãos, como na germinação ( $\alpha$ -amilases, celulasas e peroxidases), enquanto outras enzimas, encarregadas da formação de cor, sabor e odor característicos do arroz velho (proteases, lipases e lipoxigenases) ficam mais ativas nos períodos iniciais do armazenamento de arroz (DHALIWAL et al., 1991; SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2002). Desta maneira, a atividade enzimática também pode ser relacionada às propriedades de cocção do arroz, pois a inativação das enzimas que hidrolisam o amido nos estágios iniciais do cozimento, mantém a estrutura deste polissacarídeo com maior capacidade de absorção água e viscosidade, já a hidrólise dos lipídios favorece a interação dos produtos destas reações com o amido, que formam complexos insolúveis e contribuem para melhor qualidade culinária, enquanto a proteólise disponibiliza aminoácidos que servem como substrato para reações de Maillard nas camadas mais externas dos grãos (LINKO et al., 1997; SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2002).

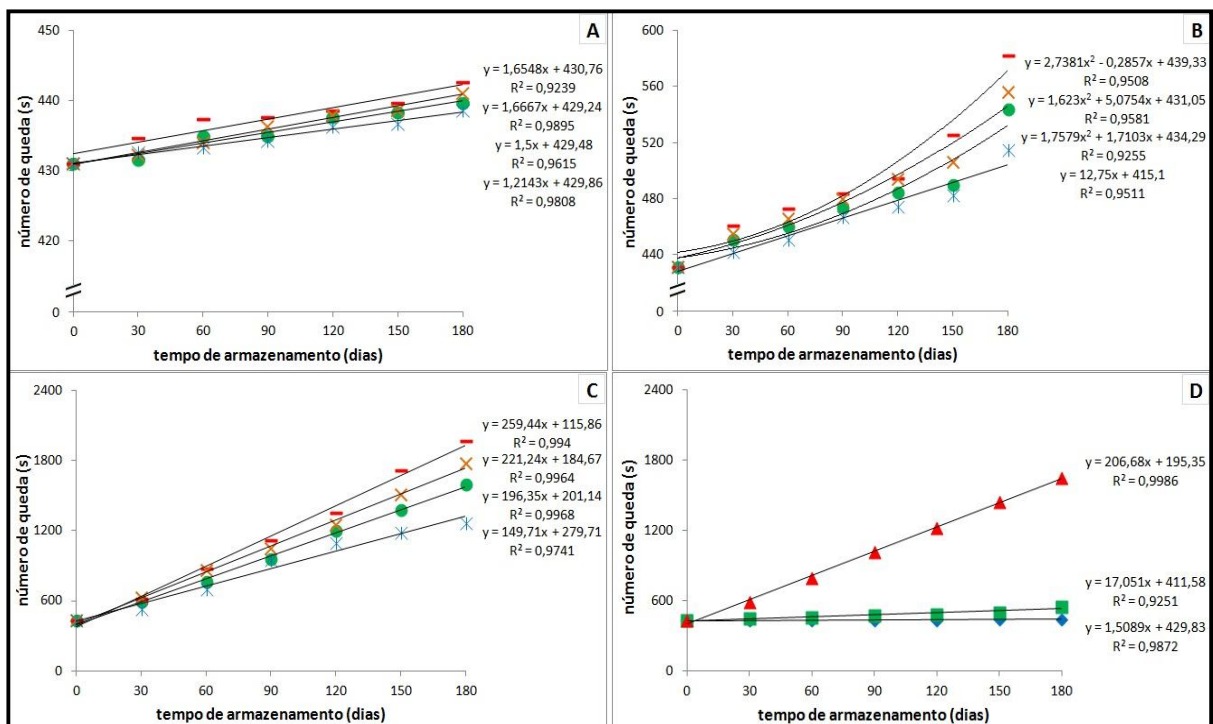


Figura 9 – Número de queda do arroz armazenado em atmosfera controlada (● testemunha, — 60% O<sub>2</sub>, × 60% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> e \* 20% CO<sub>2</sub>) a 0,5°C (A), 20°C (B), 35°C (C) e médias (D) das temperaturas (◆ 0,5°C, ■ 20°C e ▲ 35°C).

## Conclusão

Os resultados observados nas propriedades de cocção, cor e atividade enzimática sugerem a ocorrência do processo de envelhecimento do arroz no decorrer do período de armazenamento, de maneira mais expressiva em maiores temperaturas e concentrações atmosféricas de O<sub>2</sub>. O armazenamento na temperatura de 35°C proporcionou alterações mais significativas nas características dos grãos e tem potencial para ser utilizada na aceleração do processo de envelhecimento do arroz, agregando qualidade culinária em menor tempo, principalmente se combinada às atmosferas controladas com baixas concentrações de O<sub>2</sub>, que auxiliam na manutenção da cor do arroz.

## Referências

AACC - American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**. 10th ed. Saint Paul: AACC, 2000.

BASSINELLO, P. Z.; ROCHA, M. S.; COBUCCI, R. M. A. **Avaliação de diferentes métodos de cocção de arroz de terras altas para teste sensorial**. Comunicado Técnico da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, n. 84., 8 p., dez. 2004.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3ª ed. São Paulo: Livraria Varela, 2001. 143 p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em: 31 mar. 2009.

DHALIWAL, Y. S.; SEKHON, K. S.; NAGI, H. P. S. Enzymatic activities and rheological properties of stored rice. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, n. 1, p. 18-21, jan. 1991.

ELIAS, M. C. **Pós-colheita de arroz: Secagem, armazenamento e qualidade**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2007. 437 p.

FARUQ, G. et al. Optimization of aging time and temperature for four malaysian rice cultivars. **Pakistan Journal of Nutrition**, Faisalabad, v. 2, n. 3, p. 125-131, mai-jun. 2003.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de los alimentos**. 3ª ed. Zaragoza, Editorial Acribia, 2010. 1154 p.

FRITZ, L. L. et al. Agroecossistemas orizícolas irrigados: Insetos-praga, inimigos naturais e manejo integrado. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 720-732, dez. 2008.

FONSECA, F. A. et al. Efeito da temperatura e do tempo de imersão na etapa de encharcamento sobre a cor dos grãos de arroz parboilizado de cultivares de terras altas. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 221-234, jan-mar. 2011.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. M. Maturação pós-colheita de cultivares de arroz de terras altas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 5, p. 389-392, set-out. 2008.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. M.; MORAIS, O. P. **Tempo de prateleira de cultivares de arroz de terras altas**. Comunicado Técnico da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, n. 98. 4 p., out. 2005.

HOUSTON, D. F. **Rice: Chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1972, p. 113-150.

IRGA - Instituto Rio Grandense do Arroz. Disponível em: <[http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=noticias\\_detalhe&id=6](http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=noticias_detalhe&id=6)>. Acesso em: 12 out. 2008.

JULIANO, B. O.; DUFF, B. Rice grain quality as an emerging priority in national rice breeding programs. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1991, Manila. **Rice grain marketing and quality issues...** Manila: IRRI, 1991. p. 55-64.

LINKO, Y. Y.; JAVANAINEN, P.; LINKO, S. Biotechnology of bread baking. **Trends in Food Science and Technology**, Oxford, v. 8, n. 10, p. 339-344, oct. 1997.

MARSHALL, W. E.; WADSWORTH, J. I. **Rice Science and Technology**. New Orleans: Marcel Dekker, 1994. 470 p.

MAZARO, S. M.; BRACKMANN, A.; MENEZES, N. L. Efeito da concentração de oxigênio sobre a superação da dormência de sementes de arroz cv. EMBRAPA 7-TAIM. In: JORNADA INTEGRADA DE PESQUISA, EXTENSÃO E ENSINO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2., 1995, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1995. p. 497.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Effect of degree of milling on specific energy consumption, optical measurements and cooking quality of rice. **Journal of Food Engineering**, Oakville, v. 80, n. 1, p. 119-125, may 2007.

OLIVEIRA, M. et al. Efeito do polimento sobre parâmetros nutricionais, de textura e sensoriais de grão em arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. v. 2, p. 572-575.

REHMAN, Z. U. Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals. **Food Chemistry**, Oxford, v. 95, n. 1, p. 53–57, mar. 2006.

ROZADO, A. F. et al. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 282-285, mai-jun. 2008.

ROY, M. K.; GHOSH, S. K.; CHATTERJEE, S. R. Gamma-irradiation of rice grains. **Journal of Food Science and Technology**, New Delhi, v. 28, n. 6, p. 337-340, dec. 1991.

SODHI, N. S. et al. Changes in physico-chemical, thermal, cooking and textural properties of rice during aging. **Journal of Food Processing and Preservation**, Malden, v. 27, n. 5, p. 387–400, dec. 2003.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica e Editora Pallotti, 2010. 188 p.

SOWBHAGYA, C. M.; BHATTACHARYA, K. R. Changes in pasting behaviour of rice during ageing. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 115–124, sep. 2001.

VILLAREAL, R. M. et al. Changes in physicochemical properties of rice during storage. **Starch**, Weinheim, v. 28, n. 3, p. 88–94, mar. 1976.

ZHOU, Z. et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 65–78, jan. 2002.

\_\_\_\_\_. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. **Food Research International**, Oxford, v. 36, n. 6, p. 625–634, jan. 2003.

\_\_\_\_\_. Effect of storage temperature on cooking behaviour of rice. **Food Chemistry**, Oxford, v. 105, n. 2, p. 491-497, jan. 2007.

YANAI, S.; ISHITANI, T.; KOJO, T. Influence of gaseous environment on the hermetic storage of milled rice. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**, Tokyo, v. 26, p. 145-150, 1979.



## **ARTIGO 2 – CHANGES IN CULINARY, VISCOAMYLOGRAPHIC AND SENSORY CHARACTERISTICS DURING RICE STORAGE AT DIFFERENT TEMPERATURES**

### **Alterações nas características culinárias, viscoamilográficas e sensoriais durante o armazenamento de arroz sob diferentes temperaturas**

#### **Abstract**

The culinary, viscoamylographic and sensory characteristics of irrigated rice were periodically evaluated during 180 days of storage at different temperatures (0.5, 20 and 35 °C) to determine the effect of temperature and storage period on its ageing process before rice milling. In longer periods and at higher storage temperatures a progressive increase was observed in the parameters evaluated by the cooking test (volume yield, cooking time and appearance of cooked grains) and in the cooked grains dimensions (proportional change, elongation ratio and actual elongation), and more prominent changes were observed in the viscoamylographic parameters evaluated by Rapid Viscoanalysis (pasting temperature, peak time, peak viscosity, breakdown, setback and final viscosity). The sensory analysis demonstrated greater tasters' acceptance in the texture parameter after 60 days and in the aroma, taste and mouthfeel parameters after 180 days of storage at 35 °C; meanwhile, the preference for rice with more characteristics of the ageing process was proven by the choice of 72.5 and 87.5% of the tasters after 60 and 180 days, respectively, of storage at 35 °C.

**Keywords:** Storage, ageing, elongation, viscosity, sensory analysis.

#### **Resumo**

Foram periodicamente avaliadas as características culinárias, viscoamilográficas e sensoriais durante 180 dias de armazenamento de arroz irrigado sob diferentes temperaturas (0,5; 20 e 35°C), visando determinar o efeito da temperatura e do período de armazenamento no processo de envelhecimento previamente ao beneficiamento dos grãos. Em maiores períodos e temperaturas de armazenamento observou-se progressivo incremento nos parâmetros avaliados pelo teste de cocção (rendimento volumétrico, tempo de cocção e aparência dos grãos cozidos), nas dimensões dos grãos cozidos (alteração proporcional, taxa de alongação e alongação efetiva) e alterações mais pronunciadas nos parâmetros viscoamilográficos avaliados por método rápido para análise de viscosidade (temperatura de

pasta, tempo de pico, viscosidade de pico, quebra, retrogradação e viscosidade final). A análise sensorial demonstrou maior aceitação dos provadores no parâmetro de textura após 60 dias e nos parâmetros de sabor, odor e textura após 180 dias de armazenamento a 35°C; enquanto que a preferência pelo arroz com maiores características do processo de envelhecimento foi comprovada pela escolha de 72,5 e 87,5% dos provadores, após 60 e 180 dias de armazenamento a 35°C, respectivamente.

**Palavras-chave:** Armazenamento, envelhecimento, alongação, viscosidade, análise sensorial.

## Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most produced and consumed cereals in the world. It is characterized as a staple food for more than half of the global population. Its importance is distinguished especially in developing countries, such as Brazil, where it plays a strategic role on social and economic levels (WALTER, 2009).

Rice is a representative cereal, and this is reflected in the demand of the consumers, whose preferences vary according to the consumption traditions of different places. Among the requirements of the Brazilian consumer market of rice, the culinary quality is prominent. This includes the presentation of long fine grains with good yield and their looseness after cooking (BASSINELLO et al., 2004; LUZ and TREPTOW, 1998).

The culinary quality criteria depend on genetic and agronomic factors, milling, preparation and, most importantly, storage because the rice ageing process starts immediately after harvest. The ageing process comprises intra- and intermolecular structural changes in the grains' constituents; these changes gradually modify the physical and chemical properties and make the product suitable for consumption (FONSECA and CASTRO, 2008; SILVA et al., 2006; LOPES et al., 2009; SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2002).

In general, rice storage for a few months is normal in large milling industries, but the ideal period of storage has not been established yet because all of the factors that interfere in the ageing process are not known; however, the period is normally related to the varietal characteristics, chemical composition and storage conditions.

Other than using methodologies that simulate rice cooking, the changes that occur during the ageing process can be evaluated by the grains' elongation and viscoamylographic analysis, which serve as indicators of the changes that occur during storage (FARUQ et al., 2003a; SOWBHAGYA and BHATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2003; ZHOU et al., 2007).

In this context, the culinary, viscoamylographic and sensory characteristics of rice stored under different temperatures (0.5, 20 and 35 °C) were periodically evaluated over 180 days to determine the effect of the storage time and temperature on the ageing process of paddy rice.

### **Materials and methods**

**Experimental materials and rice storage:** Dry paddy rice, BR-IRGA 410 variety, cultivated in the southern region of the state of Rio Grande do Sul (33°31' S and 53°22' W) by flooding irrigation system in the 2008/2009 harvest, was collected immediately after drying by an intermittent method. The sample was subdivided into fractions of approximately 1 kg, enclosed in cotton sacks, identified and stowed randomly in hermetic chambers with different controlled temperatures of 0.5, 20 and 35 °C at the Postharvest Research Center at the Federal University of Santa Maria. The samplings and analysis were carried out at 30, 60, 90, 120, 150 and 180 days after the beginning of the storage in three repetitions.

**Rice milling:** Samples were processed by a rice testing machine (MT, Suzuki). In each operation, approximately 100 g of paddy rice were dehulled, polished and graded, and the grains remaining in the trieur (whole grains) and in the feed breaker (broken grains) were weighed to calculate the yield percentage. After weighing, broken grain fractions were discarded and only whole grains were used for the sequence of analyses.

**Cooking method:** According to the methodology proposed by Bassinello et al. (2004) and sensory evaluation scores described by Martinez and Cuevas-Perez (1989), 40 g of rice were weighed in a graduated beaker, and 100 mL of distilled water and 2 mL of oil were added. The beakers, partially covered, were incubated in a hot water bath at 95 °C until no wastewater was found. In this manner, the parameters for weight yield (final weight of cooked rice/initial weight of raw rice), volume yield (volume occupied by cooked rice/volume occupied by raw rice), cooking time (total incubation time) and appearance of cooked grains (60 minutes after incubation) were assessed. A trained analyst assigned grades according to the following groupings: Very sticky = 1, sticky = 2, slightly sticky = 3, loose = 4 and very loose = 5.

**Measurement of proportionate change, elongation ratio and actual elongation:** Using a digital caliper (MIP/E-103, Mitutoyo), the length (L) and breadth (B) of ten rice grains were measured before and after cooking. From the mean of measurements, the parameters proposed by Sood and Siddiq (1980) were calculated:

$$\text{- Proportionate change} = [(L \text{ cooked}/B \text{ cooked}) - (L \text{ raw}/B \text{ raw})] / (L \text{ raw}/B \text{ raw})$$

- Elongation ratio =  $L_{\text{cooked}}/L_{\text{raw}}$
- Actual elongation =  $L_{\text{cooked}} - L_{\text{raw}}$ .

Rapid viscoanalysis (RVA): The whole grains obtained from rice milling were ground in a micro mill (MA-630, Marconi) and the ground fraction was sieved with a 300  $\mu\text{m}$  strainer. The viscoamylographic properties were determined through the Rapid Visco-Analyzer (RVA3D+, Newport Scientific) in accordance with the standard method 61-02 of the AACC (2000), thereby obtaining the pasting temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), peak viscosity (RVU), peak time (minutes), breakdown (RVU), setback (RVU) and final viscosity (RVU) parameters.

Sensory analysis: After 60 and 180 days of storage, the milled rice samples were cooked according to the conventional method proposed by Bassinello et al. (2004) with some modifications. In aluminum pans with a 1.6 L capacity, 200 g of polished rice with 3 g of salt was fried during 1 minute over medium heat in 10 mL of soybean oil. Then 480 mL of hot water was added. When the mixture was boiling, the pan was partially capped and the flame heat was adjusted to its minimum intensity until the end of cooking. When the fire was turned off, the pan was kept closed (capped) for 10 minutes until the samples were offered to the tasters. In the acceptance test, the panels were formed by 45 volunteer tasters of both sexes. Three cooked samples of rice (each corresponding to a storage temperature) were offered, one at a time and randomly, so that the attributes of color, aroma, taste and mouthfeel could be assessed based on a 9-point hedonic scale. The tasters who found differences between the samples (40) were asked to conduct the preference ranking test of the previously evaluated samples. Tests were approved by the Research Ethics Committee (CEP) of Federal University of Santa Maria according with the process number 23081.005435/2011-54.

Statistical analysis: Using the Statistical Package for Social Sciences (SPSS) 8.0 software for Windows, the data collected were subjected to analysis of variance (ANOVA) and compared by Tukey's test at the 1% level of significance for the interactions of the experimental variables (storage time and temperature). The mean values of the parameters with significant interactions between the variables were arranged graphically as a function of storage period with a trend line, an equation of the line or function and coefficient of determination ( $R^2$ ) exceeding 0.7. The results of the acceptance test were submitted to analysis of variance and compared by Tukey's test at the 5% level of significance to the scores attributed by the tasters, whereas the preference ranking test results with the percentage of the tasters' answers were arranged graphically and compared by the Friedman test through the Newell and McFarlane table (IAL, 2008).

## Results and discussion

In the milling of the samples, no significant changes were discovered in the yield of whole and broken grains during the experimental period. The variety of rice in this study demonstrated an average yield of 53.2 X 15.3, in whole grains X broken grains, which persisted during 180 days, regardless of the storage temperature.

According to the results presented in Figure 1, there was a progressive increase in the volume yield and the cooking time and an improvement in the cooked rice grains' appearance according to the cooking method. Meanwhile, the weight yield is not presented because it was not significantly influenced ( $P>0.01$ ) during the storage period.

Other studies that determined the weight yield during rice storage are divergent in relation to the changes in this parameter (SILVA et al., 2006; LOPES et al., 2009; LUZ and TREPTOW, 1998). However, it is known that rice stored for longer periods shows higher water absorption capacity, despite being more resistant to its absorption; for example, during the cooking of rice through conventional methods, the older rice presents a lower weight than the same variety of rice when new. This happens because more water evaporates before being absorbed by the grains; however, more water, which will be absorbed without compromising the integrity of the grains, may be added during the cooking process (BASSINELLO et al., 2004; SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2007).

Nevertheless, the volume yield was significantly influenced by the time and the storage temperature, being higher for the samples stored at 35 °C, followed by the ones at 20 °C and with a discreet increase for the ones kept at 0.5 °C. The volumetric increase in the rice stored at 35 °C was more noticeable in the first 60 days of storage, with a subsequent tendency towards the stabilization of this parameter (Figure 1).

The samples' cooking time increased progressively during the storage period, mainly in the higher storage temperatures. At the end of the storage period, it was observed that the samples stored at 0.5 °C demonstrated an increase of 3 minutes in the required time for the grains to absorb all of the cooking water, while at 20 °C it was approximately 5 minutes and at 35 °C it was more than 7 minutes (Figure 1).

Longer periods and higher temperatures during the storage also contributed to an improvement in the appearance of the cooked rice grains. The samples stored at 0.5 and 20 °C, even with increases in the scores given to the grains appearance, did not achieve the score that would classify them as "loose" during the evaluation period, while the samples stored at 35 °C already presented an appropriated appearance after 60 days of storage (Figure 1).

The changes in the parameters assessed by the cooking methods are related to the characteristics acquired by the rice grains in the ageing process. In the grains in which the structural changes were more prominent due to the longer periods and higher temperatures during the storage, a higher resistance to water absorption and consequently more time required for cooking were noted, whereas the higher volumetric expandability without disruption of the grains was reflected in the improved appearance and the integrity of the cooked grains (SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2002).

According to the results shown in Figure 2, the cooked rice grains' dimensions were significantly influenced ( $P < 0.01$ ) by the time and the temperature during storage. The proportional change and elongation ratio increased progressively, prominently in the storage at 35 °C and more discreetly at the temperature of 0.5 °C. The actual elongation, which corresponds to the length difference between raw and cooked rice grains, also presented a more noticeable increase during longer periods and higher temperatures of storage, with a subsequent apparent stabilization.

Related to the length increase in the course of the storage, the cooked rice grains were more intact, which reiterates the appearance findings described in the cooking method. Some studies that evaluated the dimensional changes in the rice grains have reported similar results to the ones obtained in this work and have attributed these findings to the varietal characteristics, chemical composition, temperature and the rice preparation method, but mostly to the period of storage, suggesting that the increase in cooked grains' length is a remarkable feature of the rice ageing process and results from intrinsic structural changes (SOOD and SIDDIQ, 1980; FARUQ et al., 2003a; FARUQ et al., 2003b).

The changes in the viscoamylographic properties represent sensitive indices in the ageing process because they are evident in the storage of rice. The results from the viscoamylographic analysis are described in Figure 3, demonstrating that all the parameters obtained in the RVA curves (pasting temperature, peak time, peak viscosity, breakdown, setback and final viscosity) were significantly influenced by the time and temperature of storage ( $P < 0.01$ ).

The pasting temperature, also called gelatinization temperature, had an irregular behavior, considering that the samples stored at 35 °C gelatinized at increasingly lower temperatures until 90 days of storage, followed by an increase until the end of the evaluated period. At 20 °C, the pasting temperature reduction was observed during the whole storage period, while the samples stored at 0.5 °C kept the pasting temperature until 150 days with a subsequent decrease in this parameter.

The time for the samples to achieve the viscosity peak presented a graphic behavior similar to the one described for the pasting temperature. It is possible to establish a relationship between these parameters because the lower the gelatinization temperature of the rice starch, the lower the necessary time to achieve the first viscosity peak of the samples.

The behavior of these parameters can be attributed to the presence, nature and orientation of lipids and proteins on the surface of starch granules, which, when they assume a more organized structure result in major changes in the gelatinization temperature. However, in the first months of storage, one observes a decrease in these parameters due to the rearrangement between the components of the grains (SHOWBHAGYA and BHATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2003).

The samples' viscosity peak increased during the experimental period, as observed by a more relevant increase in the storage at 35 °C with an apparent stabilization after half of the storage period. At 20 °C, the viscosity progressively increased during the whole period of storage, whereas at 0.5 °C, the viscosity increase also occurred progressively, although with a lower intensity.

The studies that evaluated RVA parameters during the storage of rice verified an increase in the peak viscosity followed by stabilization, especially after longer periods and higher temperatures of storage. Such findings, similar to the ones observed, were attributed to a higher resistance and a lower tendency to disrupt the starch granules (SOWBHAGYA and BHATTACHARYA, 2001; TULYATHAN and LEEHARATANALUK, 2007; ZHOU et al., 2002; ZHOU et al., 2003).

The breakdown parameter had an initial increase in the samples kept at 35 °C, with a subsequent reduction from 90 days until the end of the storage period. In the other storage temperatures, increases (greater at 20 °C than at 0.5 °C) were observed during the 180 days in which they were evaluated (Figure 3).

The breakdown is considered the primary parameter of the viscogram with a tendency to decrease in the ageing rice; however, the increase observed should not be interpreted as compromising the culinary characteristics because it is known that in the first months after harvest, rice presents an increase in the breakdown due to the rearrangement among the grains' constituents, followed by a decline and stabilization of this parameter in the sequence of the rice ageing process (SOWBHAGYA and BHATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2002; ZHOU et al., 2003). It is likely that if the storage period were extended, the samples stored at 0.5 and 20 °C would also present breakdown reduction in a similar way to the samples stored at 35 °C, in which the rice ageing process was favored.

The setback is considered the most traditional parameter in the viscoamylographic analysis with a tendency to increase in the stored rice (SOWBHAGYA and BHATTACHARYA, 2001). Thus, there was an expressive increase in the samples stored at 35 °C, while the samples stored in lower temperatures presented a setback increase in a lower intensity (Figure 3).

The final viscosity demonstrated a graphic behavior similar to the peak viscosity, albeit on a larger scale, with a viscosity increase more noticeable in the samples kept in higher temperatures and a tendency for stabilization after 90 days of storage under 35 °C (Figure 3).

Several studies report increases in the setback and final viscosity parameters mainly in the first months, followed by stabilization for up to 3 years and subsequent decrease during the storage of rice (TULYATHAN and LEEHARATANALUK, 2007; ZHOU et al., 2002; ZHOU et al., 2003).

However, the changes in the rice viscoamylographic behavior are not so evident when the rice starch is isolated, which when evaluated presents the same viscoamylographic behavior of the new rice starch. This suggests that the rice ageing effects correspond to the starch interaction with other components of the grains, such as lipids, proteins and cell wall constituents (MARTIN and FITZGERALD, 2002; ZHOU et al., 2003).

It is known that rice acceptance is related to the culinary characteristics of this cereal and the findings expressed in Table 1 demonstrate that the storage temperature did not significantly change the consumers' acceptance in relation to the color parameter after 60 and 180 days of storage. The aroma and taste parameter, however, had a greater consumers' acceptance by the sample kept at 35 °C after 180 days of storage, while the mouthfeel was more accepted after 60 and 180 days of storage at 35 °C, likely by the presence of more intact and loose grains after cooking (Figure 1).

In Figure 4 the preference ranking test results demonstrate the consumers' preference for rice with looser grains and that the storage at the temperature of 35 °C for 60 days was enough to enhance the culinary characteristic determinants of the greater preference in 72.50% of the answers, whereas in the storage at 35 °C for 180 days the greater preference prevailed in 87.50% of the tasters' answers. Such findings, when compared by the Friedman test, demonstrate that the greater preference for rice stored at 35 °C statistically differed from the others stored at 0.5 and 20 °C at a significance level of 1% (Table 2).

Several studies describing sensory analysis in rice by trained analysts (BASSINELLO et al., 2004; FONSECA and CASTRO, 2008; LIMA et al., 2006) or by panels formed by regular consumers of this cereal (SILVA et al., 2006; LOPES et al., 2009) are performed to



search quality parameters for the product, and the texture parameter is described for playing a predominant role in the rice consumers' acceptance. Varieties in development, milling changes, storage conditions, and different methods and cooking ingredients are among the main factors that result in distinct sensorial rice characteristics (BASSINELLO et al., 2004; SILVA et al., 2006; LOPES et al., 2009).

## Conclusion

The time and the temperature of storage significantly influenced the culinary and viscoamylographic characteristics, and in longer periods and higher temperatures of storage a greater volume yield, cooking time, grains' integrity, elongation and more noticeable changes in the viscoamylographic parameters were observed. Such findings prove the occurrence of the rice ageing process during storage and a greater intensity of ageing at 35 °C than in the other temperatures tested (0.5 and 20 °C). Additionally, the findings indicate that 60 days of storage at 35 °C was enough to improve the culinary qualities and promote higher levels of consumer acceptance and preference.

## References

AACC - American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**. 10th ed. Saint Paul: AACC, 2000.

BASSINELLO, P. Z.; ROCHA, M. S.; COBUCCI, R. M. A. **Avaliação de diferentes métodos de cocção de arroz de terras altas para teste sensorial**. Comunicado Técnico da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, n. 84., 8 p., dez. 2004.

FARUQ, G. et al. Optimization of aging time and temperature for four malaysian rice cultivars. **Pakistan Journal of Nutrition**, Faisalabad, v. 2, n. 3, p. 125-131, may-jun. 2003a.

\_\_\_\_\_. Kernel aging: An analysis in four Malaysian rice cultivars. **International Journal of Agriculture and Biology**, Faisalabad, v. 5, n. 3, p. 230-232, may 2003b.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. M. Maturação pós-colheita de cultivares de arroz de terras altas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 5, p. 389-392, set-out. 2008.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4th ed. São Paulo: IAL, 2008.

LIMA, C. H. A. M. et al. **Seleção e treinamento de uma equipe de provadores para avaliação sensorial de diferentes cultivares de arroz.** Comunicado Técnico da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, n. 23, 24 p., dez. 2006.

LOPES, M. C. B. et al. Efeito do armazenamento na qualidade industrial e cocção dos grãos de arroz das cultivares IRGA 417 e IRGA 422CL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Cachoeirinha: IRGA, 2009. v. 1, p. 112-115.

LUZ, M. L. G. S.; TREPTOW, R. O. Comportamento de variedades tailandesas de arroz. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 4, n. 3, p. 151-157, set-dez. 1998.

MARTIN, M.; FITZGERALD, M. A. Protein in rice grains influence cooking properties! **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 36, n. 3, p. 285-294, nov. 2002.

MARTÍNEZ, C.; CUEVAS-PEREZ, F. **Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz.** Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1989. 75 p.

SILVA, P. M.; BRESOLIN, R.; GULARTE, M. A. Efeito do armazenamento nas características de cocção e sensorial de arroz branco. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 15. e 13., 2006, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: UFPel, 2006. Disponível em: <[http://www.ufpel.edu.br/cic/2006/resumo\\_simples/CE/CE\\_00673.pdf](http://www.ufpel.edu.br/cic/2006/resumo_simples/CE/CE_00673.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2009.

SODHI, N. S. et al. Changes in physico-chemical, thermal, cooking and textural properties of rice during aging. **Journal of Food Processing and Preservation**, Malden, v. 27, n. 5, p. 387-400, dec. 2003.

SOOD, G. B.; SIDDIQ, A. E. Studies on component quality attributes of basmati rice, *Oryza sativa* L. Z. **Plant Breeding**, Berlin, v. 84, n. 4, p. 294-301, 1980.

SOWBHAGYA, C. M.; BHATTACHARYA, K. R. Changes in pasting behaviour of rice during ageing. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 115-124, sep. 2001.

TULYATHAN, V.; LEEHARATANALUK, B. Changes in quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105 during storage. **Journal of Food Biochemistry**, Malden, v. 31, n. 3, p. 415-425, jun. 2007.

ZHOU, Z. et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 65–78, jan. 2002.

\_\_\_\_\_. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. **Food Research International**, Oxford, v. 36, n. 6, p. 625–634, jan. 2003.

\_\_\_\_\_. Effect of storage temperature on cooking behaviour of rice. **Food Chemistry**, Oxford, v. 105, n. 2, p. 491–497, jan. 2007.

WALTER, M. **Composição química e propriedades antioxidantes de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto**. 2009. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

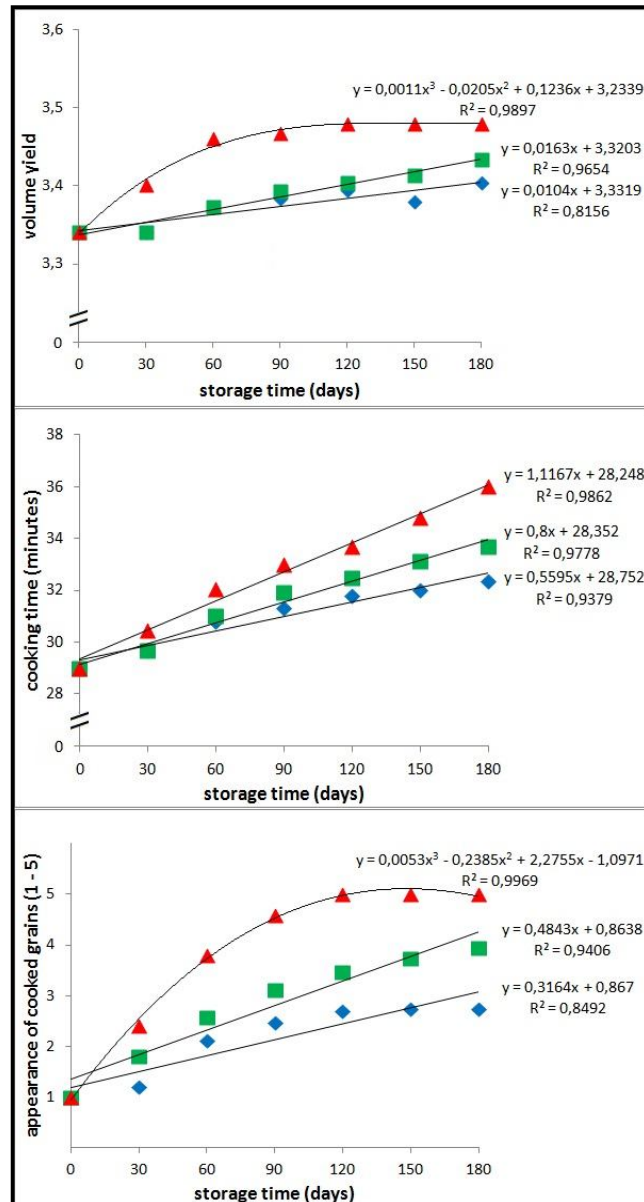


Figure 1 – Volume yield, cooking time and appearance of cooked grains of rice stored under different temperatures (♦ 0.5 °C, ■ 20 °C and ▲ 35 °C).

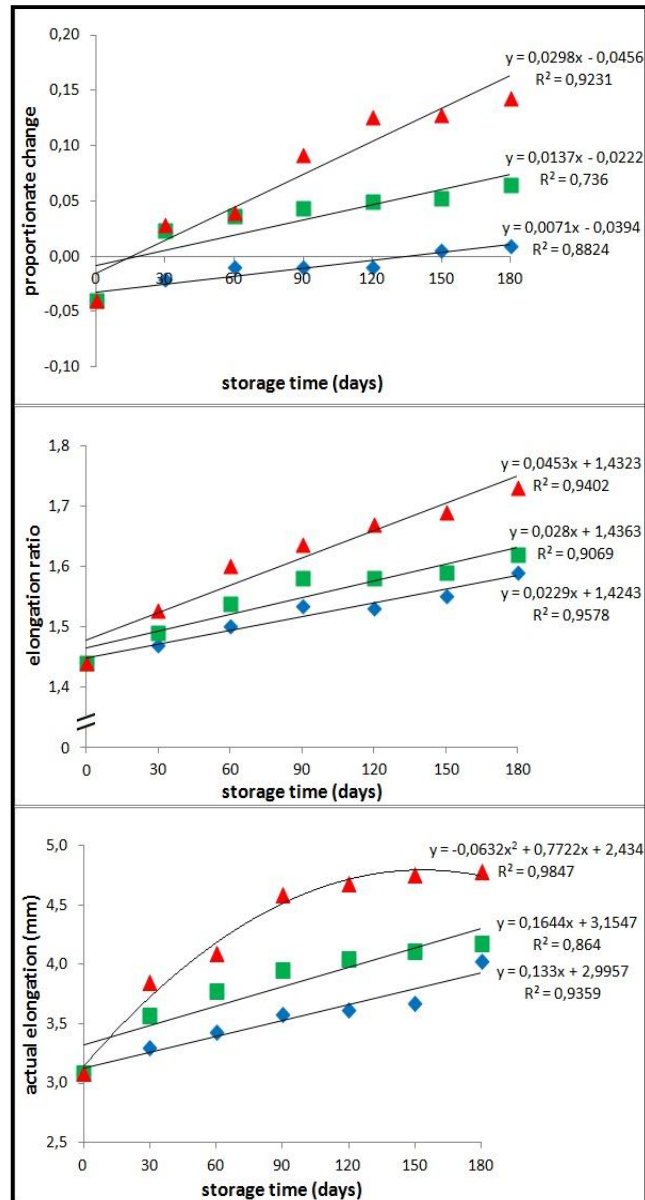


Figure 2 – Proportionate change, elongation ratio and actual elongation of rice stored under different temperatures (◆ 0.5 °C, ■ 20 °C and ▲ 35 °C).

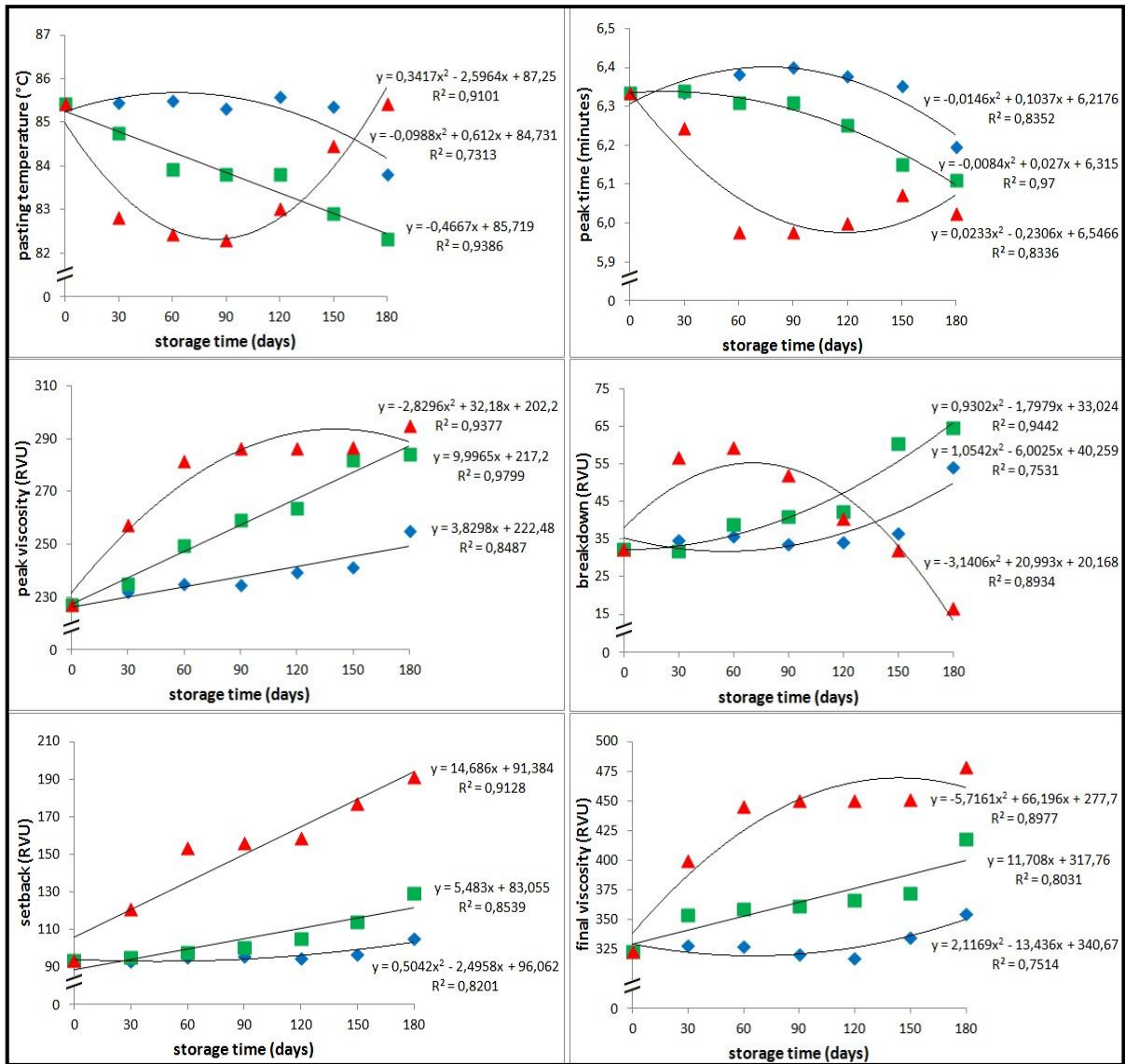


Figure 3 – RVA parameters of rice stored under different temperatures (◆ 0.5 °C, ■ 20 °C and ▲ 35 °C).

Table 1 – Acceptance test of rice stored under different temperatures

Storage temperature	Color	Aroma	Taste	Mouthfeel
Rice stored for 60 days				
0.5 °C	8.02 ± 0.94 <sup>ns</sup>	7.53 ± 1.08 <sup>ns</sup>	7.56 ± 1.29 <sup>ns</sup>	6.67 ± 1.68 <sup>b</sup>
20 °C	7.67 ± 1.26 <sup>ns</sup>	7.18 ± 1.25 <sup>ns</sup>	7.04 ± 1.55 <sup>ns</sup>	6.82 ± 1.58 <sup>b</sup>
35 °C	7.78 ± 1.44 <sup>ns</sup>	7.47 ± 1.20 <sup>ns</sup>	7.60 ± 1.21 <sup>ns</sup>	8.13 ± 0.87 <sup>a</sup>
Rice stored for 180 days				
0.5 °C	7.78 ± 0.74 <sup>ns</sup>	7.31 ± 0.85 <sup>b</sup>	7.44 ± 0.81 <sup>ab</sup>	6.89 ± 0.86 <sup>b</sup>
20 °C	7.44 ± 0.92 <sup>ns</sup>	7.47 ± 0.76 <sup>b</sup>	7.42 ± 0.97 <sup>b</sup>	7.27 ± 0.86 <sup>b</sup>
35 °C	7.44 ± 0.87 <sup>ns</sup>	7.89 ± 0.86 <sup>a</sup>	7.87 ± 0.84 <sup>a</sup>	8.38 ± 0.65 <sup>a</sup>

Values are expressed as the mean ± standard deviation; mean values within a column and within the same storage time with different superscripts are significantly different at the 5% level by Tukey's test.

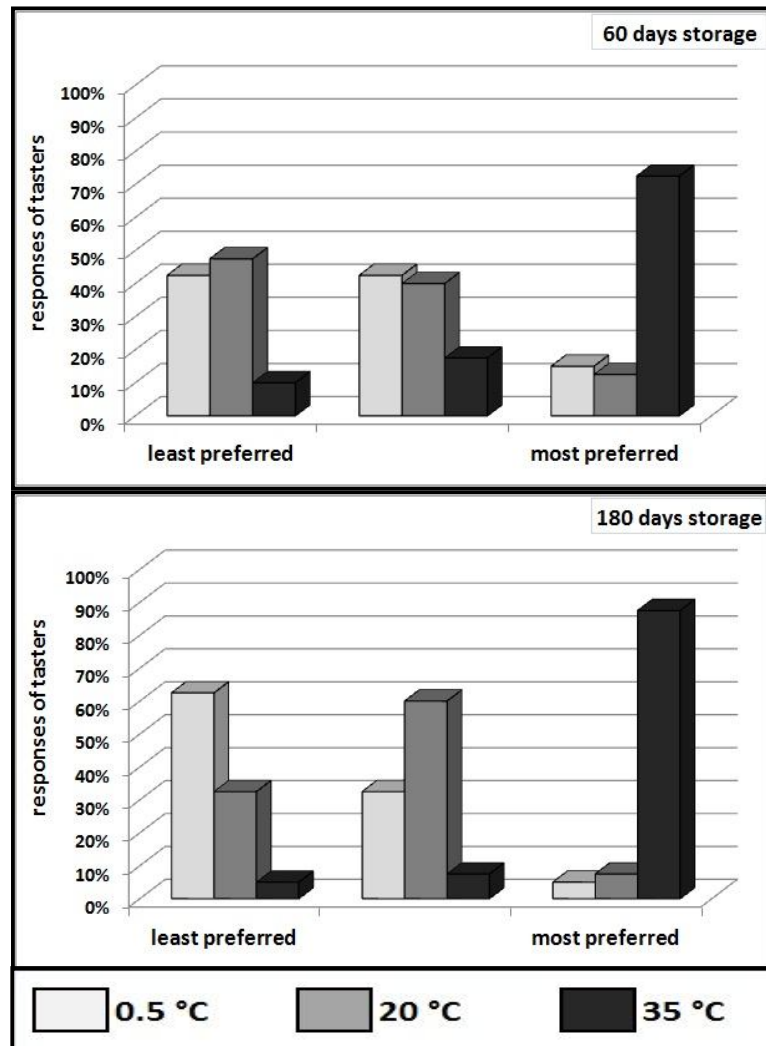


Figure 4 – Preference ordering test of rice stored under different temperatures for 60 and 180 days.



Table 2 – Summation points of rice stored under different temperatures in the preference ordering test

Storage temperature	60 days	180 days
0.5 °C	69 <sup>b</sup>	57 <sup>b</sup>
20 °C	66 <sup>b</sup>	70 <sup>b</sup>
35 °C	105 <sup>a</sup>	113 <sup>a</sup>

Values within a column with different superscripts are significantly different at the 1% level by the Friedman test.

# **ARTIGO 3 – COOKING AND TEXTURE PARAMETERS FOR PADDY RICE STORAGE UNDER DIFFERENT TEMPERATURES AND ATMOSPHERIC CONDITIONS**

## **Parâmetros de cocção e textura no arroz armazenado em casca sob diferentes temperaturas e condições atmosféricas**

### **Abstract**

Cooking and texture parameters of three varieties of rice (BR-IRGA 410, IRGA 416 and IRGA 417), stored in husk under different temperatures (20 and 35 °C) and controlled atmospheres (control, 60% O<sub>2</sub> and 20% CO<sub>2</sub>) for 180 days, were assessed regularly. The cooking water absorption and pH parameters decreased during storage, especially at 35 °C and atmosphere with 60% O<sub>2</sub>, while other parameters were not affected significantly (P>0.01) by the tested atmospheres. However, variety, temperature, and storage time affected significantly the solid loss on cooking water, volume, cooking time, appearance of cooked grains and parameters assessed by a texturometer, like hardness, adhesiveness, springiness and cohesiveness. Such changes were different between varieties and suggested the occurrence of a rice ageing process, especially in higher temperatures and longer storage periods.

**Keywords:** Ageing, controlled atmosphere, pH, solid loss, adhesiveness.

### **Resumo**

Foram periodicamente avaliados os parâmetros de cocção e textura de três variedades de arroz irrigado (BR-IRGA 410, IRGA 416 e IRGA 417), armazenadas em casca sob diferentes temperaturas (20 e 35°C) e atmosferas controladas (testemunha, 60% de O<sub>2</sub> e 20% de CO<sub>2</sub>) durante 180 dias. Os parâmetros de absorção e pH da água de cocção diminuíram no decorrer do armazenamento, de maneira mais expressiva a 35°C e atmosfera com 60% de O<sub>2</sub>, enquanto que os demais parâmetros não foram influenciados significativamente (P>0,01) pelas atmosferas testadas, apenas pela variedade, temperatura e tempo de armazenamento com redução de resíduos na água de cocção, maior rendimento volumétrico, maior tempo para cocção e melhor aparência dos grãos cozidos, além de variações nos parâmetros avaliados em texturômetro, como firmeza, adesividade, elasticidade e coesividade. Tais alterações foram

distintas entre as variedades e sugerem a ocorrência do processo de envelhecimento do arroz, principalmente em maiores períodos e temperaturas de armazenamento.

**Palavras-chave:** Envelhecimento, atmosfera controlada, pH, resíduos, adesividade.

## Introduction

Common rice (*Oryza sativa* L.) is on the table of 2/3 of the world population, being the main food for about 3 billion people, occupying 11% of arable land on the planet and accounting for 20% of the source of energy worldwide (wheat and corn correspond to 19 and 5%, respectively). Therefore, rice cultivation is one of the most important in the world, since it represents a large share of the current energy sources and it is, also, a source of income for a significant portion of the world's population (CUEVAS and FITZGERALD, 2008; HOSSAIN and NARCISO, 2004).

In Brazil, consumers have a preference for polished white rice, especially the long-grain, thin, translucent and light colored type, which yield more and cook faster, presenting no sharp flavor or strong odor, resulting in fluffy dry rice after cooking and loose with the possibility of being reheated without losing its original softness. From those conditions, consumer acceptance is determined mainly by grain appearance after cooking (BASSINELLO et al., 2004; ELIAS, 2007).

The appearance of the cooked rice is related to the intrinsic characteristics of grains and the process that begins soon after their harvest, called rice ageing. In this process, intra and intermolecular structural changes cause behavioral variation in the period in which rice is stored, by changing its physico-chemical properties, that may be found from the analysis of viscosity, color, enzyme activity, but, mostly, grain cooking and texture (SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2002; ZHOU et al., 2007).

The uncanny influence that culinary quality has on product acceptance by consumers is also reflected in rice market value (BASSINELLO et al., 2004; FONSECA et al., 2005). Thus, meeting the culinary quality demanded by consumers is considered a challenge for rice industries, which aim at adding quality, i.e., ageing rice, without compromising the organoleptic characteristics of color, odor and flavor (FONSECA and CASTRO, 2008; GUJRAL and KUMAR, 2003; LOPES et al., 2009).

The rice storage period that enables the product to present culinary quality depends on the characteristics of each variety, storage system and its adequate control until the product meet the quality standards imposed by the market. This control has to maintain the quality of

the grain until the time of processing, which usually takes several months and occupies great part of storage capacity (ELIAS, 2007; JULIANO, 1998; PENTEADO, 1990).

Some alternatives, especially the use of controlled atmospheres, are still restricted from use in grain storage in Latin America, due to the inadequate storage systems available and the few studies reporting the advantages of implementing the system for grain storage, especially when it comes to large productions (PENTEADO, 1990; YANAI et al., 1979).

Thus, cooking and texture parameters of three varieties of rice typical from the southern Brazil, stored in husk under different temperatures and controlled atmospheres during 180 days, were assessed regularly.

## **Materials and methods**

**Experimental materials and rice storage:** Three varieties of paddy rice, IRGA 416, BR-IRGA 410 and IRGA 417, grown by a flooding irrigation system in the 2009/2010 harvest at the Rice Experiment Station (EEA) of the Rice Institute of Rio Grande do Sul (IRGA) (29°57' S and 51°06' W), were collected immediately after drying, conducted by the intermittent method. The samples were divided into fractions of approximately 1 kg, closed in cotton sacks, labeled and placed into airtight chambers under controlled temperature (20 or 35 °C) and atmosphere (control, 60% O<sub>2</sub> or 20% CO<sub>2</sub>) at the Postharvest Research Laboratory of the Federal University of Santa Maria. Sampling and analysis were performed at 30, 60, 90, 120, 150 and 180 days after storage in three repetitions.

**Rice milling:** Samples were processed by a rice testing machine (MT, Suzuki). In each operation, approximately 100 g of paddy rice were dehulled, polished and graded, and the grains remaining in the trieur (whole grains) and in the feed breaker (broken grains) were weighed to calculate yield percentage. After weighing, broken grains fractions were discarded and only whole grains were used for the sequence of analyses.

**Rice cooking properties:** According to the methodology proposed by Zhou et al. (2007), 2 g of rice were transferred to a test tube with a lid, where 20 mL of distilled water were added, and, then, the tube was incubated in hot water bath at 95 °C for 30 minutes. After incubation and cooling on ice for 10 minutes, wastewater (unabsorbed) was quantified and 1 mL of it was transferred to previously weighed porcelain crucible, dried at 105 °C until constant weight to reweighing. Subsequently, pH of wastewater was measured and, after a 16 hour-rest, the turbidity was read in a spectrophotometer at 600 nm, where distilled water was used as the reagent blank. Thus, the parameters of water absorption (mL g<sup>-1</sup>), solid content (mg mL<sup>-1</sup>), pH and turbidity were measured in wastewater.

Cooking method: According to the methodology proposed by Bassinello et al. (2004) and sensory evaluation scores described by Martinez and Cuevas-Perez (1989), 40 g of rice were weighed in a graduated beaker, and 100 mL of distilled water and 2 mL of oil were added. The beakers, partially covered, were incubated in a hot water bath at 95 °C until no wastewater was found. In this manner, the parameters for weight yield (final weight of cooked rice/initial weight of raw rice), volume yield (volume occupied by cooked rice/volume occupied by raw rice), cooking time (total incubation time) and appearance of cooked grains (60 minutes after incubation) were assessed. A trained analyst assigned grades according to the following groupings: Very sticky = 1, sticky = 2, slightly sticky = 3, loose = 4 and very loose = 5.

Textural profile of cooked rice grains: The already cooked rice was placed in a glass container (8 cm in diameter and 6 cm high), occupying half of it (reaching about 3 cm high). The texture profile of samples was evaluated in a texturometer (TA.XTplus, Stable Micro Systems Ltd.), programmed for two compression cycles, using an attached P/36R probe (36 mm in diameter) to strain 50% of the sample, at a speed test of 1 mm s<sup>-1</sup> and trigger force of 5 g. The parameters obtained from the compression curves were hardness (N), adhesiveness (g . s), springiness and cohesiveness.

Statistical analysis: Using the Statistical Package for Social Sciences (SPSS) 8.0 software for Windows, the data collected were subjected to analysis of variance (ANOVA), compared by Tukey's test at the 1% level of significance for the interactions of the experimental variables (variety, temperature, atmosphere and storage time) and correlated by Pearson's correlation coefficient (r). The mean values of the parameters with significant interactions (P<0.01) between the variables were arranged graphically as a function of storage period with a trend line, an equation of the line or function and coefficient of determination (R<sup>2</sup>) exceeding 0.8.

## **Results and discussion**

The IRGA 416, BR-IRGA 410 and IRGA-417 varieties of rice were selected for the experiment due to their low (up to 19%), intermediate (between 20 and 24%) and high (more than 25%) amylose content, respectively (COFFMAN and JULIANO, 1987; STORCK, 2004). In processing the samples, there were no significant changes in the yield of whole and broken grains during the experiment period, with means of 44.0 X 24.5, 59.0 X 10.0 and 48.5 X 21.0 in whole x broken grains for the BR-IRGA 410, IRGA 416 and IRGA 417 varieties, respectively. The differences between varieties were maintained for 180 days, regardless of

storage temperature and atmosphere. Changes in the technological characteristics of the rice stored are controversial, while some studies have reported changes in yield results (LOPES et al., 2009; ROCHA, 2010), others associate the variations in such parameters only to manufacturing processes and chemical composition of grains (LEITE and VILLELA, 2010; MARSHALL and WADSWORTH, 1994).

The graphs in Figure 1 show a reduction in water absorption of samples, due to the influence of different varieties, temperatures, atmospheres and storage time. Depending on storage time, the graphical behavior of the water absorption curves for different varieties of rice is similar, with the IRGA 417 variety showing lower water absorption from the beginning of the storage time, followed by the IRGA 416 and the BR-IRGA 410 varieties. For storage at 35 °C, the reduction in water absorption was greater than at 20 °C, especially at 90 days, when samples presented a stabilization tendency in this parameter. The influence of atmospheric conditions on water absorption, although statistically significant ( $P < 0.01$ ), shows a very subtle difference in graphical representations, but it is possible to observe that, in general, samples stored under controlled atmosphere at 60% O<sub>2</sub> present lower water absorption levels, while at 20% CO<sub>2</sub> water absorption was higher.

Reduction in water absorption should not be understood as a reduction of the water absorption capacity of rice, but as an increasing resistance to it, as changes resulting from the ageing process promote the increase in interactions and insolubility of the grain elements, making water absorption more difficult (GUJRAL and KUMAR, 2003; SODHI et al., 2003).

As results shown in Figure 2, the pH of the cooking water was also influenced significantly ( $P < 0.01$ ) by the four variables tested in the experiment. The IRGA 416 and the 417 varieties showed lower values than the one found in the BR-IRGA 410 variety at the beginning and during the storage period, but all samples had a progressive reduction in the pH of the cooking water, more intensely in samples stored at a 35 °C temperature and controlled atmospheres at 60% O<sub>2</sub>, than the control and 20% CO<sub>2</sub>, which maintained the higher pH values, which suggests a preventive effect to grains oxidation reactions.

Some studies that assessed the pH of rice cooking water, associated the reduction in this parameter with increased acidity in grains, resulting from triglycerides hydrolysis and increase in fatty acid and phosphates, reaction which is favored at higher temperatures and in longer storage periods (REHMAN, 2006; SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2007).

As shown in Figure 3 graphs, solid content and turbidity in the cooking water were influenced by the variety, temperature and storage time of rice. These two parameters are correlated, since water turbidity comes from the transfer of solids from grains to the cooking

water, and the results attest this correlation ( $r = 0.945$ ), which is highly significant ( $P < 0.01$ ), as shown by correlations presented in Table 1.

The grains of the BR-IRGA 410 variety showed greater loss of solids and turbidity in the cooking water at the beginning of the storage period, followed by the IRGA 417 and the IRGA 416 varieties, but during the storage period, the IRGA 417 variety started presenting lower values in these parameters. For all samples, storage at 35 °C promoted a greater reduction in solid content and turbidity in the cooking water than at 20 °C (Figure 3).

The changes in the solid loss and turbidity parameters are also explained by structural changes in grains, resulting from the ageing process, where fatty acids from the hydrolysis of lipids are complexed with starch (mainly amylose), interactions between proteins chains reduce solubility and the activity of the  $\alpha$ -amylase enzyme is reduced. These changes go beyond hindering water absorption, also producing the retention of compounds which were previously leached from grains to the cooking water and could damage the culinary qualities of rice, since they gelatinize and contribute to grain stickiness (CUEVAS and FITZGERALD, 2008; ZHOU et al., 2002; ZHOU et al., 2007).

The variables tested during the storage period did not alter the weight yield of cooked rice during the 180-day period. In conventional cooking methods, rice with improved culinary characteristics typically presents lower gravimetric yield than stickier rice when prepared under the same conditions (temperature, amount of rice, water and spices), due to higher resistance to water absorption and loss of water by the evaporation process before absorption, while methods that simulate cooking cause higher water absorption, mainly due to the use of low temperatures, if compared to flames or electric cookers temperatures, during the cooking process (BASSINELLO et al., 2004; SCHIAVON et al., 2011).

Figure 4 shows the parameters of volume yield, cooking time and appearance of rice samples periodically subjected to cooking tests. Such parameters were influenced by the variety of rice, temperature and storage time, not being significantly influenced ( $P > 0.01$ ) by the tested atmospheric conditions.

The increase in rice volume during the storage period was more evident after storage at 35 °C and more intense for the IRGA 417 variety, followed by IRGA 416 and BR-IRGA 410.

The cooking time for samples increased progressively during the storage period, especially for samples stored at 35 °C. Since the beginning of the storage period, the varieties of rice differed in the necessary cooking time, and BR-IRGA 410 variety was the quickest to cook, presenting a slight increase (about 4 minutes at 35 °C and 3 minutes at 20 °C) and little

difference in regards to the storage temperatures tested. Whereas the IRGA 416 variety that already required more time for cooking at the beginning of the storage period, showed even more discrete increases (about 4 minutes at 35 °C and 2 minutes at 20 °C), but showed distinct curves between the tested temperatures. While the IRGA 417 variety showed a very pronounced increase in cooking time when maintained at 35 °C (12 minutes) and a less pronounced increase at 20 °C (about 3 minutes) during the storage period.

The connection between the parameters obtained from the cooking properties and method can be found between the parameters of cooking time and water absorption, with highly significant correlation ( $P < 0.01$ ), which is described in Table 1 ( $r = -0.822$ ), indicating that, as the grain water absorption is hindered, cooking time increases. Cooking time was the only parameter that showed highly significant correlation ( $P < 0.01$ ) with all other parameters assessed in this study (Table 1).

It was possible to observe that there was an improvement in the appearance of the cooked rice samples stored at a higher temperature (35 °C) and for longer storage periods. The different varieties of rice also presented themselves distinctly, considering that all samples were graded as 1, i.e., "very sticky" grains prior to storage, and in order to achieve acceptable culinary quality they must reach grade 4, corresponding to the "loose" grains. The BR- IRGA 410 variety, stored at 20 °C, only gained 1 point in the sensory score after 180 days of storage, whereas at 35 °C its appearance improved gradually, but only reached proper quality after 120 days of storage, whereas the IRGA 416 variety did not reach proper culinary quality food storage at 20 °C either, gaining only 2 points in the sensory score, but at 35°C, it reached the necessary high culinary quality after 60 days, while the IRGA 417 variety presented satisfactory culinary quality after 180 days of storage at 20 °C and after 60 days at a 35 °C temperature (Figure 4).

The overall results obtained in the cooking method suggest a greater water absorption capacity by grains with larger structural changes, especially in the IRGA 417 variety, with higher amylose content, which favors structural changes in rice ageing by complexing itself with fatty acids (LOPES et al., 2009; ZHOU et al., 2002). However, the culinary quality of rice is not only related to the amylose content of grains, also depending on agronomic factors, industrialization processes, preparation method and other grain elements such as proteins (BASSINELLO et al., 2004; MARSHALL and WADSWORTH, 1994; MARTIN and FITZGERALD, 2002), considering that the storage time required to reach the necessary quality, as reported in several studies, may vary (CUTRIM et al., 2006; LOPES et al., 2009).



Texture is the main factor for consumer acceptance and can be defined as a multidimensional trait that only humans can perceive, define and measure (ZHOU et al., 2002). The texture parameters described in Figures 5 and 6 were influenced by varieties, temperatures and storage periods of rice, without the influence of the controlled atmosphere.

The hardness parameter presented a steady decrease pattern during the storage period, which was different for each variety of rice, and more intense at 35 °C than at 20 °C. The BR-IRGA 410 and the IRGA 417 varieties were harder than IRGA 416 variety at the beginning of the storage period, while the reduction was more significant for the BR-IRGA 410 variety at 35 °C, at the same time that with storage at 20 °C, the changes in the BR-IRGA 410 and the IRGA 417 hardness were very similar (Figure 5).

Most studies that have analyzed the texture of rice, describe an increase in hardness during the period of rice storage. The discrepancy between the results described in this paper stem from the way that samples are arranged for contact with the texturometer probe, being granted that only when one or a few grains are analyzed, hardness is increased because of greater integrity (GUJRAL and KUMAR, 2003; MEULLENET et al., 1999; ZHOU et al., 2007). But when a number of grains is subjected to contact with the probe, the shear force between the grains determines the hardness of samples during the storage period, since that, at the beginning of this period, there is greater disruption of grains during cooking, and the compression forms a cohesive and hard mass, whereas in ageing, such grains are fluffier, sliding over each other when there is contact between the probe and the sample, thus suggesting less hardness levels (SCHIAVON et al., 2011).

The adhesiveness of samples decreased during storage, more expressively in storage at 35 °C, indicating lower stickiness of cooked rice grains stored for longer periods and at higher temperatures. Adhesiveness came to be quite distinct among the varieties of rice evaluated; the BR-IRGA 410 variety, which initially showed the lowest adhesiveness levels, presenting a smaller reduction in this parameter, while the IRGA 416 variety, with high adhesiveness levels, showed very significant reduction in storage at 35 °C, during the maximum time of up to half the storage period, followed by an apparent stabilization and a linear decrease, but still quite expressive at 20 °C. The IRGA 417 variety presented intermediate levels of reduction when compared to the others, from initial adhesiveness, with a more significant reduction at 35 °C than at 20 °C, especially until the middle of the storage period, when stabilization was observed in this parameter (Figure 5). The greatest difference in adhesiveness between the varieties of rice affected the correlations of this parameter (Table 1), providing only five highly significant ( $P < 0.01$ ), two significant ( $P < 0.05$ ) and four non-significant ( $P > 0.05$ )

correlations with other parameters, thus becoming the parameter with the lowest correlation level, which was assessed by the gravimetric yield results evaluated in the cooking test that varied even during the storage period.

Reductions during the storage period have been widely reported for the adhesiveness parameter for cooked rice, becoming more evident at higher temperatures and with types of rice presenting higher amylose levels (GUJRAL and KUMAR, 2003; MEULLENET et al., 1999; SODHI et al., 2003; TSUGITA et al., 1983; ZHOU et al., 2007).

For the springiness parameter, a different behavior between the varieties of rice was observed. The BR-IRGA 410 and the IRGA 417 varieties had an increase in springiness during storage, always higher at 35 °C than at 20 °C, but, even still, presented similar values. The IRGA 416 variety, on the other hand, showed a decrease in elasticity at 20 °C, which also happened at 35 °C up to the 120<sup>th</sup> day of storage, with an increase in the sequence of the storage period (Figure 6).

Increase in the springiness of cooked rice grains is associated with better culinary features and represents greater capacity for the grains to return to their original form after going through some type of mechanical force that does not damage them (GUJRAL and KUMAR, 2003). In the texturometer methodology, springiness is determined by the meeting time between the probe and the sample during the first cycle and the time of the second compression cycle ratio. In that manner, the high adhesion of the IRGA 416 variety interfered with the springiness parameter, by causing the displacement of samples to a higher position than the proper height it should remain at the end of the first compression cycle, bringing them closer to their encounter with the probe at the time of the second compression. Still, there was a highly significant correlation ( $P < 0.01$ ) between springiness and appearance of cooked grains ( $r = 0.194$ ), described in Table 1.

Cohesiveness was also increased during storage and became more pronounced in samples stored at 35 °C. The values reported for this parameter were similar among the evaluated types of rice. Only the IRGA 416 variety presented differential curves, if compared to the BR-IRGA 410 and the IRGA 417 varieties (Figure 6). This parameter has also been reported to show increase during the storage of rice, especially in conditions that favor the ageing of this cereal (GUJRAL and KUMAR, 2003; ZHOU et al., 2007).

## **Conclusion**

The storage of irrigated rice varieties, typical of southern Brazil, showed changes in the cooking and texture parameters, which were consistent with the rice ageing process, that

was more pronounced at higher temperatures and longer storage periods, while the atmospheric conditions influenced only the parameters of water absorption and pH of the rice grains, in which the presence of O<sub>2</sub> accelerated, while the presence of CO<sub>2</sub> delayed, the changes related to the ageing process of this cereal.

### Acknowledgments

To Rice Institute of Rio Grande do Sul (IRGA) for providing samples and the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (Capes) for the financial support offered (Bidding Data Sheet 13/2008 Institutional Pro-Equipment).

### References

BASSINELLO, P. Z.; ROCHA, M. S.; COBUCCI, R. M. A. **Avaliação de diferentes métodos de cocção de arroz de terras altas para teste sensorial**. Comunicado Técnico da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, n. 84., 8 p., dez. 2004.

COFFMAN, W. R.; JULIANO, B. O. Rice. In: OLSON, R. A.; FREY, K. J. (Ed.). **Nutritional quality of cereal grains: Genetic and agronomic improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1987. p. 101-131.

CUEVAS, R. P.; FITZGERALD, M. Linking starch structure to rice cooking quality. **Irrigation Research and Extension Committee Farmer's Newsletter**, n. 177, p. 16–17, summer 2007-2008. Available from: <[http://www.irec.org.au/farmer\\_f/pdf\\_177/Linking%20starch%20structure%20to%20rice%20cooking%20quality.pdf](http://www.irec.org.au/farmer_f/pdf_177/Linking%20starch%20structure%20to%20rice%20cooking%20quality.pdf)>. Accessed on: 18 aug. 2009.

CUTRIM, V. A. et al. Cultivares e linhagens de arroz irrigado promissoras para o estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 2., 2006, Brasília. **Resumos...** Brasília: EMBRAPA, 2006. Available from: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/197780/1/CBCTRAB961.pdf>>. Accessed on: 10 jan. 2011.

ELIAS, M. C. **Pós-colheita de arroz: Secagem, armazenamento e qualidade**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2007. 437 p.

HUSSAIN, M.; NARCISO, J. Global rice economy: Long-term perspectives. In: FAO RICE CONFERENCE – RICE IN GLOBAL MARKETS AND SUSTAINABLE PRODUCTION SYSTEMS, 1., 2004. Rome. **Proceedings...** Rome: FAO, 2004. p. 1-9.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. M. Maturação pós-colheita de cultivares de arroz de terras altas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 5, p. 389-392, set-out. 2008.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. M.; MORAIS, O. P. Tempo de prateleira de cultivares de arroz de terras altas. **Comunicado Técnico da Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás, n. 98, 4 p., out. 2005.

GUJRAL, H. S.; KUMAR, V. Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milled rice. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 59, n. 2-3, p. 117-121, sep. 2003.

JULIANO, B. O. Varietal impact on rice quality. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 43, n. 4, p. 207-222, jul-aug. 1998.

LEITE, C. W.; VILLELA, F. A. Velocidade de secagem de arroz em secador intermitente rápido com emprego de dois fluxos de ar. **Informativo da Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes**, v. 20, n. 1 e 2, p. 10-14, 2010.

LOPES, M. C. B. et al. Efeito do armazenamento na qualidade industrial e cocção dos grãos de arroz das cultivares IRGA 417 e IRGA 422CL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Cachoeirinha: IRGA, 2009. v. 1, p. 112-115.

MARSHALL, W. E.; WADSWORTH, J. I. **Rice Science and Technology**. New Orleans: Marcel Dekker, 1994. 470 p.

MARTIN, M.; FITZGERALD, M. A. Protein in rice grains influence cooking properties! **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 36, n. 3, p. 285-294, nov. 2002.

MARTÍNEZ, C.; CUEVAS-PEREZ, F. **Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1989. 75 p.

MEULLENET, J-F. C. et al. Effects of rough rice drying and storage conditions on sensory profiles of cooked rice. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 76, n. 4, p. 483-486, jul-aug. 1999.

PENTEADO, M. F. **Qualidade de arroz (*Oryza sativa* L.), armazenado em atmosfera modificada, em silo subterrâneo**. 1990. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

REHMAN, Z. U. Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals. **Food Chemistry**, Oxford, v. 95, n. 1, p. 53-57, mar. 2006.

ROCHA, J. C. **Parâmetros industriais e tecnológicos do arroz na seca-eração e no armazenamento**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

SCHIAVON, R. A. et al. Efeito da secagem, do armazenamento e da parboilização sobre os parâmetros de cocção e textura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 7., 2011, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2011. v. 2, p. 839-842.

SODHI, N. S. et al. Changes in physico-chemical, thermal, cooking and textural properties of rice during aging. **Journal of Food Processing and Preservation**, Malden, v. 27, n. 5, p. 387–400, dec. 2003.

SOWBHAGYA, C. M.; BHATTACHARYA, K. R. Changes in pasting behaviour of rice during ageing. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 115–124, sep. 2001.

STORCK, C. R. **Variação na composição química de grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos**. 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

TSUGITA, T.; OHTA, T.; KATO, H. Cooking flavour and texture of rice stored under different conditions. **Agricultural and Biological Chemistry**, Tokyo, v. 47, n. 3, p. 543–549, mar. 1983.

ZHOU, Z. et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 65–78, jan. 2002.

\_\_\_\_\_. Effect of storage temperature on cooking behaviour of rice. **Food Chemistry**, Oxford, v. 105, n. 2, p. 491–497, jan. 2007.

YANAI, S.; ISHITANI, T.; KOJO, T. Influence of gaseous environment on the hermetic storage of milled rice. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**, Tokyo, v. 26, p. 145-150, 1979.

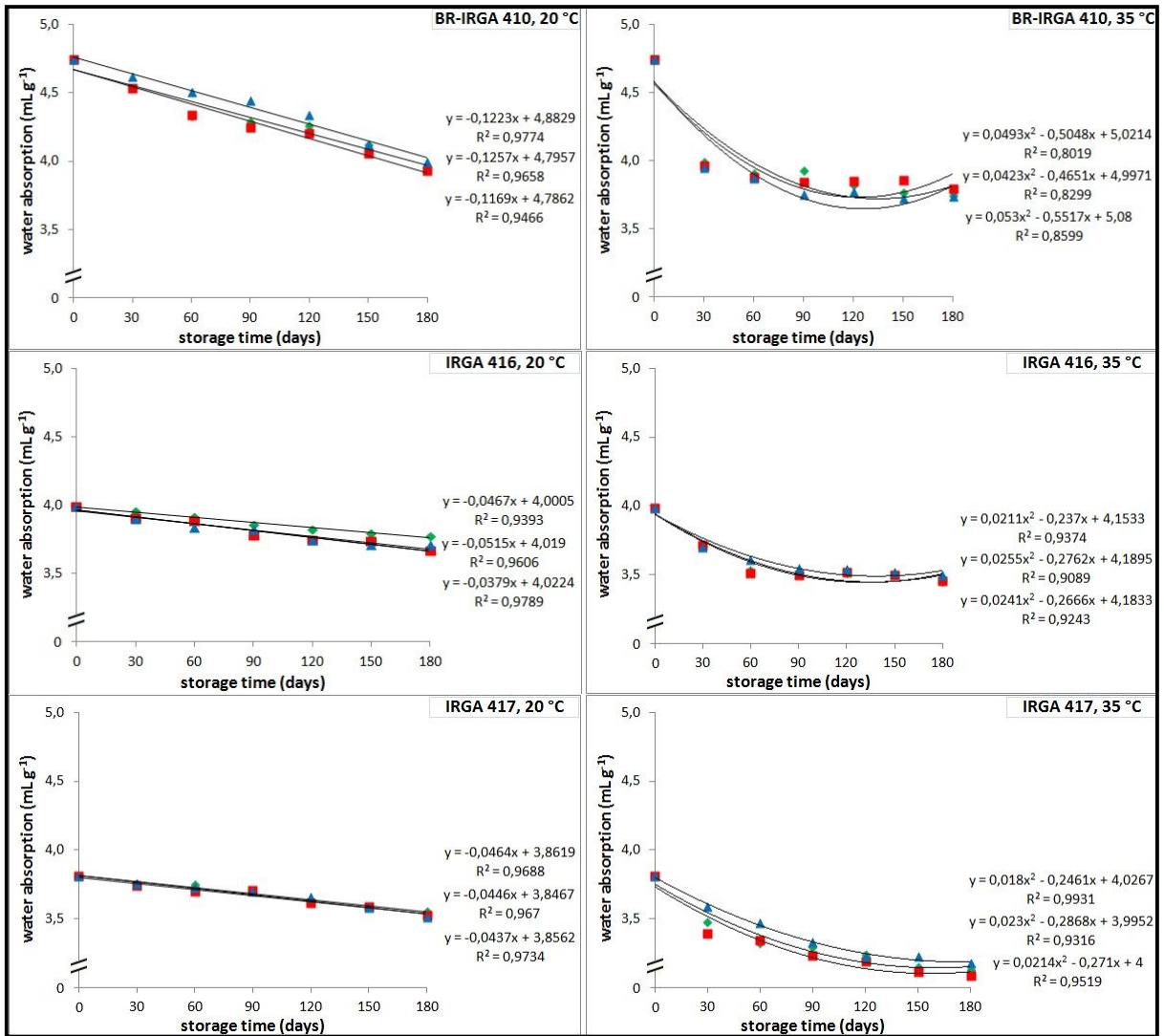


Figure 1 – Water absorption of rice stored under different atmospheric conditions (♦ control, ■ 60% O<sub>2</sub> and ▲ 20% CO<sub>2</sub>).

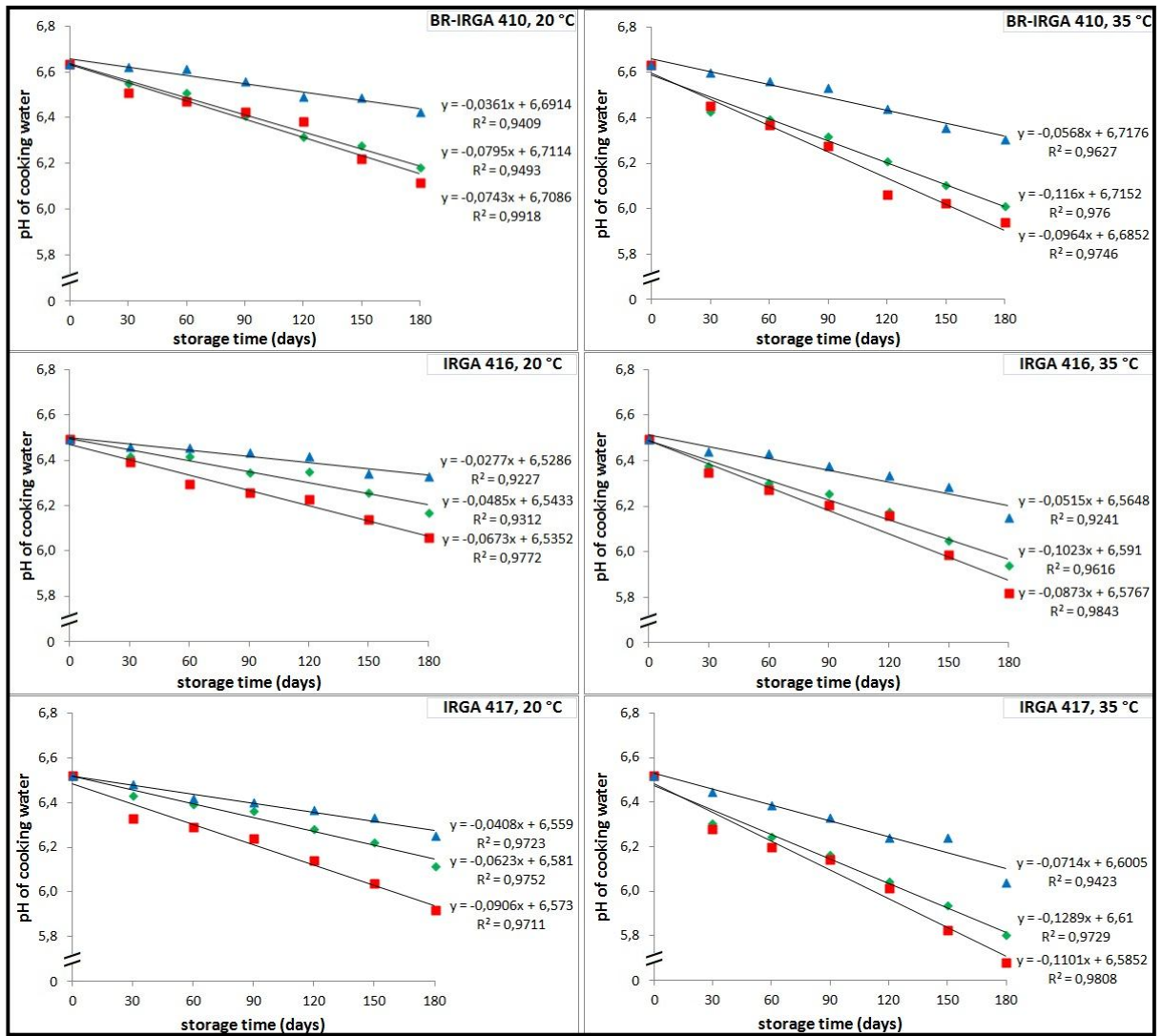


Figure 2 – pH of the cooking water of rice stored under different atmospheric conditions (◆ control, ■ 60% O<sub>2</sub> and ▲ 20% CO<sub>2</sub>).

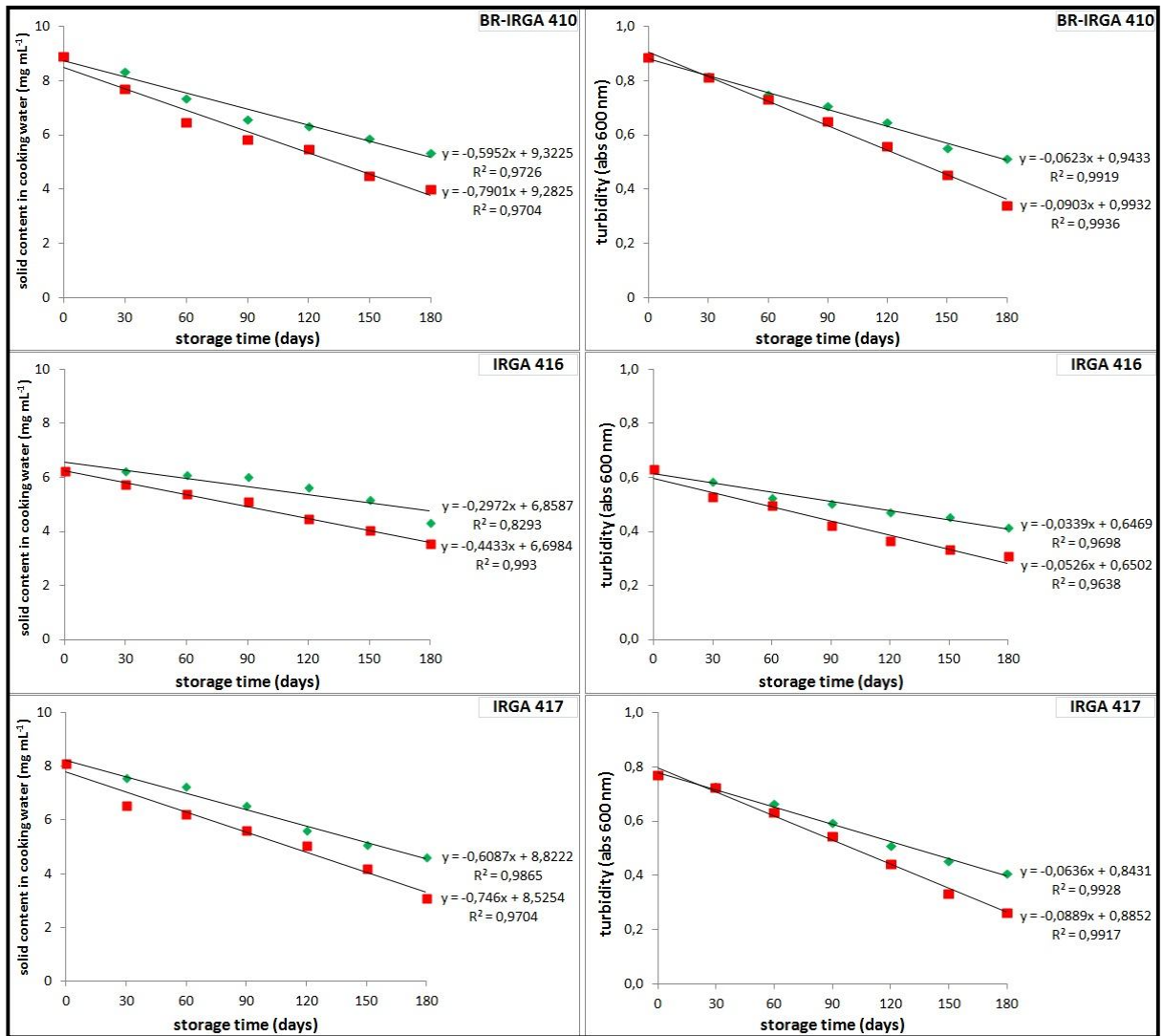


Figure 3 – Solid content and turbidity in the cooking water of rice stored under different temperatures (◆ 20 °C and ■ 35 °C).



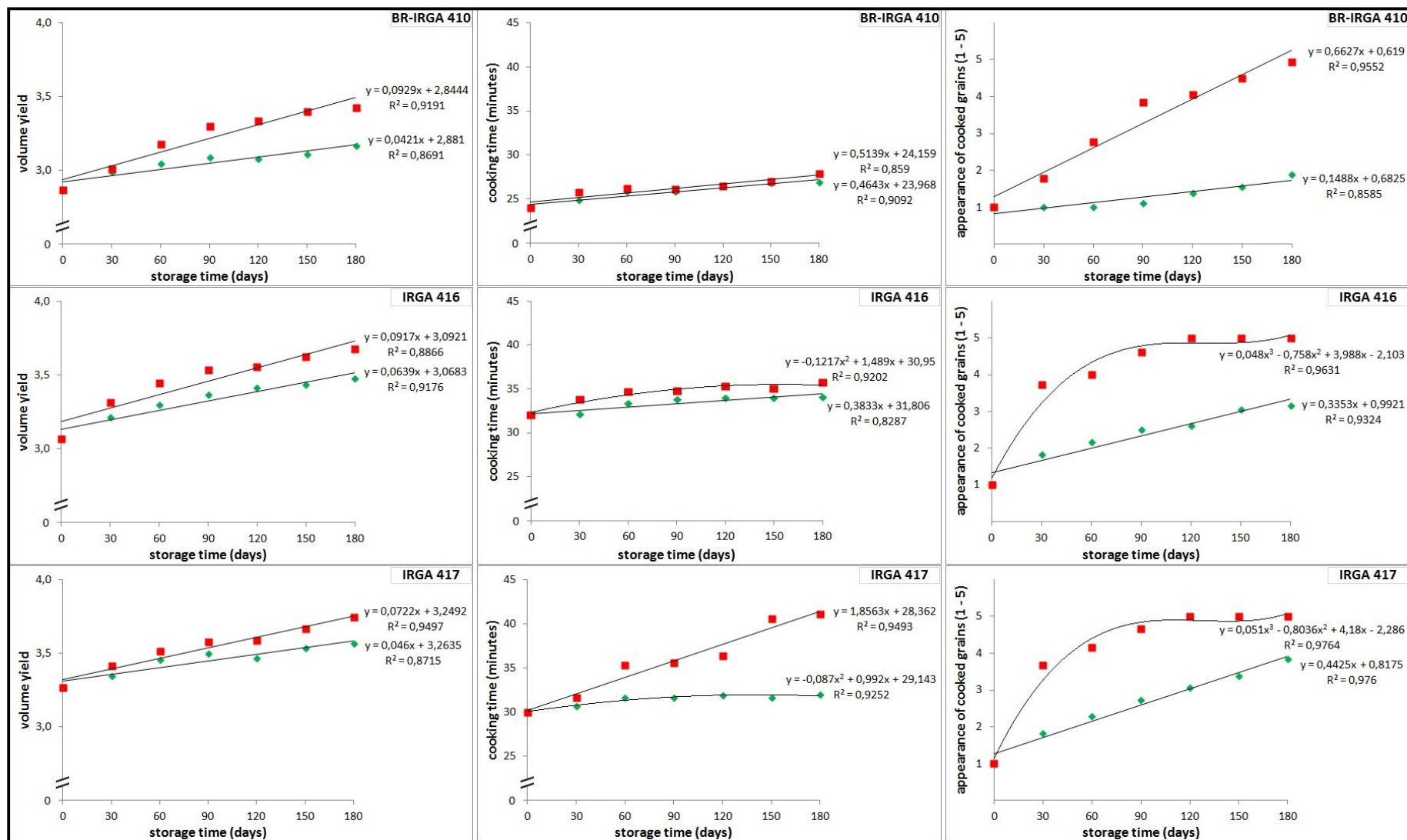


Figure 4 – Volume yield, cooking time and appearance of cooked grains of rice stored under different temperatures (◆ 20 °C and ■ 35 °C).

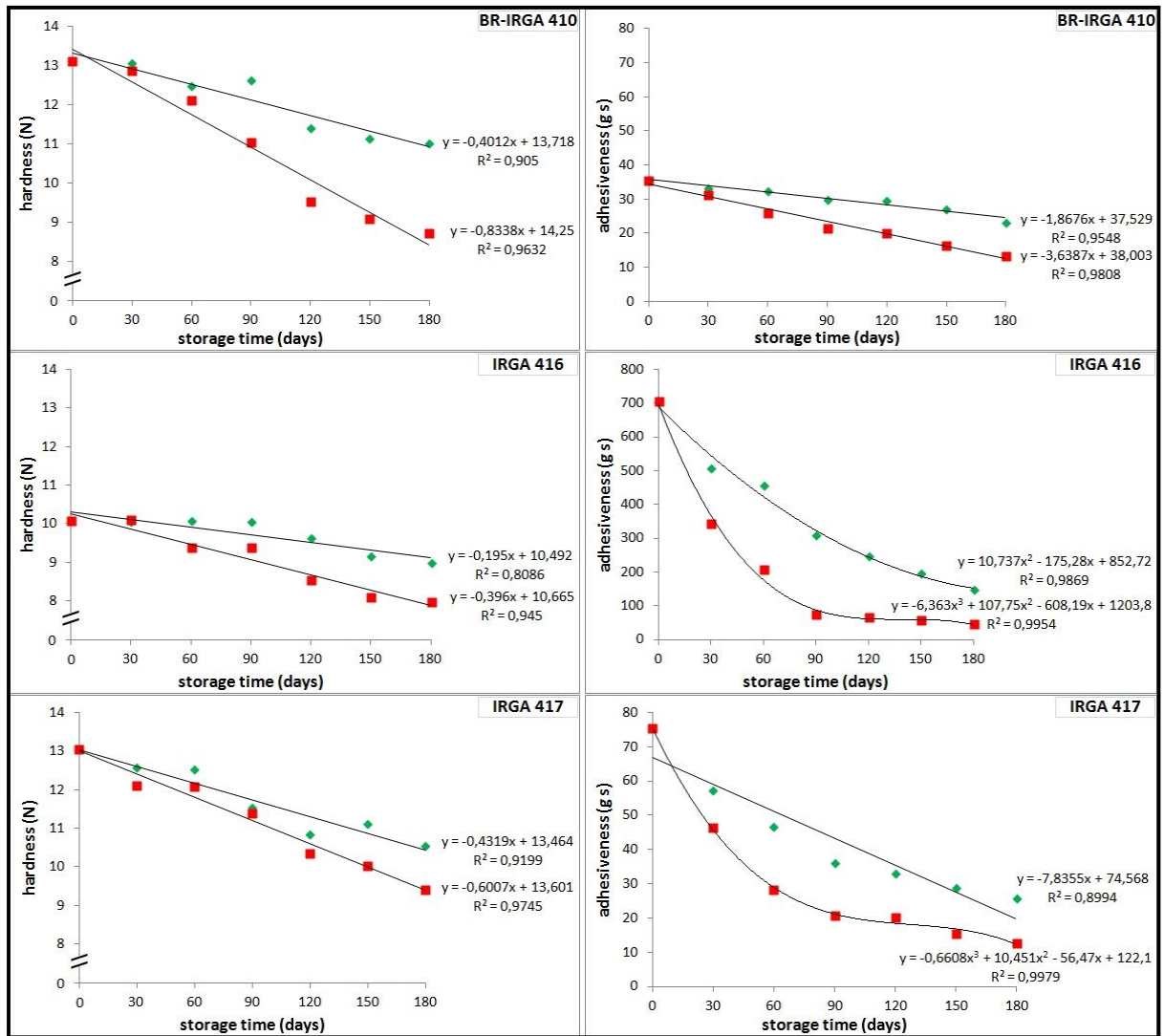


Figure 5 – Texture parameters (hardness and adhesiveness) of rice stored under different temperatures (◆ 20 °C and ■ 35 °C).

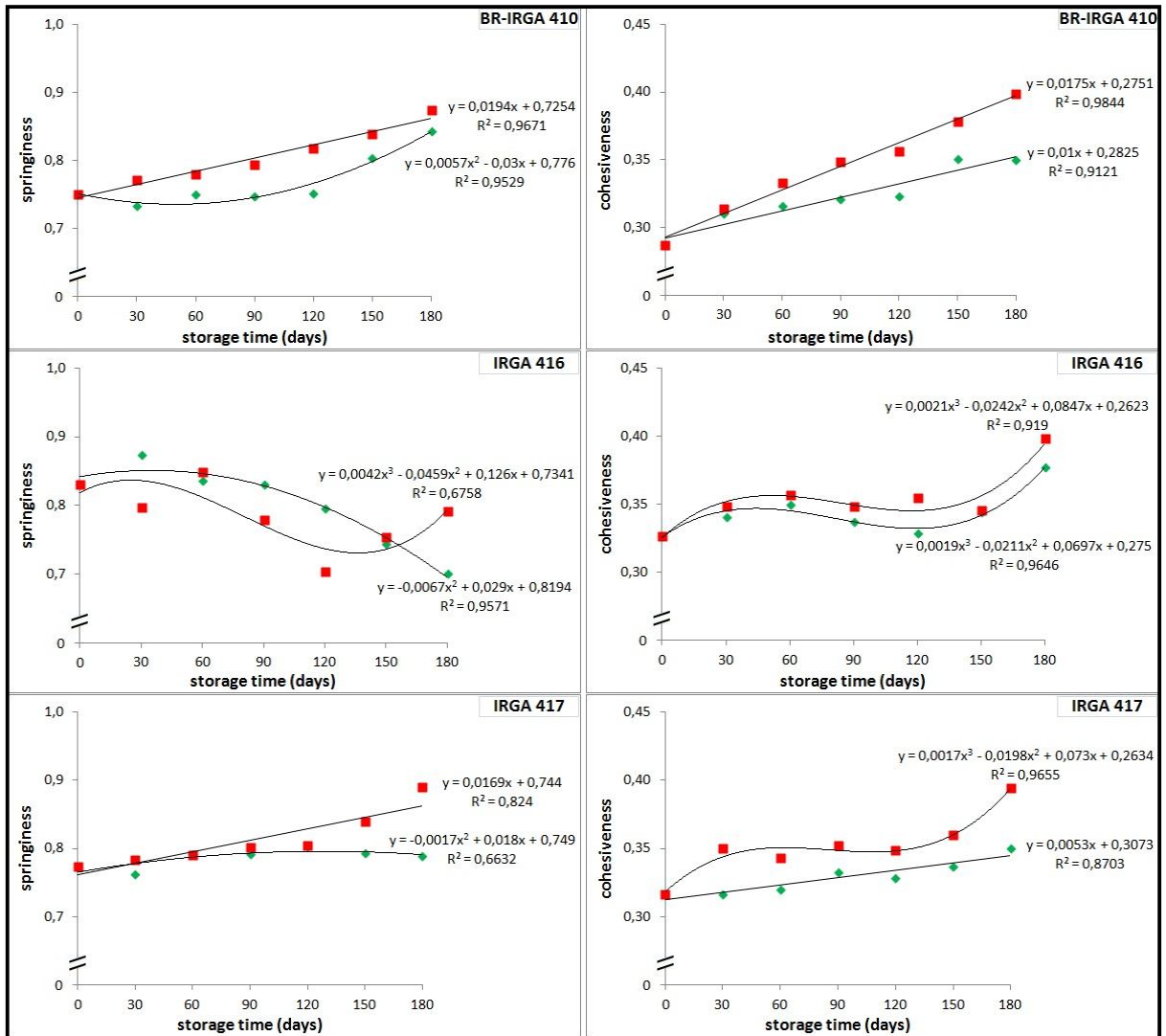


Figure 6 – Texture parameters (springiness and cohesiveness) of rice stored under different temperatures (◆ 20 °C and ■ 35 °C).

Table 1 – Pearson's correlations (r) between the parameters analyzed in the cooking properties, cooking method and texture of rice samples

Parameters	Water absorption	pH	Solid loss	Turbidity	Weight yield	Volume yield	Cooking time	Appearance	Hardness	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness
Water absorption	-	0,691**	0,692**	0,708**	0,159**	-0,872**	-0,822**	-0,790**	0,513**	0,113*	-0,276**	-0,604**
pH	0,691**	-	0,797**	0,792**	0,157*	-0,755**	-0,586**	-0,757**	0,621**	0,245**	-0,270**	-0,700**
Solid loss	0,692**	0,797**	-	0,945**	0,172**	-0,722**	-0,614**	-0,790**	0,853**	0,050	-0,294**	-0,775**
Turbidity	0,708**	0,792**	0,945**	-	0,164**	-0,765**	-0,702**	-0,771**	0,883**	0,012	-0,305**	-0,742**
Weight yield	0,159**	0,157*	0,172**	0,164**	-	-0,094	-0,158**	-0,092	0,130*	-0,038	-0,018	-0,137**
Volume yield	-0,872**	-0,755**	-0,722**	-0,765**	-0,094	-	0,776**	0,809**	-0,568**	-0,227**	0,189**	0,622**
Cooking time	-0,822**	-0,586**	-0,614**	-0,702**	-0,158**	0,776**	-	0,607**	-0,569**	0,174**	0,236**	0,464**
Appearance	-0,790**	-0,757**	-0,790**	-0,771**	-0,092	0,809**	0,607**	-	-0,652**	-0,340**	0,194**	0,692**
Hardness	0,513**	0,621**	0,853**	0,883**	0,130*	-0,568**	-0,569**	-0,652**	-	-0,243**	-0,264**	-0,674**
Adhesiveness	0,113*	0,245**	0,050	0,012	-0,038	-0,227**	0,174**	-0,340**	-0,243**	-	0,259*	-0,096
Springiness	-0,276**	-0,270**	-0,294**	-0,305**	-0,018	0,189**	0,236**	0,194**	-0,264**	0,259*	-	0,351**
Cohesiveness	-0,604**	-0,700**	-0,775**	-0,742**	-0,137**	0,622**	0,464**	0,692**	-0,674**	-0,096	0,351**	-

Values followed by an asterisk (\*) indicate significant correlation at the 5% level and two asterisks (\*\*) at the 1% level.

## ARTIGO 4 – MUDANÇAS NA COR E COCÇÃO DURANTE O ARMAZENAMENTO DE ARROZ EM CASCA

### Changes in color and cooking during rice paddy storage

#### Resumo

Foram periodicamente avaliadas as características de cor e cocção de três variedades de arroz irrigado em casca (BR-IRGA 410, IRGA 416 e IRGA 417), armazenadas sob diferentes temperaturas (20 e 35°C) e atmosferas controladas (testemunha, 60% de O<sub>2</sub> e 20% de CO<sub>2</sub>) durante 180 dias. As coordenadas de cromaticidade L\* e a\* foram influenciadas significativamente (P<0,01) pela variedade, temperatura e tempo de armazenamento, sem influência significativa das condições atmosféricas (P>0,01), proporcionando grãos mais escuros e avermelhados no decorrer do período de armazenamento, principalmente a 35°C. A coordenada de cromaticidade b\* e os parâmetros avaliados em branquímetro foram influenciados significativamente (P<0,01) pela variedade, temperatura, atmosfera e tempo de armazenamento, com grãos mais amarelos e de menor brancura, transparência e polimento a 35°C e 60% de O<sub>2</sub>. Nos testes de cocção, observou-se progressivo incremento de rendimento volumétrico, tempo de cocção e solubilidade dos grãos, principalmente no armazenamento a 35°C e sem influência das condições atmosféricas. Tais resultados sugerem a ocorrência do processo de envelhecimento do arroz, com maior intensidade no armazenamento a 35°C e maiores concentrações de O<sub>2</sub>, porém atmosfera com menores concentrações de O<sub>2</sub> e maiores de CO<sub>2</sub> mostrou-se mais apropriada, pois auxiliou na manutenção da cor sem influenciar as características culinárias.

**Palavras-chave:** Envelhecimento, grãos, atmosfera controlada, luminosidade, polimento.

#### Abstract

The color and cooking characteristics of three irrigated paddy rice varieties (BR-IRGA 410, IRGA 416 and IRGA 417) stored under different temperatures (20 and 35 °C) and controlled atmospheres (control, 60% of O<sub>2</sub> and 20% of CO<sub>2</sub>) were periodically evaluated during 180 days. The chromaticity coordinates L\* and a\* were significantly influenced (P<0.01) by the variety, temperature and storage time, with no significant influence from the atmospheric conditions (P>0.01), providing darker and reddish grains during the storage period, principally at 35 °C. The chromaticity coordinate b\* and the parameters assessed in a

milling meter were significantly influenced ( $P < 0.01$ ) by the variety, temperature, atmosphere and storage time, with more yellow and less white, transparence and polish grains at a temperature of 35 °C and 60% of O<sub>2</sub>. A progressive increase in the volume yield, cooking time and more loose grains were observed in the cooking tests, mainly in the storage at a temperature 35 °C and without the influence of the atmospheric conditions. Such results suggest the occurrence of the rice ageing process, with a higher intensity during the storage at 35 °C and higher concentrations of O<sub>2</sub>, however an atmosphere with lower concentrations of O<sub>2</sub> and higher of CO<sub>2</sub> has shown to be more appropriate, considering that it helped in the color maintenance without influencing the culinary characteristics.

**Keywords:** Ageing, grains, controlled atmosphere, luminosity, milling.

## **Introdução**

Entre 94 e 96% dos brasileiros utilizam arroz em pelo menos uma refeição por semana, mais da metade consome arroz no mínimo uma vez por dia, sendo que o maior consumo, pouco mais de 70%, é de arroz branco polido, produzido pelo processo convencional de beneficiamento industrial, com preferência geral por grãos mais claros, brancos e translúcidos quando crus e soltos e macios depois de cozidos (BASSINELLO et al., 2004; ELIAS, 2007).

A qualidade do arroz, até recentemente, era julgada apenas com base na qualidade de engenho, que considerava o rendimento, a brancura e a pureza dos grãos (LUZ e TREPTOW, 1998). Atualmente, a qualidade do arroz tem diferentes significados, concebidos e vistos de diferentes formas, dependendo da finalidade de consumo, do grupo étnico envolvido e do tipo de processamento. Desta forma, o arroz é considerado de boa ou má qualidade dependendo das preferências e/ou necessidades do consumidor (LIMA et al., 2006).

Dentre os atributos sensoriais do arroz, considera-se a aparência como uma característica importante para a comercialização, pois causa o primeiro impacto no consumidor, e a qualidade culinária para a satisfação final do consumidor, exercendo a maior força de preferência (ELIAS, 2007; LIMA et al., 2006).

A qualidade do arroz também envolve características nutricionais, sanitárias e culinárias deste cereal, mas quanto à aparência dos grãos de arroz polidos, prevalece uma cultura doméstica de preferência por grãos com elevado grau de polimento e menor incidência de defeitos (LIMA et al., 2006). Já a qualidade culinária está relacionada às características varietais, mas principalmente ao processo de envelhecimento, em que os grãos passam por alterações estruturais intra e intermoleculares que afetam suas propriedades físico-químicas,

proporcionando maior integridade e menor aderência dos grãos cozidos (SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2002).

Neste contexto, foram periodicamente avaliadas as características de cor e cocção dos grãos de três variedades de arroz irrigado em casca (BR-IRGA 410, IRGA 416 e IRGA 417), armazenados sob diferentes temperaturas (20 e 35°C) e atmosferas modificadas (testemunha, 60% de O<sub>2</sub> e 20% de CO<sub>2</sub>) durante 180 dias.

## **Materiais e métodos**

**Condução do experimento:** Três variedades de arroz em casca (BR-IRGA 410, IRGA 416 e IRGA 417), cultivadas em sistema irrigado por alagamento na Estação Experimental do Arroz (EEA) do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) (29°57' S e 51°06' O), safra 2010/2011, foram coletadas imediatamente após a secagem por método intermitente. As amostras foram subdivididas em frações de aproximadamente 1 kg, fechadas em sacaria de algodão, identificadas e acondicionadas aleatoriamente em câmaras herméticas com temperaturas (20 e 35°C) e atmosferas controladas (testemunha, 60% de O<sub>2</sub> e 20% de CO<sub>2</sub>) no Núcleo de Pesquisa em Pós-Colheita da Universidade Federal de Santa Maria. Junto às amostras em 60% de O<sub>2</sub>, foi utilizada cal hidratada para absorver e evitar acúmulo de CO<sub>2</sub>. As amostragens e análises quantitativas foram realizadas 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após o início do armazenamento, sendo assim testadas as combinações de variedade X temperatura X atmosfera X tempo de armazenamento do arroz em três repetições.

**Beneficiamento do arroz:** Em máquina testadora de arroz (MT, Suzuki), cerca de 100 g de arroz foi descascado, polido e classificado em cada operação. Os grãos de arroz retidos no cocho (quebrados) foram descartados e os grãos remanescentes no *trieur* (inteiros) foram reservados para a seqüência de análises.

**Análises de cor:** Através de colorímetro (CR-310, Minolta) foram avaliadas, diretamente nos grãos, três coordenadas cartesianas do espaço psicométrico CIELAB: L\*, a\* e b\*. L\* indicando a luminosidade do preto (L\* = 0) ao branco (L\* = 100), a\* indicando a tendência da cor verde (-a\*) ao vermelho (+a\*) e b\* indicando a tendência da cor azul (-b\*) ao amarelo (+b\*). Em branquímetro (MM1D, Satake) foram avaliados os parâmetros de brancura (5,0 - 70,0%), transparência (0,01 - 8,00%) e grau de polimento (0 - 199).

**Teste de cocção:** Conforme metodologia proposta por Bassinello et al. (2004) e escala para avaliação sensorial descrita por Martinez e Cuevas-Perez (1989), foram pesados 40 g de arroz em béquer graduado, adicionados 100 mL de água destilada e 2 mL de óleo. Os béqueres, parcialmente cobertos, foram incubados em banho-maria a 95°C até a não

constatação de água residual. Desta maneira, foram avaliados os parâmetros de rendimento em peso (peso final do arroz cozido/peso inicial do arroz cru), rendimento em volume (volume ocupado pelo arroz cozido/volume ocupado pelo arroz cru), tempo de cocção (tempo total de incubação) e soltabilidade dos grãos cozidos (60 minutos após incubação, um analista treinado atribuiu notas conforme a seguinte relação: Muito pegajosos = 1, pegajosos = 2, ligeiramente pegajosos = 3, soltos = 4 e muito soltos = 5).

Análise estatística: Em programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) 8.0 para *Windows*, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e comparados pelo teste de *Tukey* em nível de 1% de significância para as interações das variáveis do experimento (variedade do arroz, temperatura, atmosfera e tempo de armazenamento). As médias dos parâmetros com interações significativas entre as variáveis foram dispostas graficamente em função do tempo de armazenamento, com linha de tendência e equação da reta ou função, observando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) mínimo de 0,8.

## **Resultados e discussão**

A cor dos grãos de arroz é determinada pela natureza dos grãos, método de secagem, tipo de processamento, mas principalmente pelas condições e períodos de armazenamento (ELIAS, 2007; FAGUNDES et al., 2003).

De acordo com a Figura 1, as coordenadas de cromaticidade  $L^*$  e  $a^*$  foram significativamente ( $P < 0,01$ ) influenciadas pela variedade, temperatura e tempo de armazenamento, sem influência significativa das condições atmosféricas ( $P > 0,01$ ).

A diminuição da luminosidade dos grãos foi observada durante todo o período de armazenamento. A temperatura de 35°C proporcionou menor luminosidade, enquanto que no armazenamento a 20°C as reduções na luminosidade dos grãos foram menores. Dentre as variedades, BR-IRGA 410 apresentou luminosidade inicial maior, seguida da IRGA 417 e IRGA 416, com aproximadamente 80, 77 e 76,5; respectivamente. Estas diferenças nos valores de luminosidade das variedades se mantiveram no decorrer do armazenamento, mesmo com reduções mais expressivas na luminosidade das amostras mantidas a 35°C (Figura 1).

A coordenada  $a^*$  aumentou linearmente durante o período de armazenamento, com maiores incrementos nos valores deste atributo de cor para as amostras armazenadas na temperatura de 35°C do que a 20°C. Inicialmente os valores de  $a^*$  eram de 0,9; 1,3 e 1,4; para as variedades IRGA 417, BR-IRGA 410 e IRGA 416, respectivamente. Mesmo que os acréscimos mais expressivos neste atributo tenham sido observados na variedade IRGA 417 a



35°C, após 180 dias de armazenamento a 35°C os grãos mais avermelhados eram da variedade IRGA 416 também armazenados a 35°C (Figura 1).

Observando a Figura 2, nota-se que a coordenada de cromaticidade  $b^*$  foi influenciada significativamente ( $P < 0,01$ ) pela variedade, temperatura, atmosfera e tempo de armazenamento, com alterações mais pronunciadas nos grãos armazenados a 35°C e com maior concentração de  $O_2$ . A variedade IRGA 416 apresentou os grãos mais amarelos previamente e após o armazenamento a 35°C, enquanto que as variedades BR-IRGA 410 e IRGA 417 tiveram comportamento semelhante a 20°C, mas valores superiores para a IRGA 417 a 35°C.

Além das alterações na coloração relacionadas ao processo de envelhecimento do arroz, quando grãos amarelos se destacam na massa de grãos são considerados defeitos metabólicos, com maior incidência em condições de armazenamento que favorecem o metabolismo dos grãos e organismos associados (BRASIL, 2009; ELIAS, 2007). O método de secagem empregado, previamente ao armazenamento, também interfere na cor do arroz, como por exemplo, na secagem intermitente em altas temperaturas os grãos ficam menos claros do que na secagem estacionária realizada em condições térmicas mais brandas (FAGUNDES et al., 2003; TULYATHAN e LEEHARATANALUK, 2007).

As alterações de cor constatadas nas análises colorimétricas demonstram a tendência dos grãos de arroz ficarem mais escuros, avermelhados e amarelados ao longo do período de armazenamento. A cor é mais considerada pelos consumidores nos grãos de arroz crus, pois após cozidos se diferenciam menos em relação à cor. Desta maneira, é prejudicado um quesito de qualidade utilizado na escolha do produto pelos consumidores, embora não de maneira comprometedor, pois o conjunto de grãos fica com a mesma tonalidade. A presença de grãos com defeitos destoantes ou a mistura de grãos com diferentes tonalidades em um mesmo produto são mais prejudiciais à aparência geral.

Nas análises dos grãos em branquímetro constatou-se que a variedade, temperatura, atmosfera e tempo de armazenamento influenciaram significativamente ( $P < 0,01$ ) na redução dos parâmetros de brancura (Figura 3), transparência (Figura 4) e grau de polimento (Figura 5). Mesmo com a redução dos parâmetros analisados, ao final dos 180 dias de armazenamento, todas as amostras apresentavam qualidade aceitável para o beneficiamento e comercialização dos grãos de arroz como polidos.

Conforme a Figura 3, a redução da brancura nos grãos das três variedades testadas foi maior a 35°C, sendo que a atmosfera com 20% de  $CO_2$  retardou o escurecimento e a atmosfera com 60% de  $O_2$  prejudicou na manutenção da brancura dos grãos.

Na Figura 4 constata-se comportamento semelhante à brancura, com os grãos menos translúcidos no armazenamento a 35°C e atmosfera com 60% de O<sub>2</sub>, enquanto a temperatura de 20°C e atmosfera com 20% de CO<sub>2</sub> proporcionaram menor redução na transparência.

Grãos menos translúcidos têm menor aceitação de consumidores e indústrias de arroz, sendo normalmente associados à presença de manchas esbranquiçadas nos grãos, denominados como “gesso” ou “barriga branca”. Nas amostras armazenadas, a redução de transparência nos grãos não decorre da incidência destes defeitos, relacionados às condições adversas no cultivo, mas sim de reações que promoveram alterações de cor nos grãos.

A Figura 5 mostra uma redução linear no grau de polimento em todos os tratamentos no decorrer do armazenamento, sendo que a temperatura de 20°C e atmosfera com 20% de CO<sub>2</sub> mostraram-se mais eficientes na manutenção do grau de polimento. Por outro lado, o armazenamento a 35°C e em maiores concentrações de O<sub>2</sub> determinaram reduções mais expressivas no grau de polimento do arroz.

A operação de polimento promove abrasão na superfície do grão, com remoção das camadas externas (pericarpo, película, nucela, aleurona, germe e parte do endosperma amiláceo) (ELIAS, 2007). O grau de polimento é dado pela quantidade de película e germe removidos, determinado a partir da brancura e transparência quando por meio de aparelhos ópticos, como o branquímetro (MARSHALL e WADSWORTH, 1994). Desta maneira, a diminuição no grau de polimento das amostras não está relacionada à remanescência de farelo, mas sim às reduções na brancura e transparência dos grãos, por sua vez decorrentes das alterações de cor.

O polimento é normalmente ajustado pela renda do benefício e tipo de equipamento, ou seja, a partir de uma amostra padrão com conhecido rendimento de grãos inteiros e quebrados são estabelecidos o tempo e intensidade do polimento. O arroz muito ou pouco polido não são adequados; no primeiro caso, a fração amilácea (endosperma) é demasiadamente exposta, prejudicando a qualidade culinária, além de promover maior quebra dos grãos, menor massa de grãos (mais farelo) e diminuição do valor nutricional; já no segundo caso, a permanência das camadas externas do grão, mesmo em pequenas quantidades, promovem reações de oxidação, aparência de grão mais escuro e gosto desagradável (MARSHALL e WADSWORTH, 1994; MOHAPATRA e BAL, 2007).

Necessidades especiais podem justificar um polimento mais intenso, como no caso de um arroz armazenado por longos períodos, que adquiriu defeitos (metabólicos e externos) possivelmente removidos ou amenizados na etapa de polimento, inclusive adequando o produto aos limites da legislação (BRASIL, 2009; ELIAS, 2007).

Inicialmente, a cor do arroz é determinada pela natureza dos grãos, onde pigmentos presentes na casca e farelo aderem-se às camadas superficiais do endosperma amiláceo. Posteriormente, a cor pode ser alterada por reações de Maillard, enzimáticas e oxidativas de alguns constituintes dos grãos. Estas reações ocorrem naturalmente no arroz, mas são mais pronunciadas no armazenamento dos grãos em casca, com umidade superior a 13% e em temperatura favorável para cada qual (FONSECA et al., 2011; MARSHALL e WADSWORTH, 1994; ROY et al., 1991).

As reações de oxidação são predominantes nas alterações de cor durante o armazenamento de arroz, por exemplo, nas condições testadas, as alterações de cor mais pronunciadas foram observadas a 35°C e na presença de O<sub>2</sub>. Já as reações de Maillard ocorrem em menor intensidade, pois a atividade de água e temperatura de armazenamento dos grãos não são favoráveis ao desencadeamento de reações de escurecimento não enzimáticas. No entanto, o estresse oxidativo disponibiliza água, que na presença de substratos (açúcares redutores e aminoácidos livres) permite a ocorrência de reações de Maillard com formação de melanoidinas (DHALIWAL et al., 1991; FENNEMA et al., 2010; FONSECA et al., 2011; ZHOU et al., 2002).

Condições atmosféricas com baixa concentração de O<sub>2</sub> podem auxiliar, além da manutenção de cor nos grãos, na prevenção ao ataque de pragas, microrganismos e respiração durante o armazenamento de arroz, que são mais preocupantes a 35°C (PENTEADO, 1990).

No teste de cocção houve progressivo incremento de rendimento volumétrico, tempo de cocção e solubilidade dos grãos de arroz cozidos, que foram influenciados significativamente ( $P < 0,01$ ) pela variedade, temperatura e tempo de armazenamento, sem influência das diferentes condições atmosféricas; enquanto que o rendimento gravimétrico não foi influenciado significativamente ( $P > 0,01$ ) durante o período de armazenamento (Figura 6).

O arroz armazenado por mais tempo apresenta maior capacidade de absorção de água, porém é mais resistente à absorção desta, assim resultados divergentes de rendimento gravimétrico do arroz no armazenamento são decorrentes da avaliação deste parâmetro por diferentes métodos de cocção (LUZ e TREPTOW, 1998; SODHI et al., 2003).

O aumento no rendimento volumétrico foi mais expressivo no armazenamento a 35°C, maior para a variedade IRGA 417, seguida da IRGA 416 e BR-IRGA 410 (Figura 6).

O tempo para cocção das amostras aumentou progressivamente durante o período de armazenamento, de maneira mais pronunciada a 35°C, sendo que o armazenamento nesta temperatura proporcionou incremento de aproximadamente 7, 9 e 10 minutos no tempo de

cozimento ao final do período de armazenamento das variedades BR-IRGA 410, IRGA 416 e IRGA 417, respectivamente (Figura 6). Embora o aumento no tempo de cozimento seja um evento reconhecido do envelhecimento do arroz e relacionado à maior resistência na absorção de água pelos grãos, não vai ao encontro da preferência geral dos consumidores de arroz polido por produtos de rápido cozimento (BASSINELLO et al., 2004; SODHI et al., 2003).

Maior período e temperatura de armazenamento também atribuíram melhores características na aparência dos grãos de arroz cozidos. O aumento na soltabilidade foi mais expressivo a 35°C, proporcionando a classificação dos grãos como “soltos” aos 90, 90 e 60 dias de armazenamento das variedades BR-IRGA 410, IRGA 416 e IRGA 417, respectivamente; enquanto que, no armazenamento a 20°C, as amostras não alcançaram a classificação dos grãos como “soltos” após 180 dias, apenas a variedade IRGA 417 ficou próxima desta, com classificação dos grãos como “ligeiramente pegajosos” ao final do período de armazenamento (Figura 6). As maiores notas de soltabilidade para a variedade IRGA 417 foram condizentes com sua reconhecida qualidade culinária, relacionada ao maior teor de amilose (SOSBAI, 2010; STORCK, 2004).

Os resultados constatados nos testes de cozimento demonstram que maiores períodos e temperaturas de armazenamento favoreceram as alterações estruturais nos grãos, refletindo na maior resistência à absorção de água e conseqüente maior tempo para cozimento, além de maior capacidade de expansão volumétrica e melhor aparência dos grãos cozidos (SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2002).

## Conclusão

As alterações de cor e cozimento sugerem a ocorrência do processo de envelhecimento no decorrer do período de armazenamento do arroz, com maior intensidade a 35°C e maiores concentrações de O<sub>2</sub>, porém o armazenamento em atmosferas com menores concentrações de O<sub>2</sub> e maiores de CO<sub>2</sub> mostrou-se mais eficiente na manutenção da cor clara sem influenciar as características culinárias dos grãos.

## Referências

BASSINELLO, P. Z.; ROCHA, M. S.; COBUCCI, R. M. A. **Avaliação de diferentes métodos de cozimento de arroz de terras altas para teste sensorial**. Comunicado Técnico da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, n. 84., 8 p., dez. 2004.

BRASIL. Instrução Normativa n. 6, de 16 de fevereiro de 2009. Aprova o Regulamento Técnico do Arroz. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 fev.

2009. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=19480>>. Acesso em: 22 dez. 2009.

DHALIWAL, Y. S.; SEKHON, K. S.; NAGI, H. P. S. Enzymatic activities and rheological properties of stored rice. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, n. 1, p. 18-21, jan. 1991.

ELIAS, M. C. **Pós-colheita de arroz: Secagem, armazenamento e qualidade**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2007. 437 p.

FAGUNDES, C. A. A. et al. Qualidade sensorial em arroz secado pelos métodos intermitente e estacionário em silo metálico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3., 2003, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. v. 1, p. 656-658.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de los alimentos**. 3ª ed. Zaragoza, Editorial Acribia, 2010. 1154 p.

FONSECA, F. A. et al. Efeito da temperatura e do tempo de imersão na etapa de encharcamento sobre a cor dos grãos de arroz parboilizado de cultivares de terras altas. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 221-234, jan-mar. 2011.

LIMA, C. H. A. M. et al. **Seleção e treinamento de uma equipe de provadores para avaliação sensorial de diferentes cultivares de arroz**. Comunicado Técnico da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, n. 23, 24 p., dez. 2006.

LUZ, M. L. G. S.; TREPTOW, R. O. Comportamento de variedades tailandesas de arroz. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 4, n. 3, p. 151-157, set-dez. 1998.

MARSHALL, W. E.; WADSWORTH, J. I. **Rice Science and Technology**. New Orleans: Marcel Dekker, 1994. 470 p.

MARTÍNEZ, C.; CUEVAS-PEREZ, F. **Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1989. 75 p.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Effect of degree of milling on specific energy consumption, optical measurements and cooking quality of rice. **Journal of Food Engineering**, Oakville, v. 80, n. 1, p. 119-125, may 2007.

PENTEADO, M. F. **Qualidade de arroz (*Oryza sativa* L.), armazenado em atmosfera modificada, em silo subterrâneo.** 1990. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

ROY, M. K.; GHOSH, S. K.; CHATTERJEE, S. R. Gamma-irradiation of rice grains. **Journal of Food Science and Technology**, New Delhi, v. 28, n. 6, p. 337-340, dec. 1991.

SODHI, N. S. et al. Changes in physico-chemical, thermal, cooking and textural properties of rice during aging. **Journal of Food Processing and Preservation**, Malden, v. 27, n. 5, p. 387-400, dec. 2003.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil.** Porto Alegre: Gráfica e Editora Pallotti, 2010. 188 p.

STORCK, C. R. **Variação na composição química de grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos.** 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

TULYATHAN, V.; LEEHARATANALUK, B. Changes in quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105 during storage. **Journal of Food Biochemistry**, Malden, v. 31, n. 3, p. 415-425, jun. 2007.

ZHOU, Z. et al. Ageing of stored rice: Changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 65-78, jan. 2002.

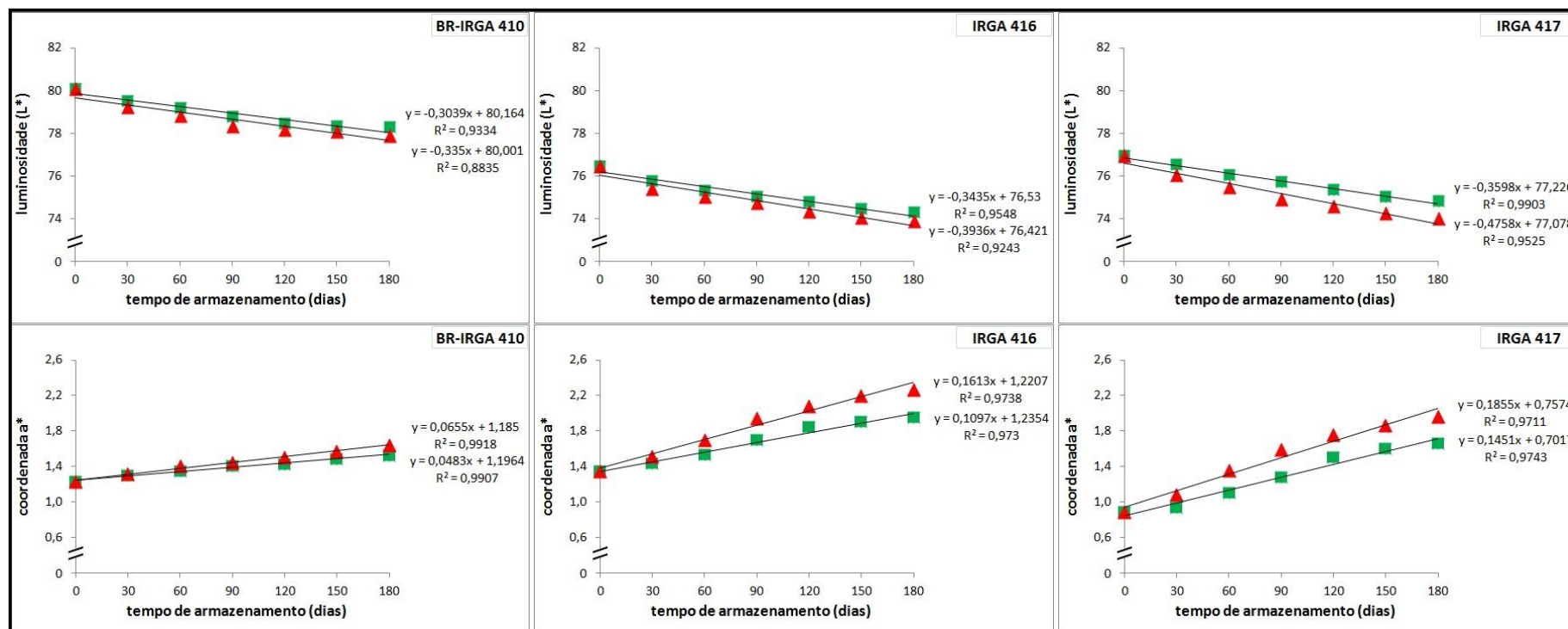


Figura 1 – Coordenadas L\* e a\* de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes temperaturas (■ 20°C e ▲ 35°C).

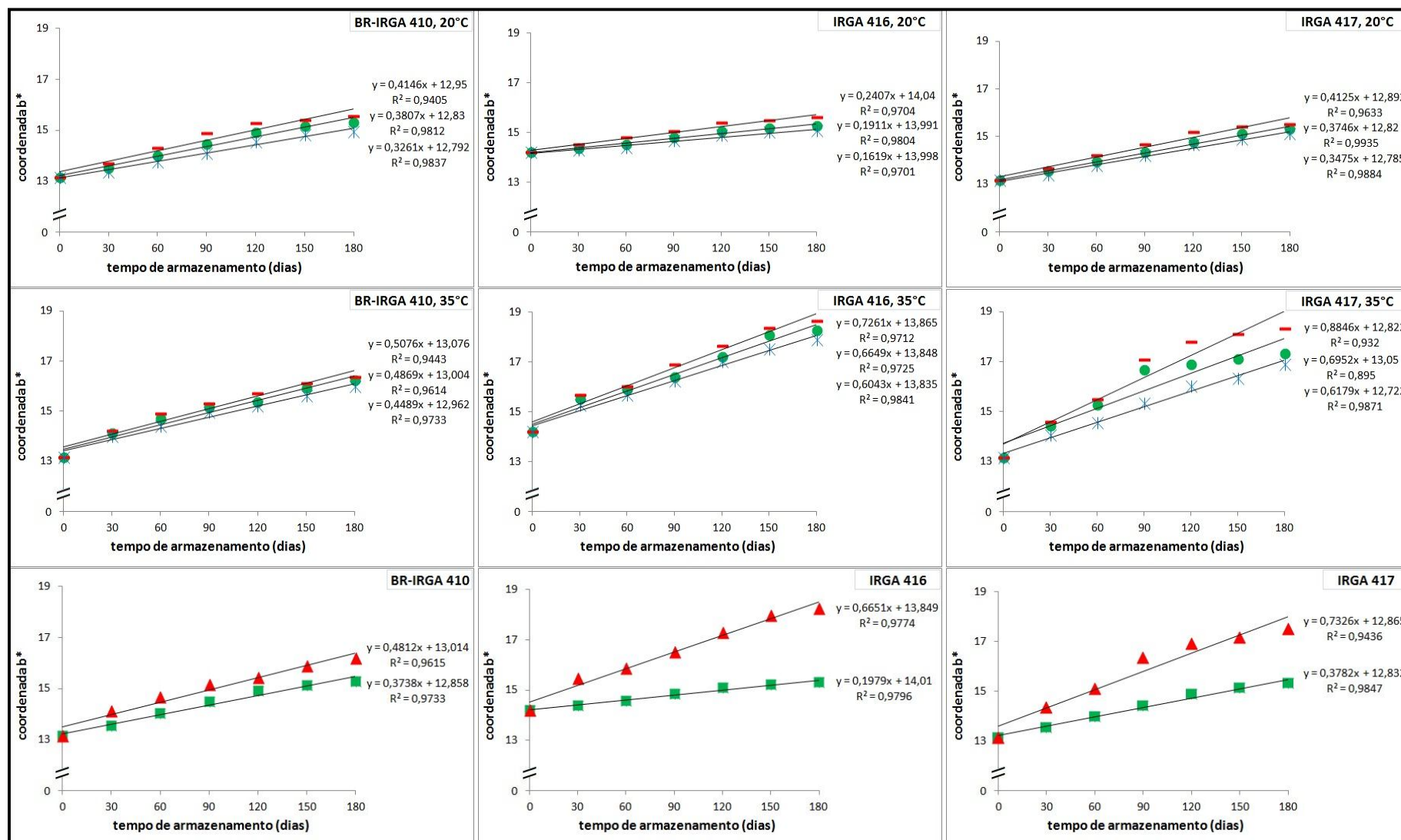


Figura 2 – Coordenada b\* de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes atmosferas (● testemunha, ■ 60% O<sub>2</sub> e ✕ 20% CO<sub>2</sub>) e temperaturas (■ 20°C e ▲ 35°C).



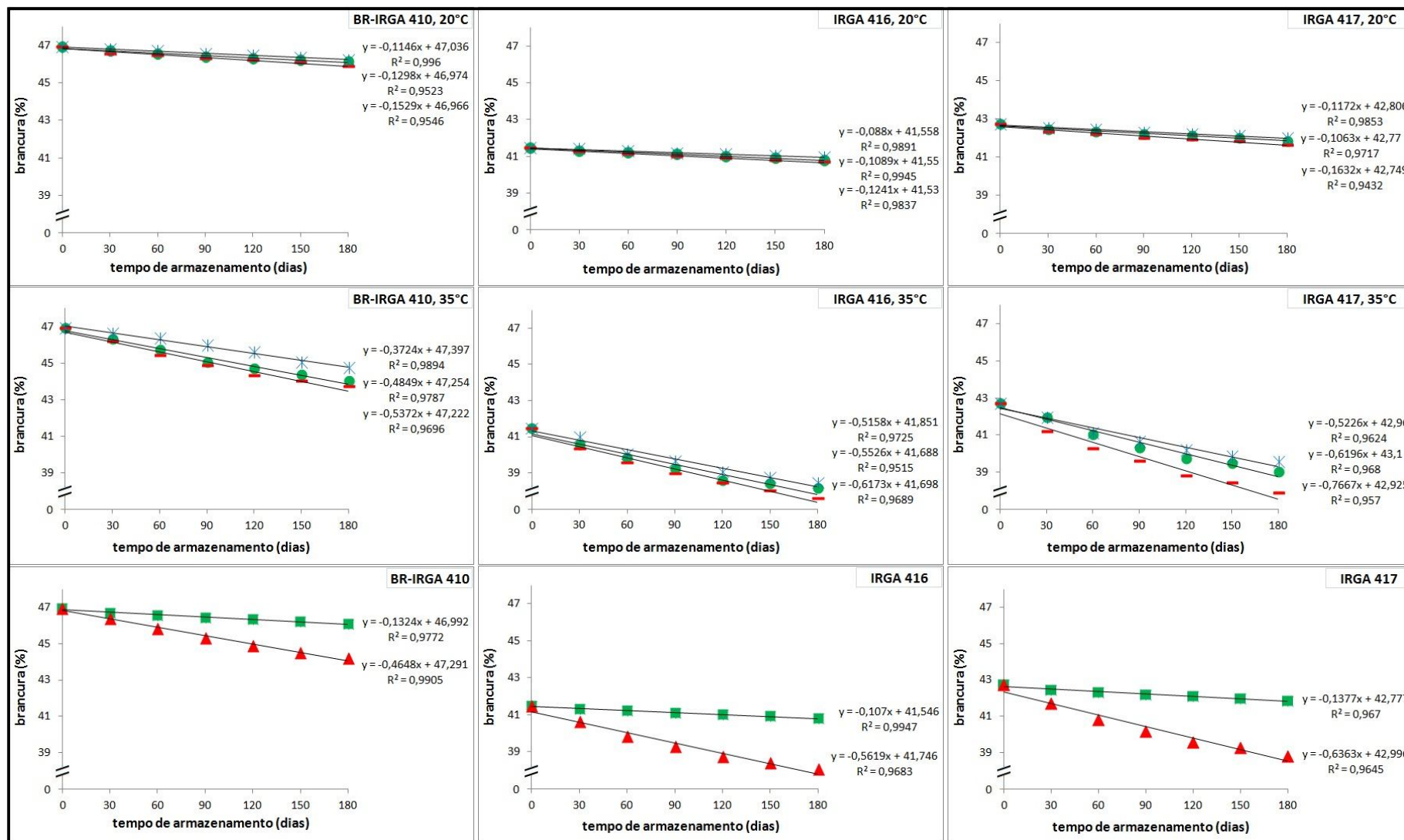


Figura 3 – Brancura de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes atmosferas (● testemunha, ■ 60% O<sub>2</sub> e ✕ 20% CO<sub>2</sub>) e temperaturas (■ 20°C e ▲ 35°C).

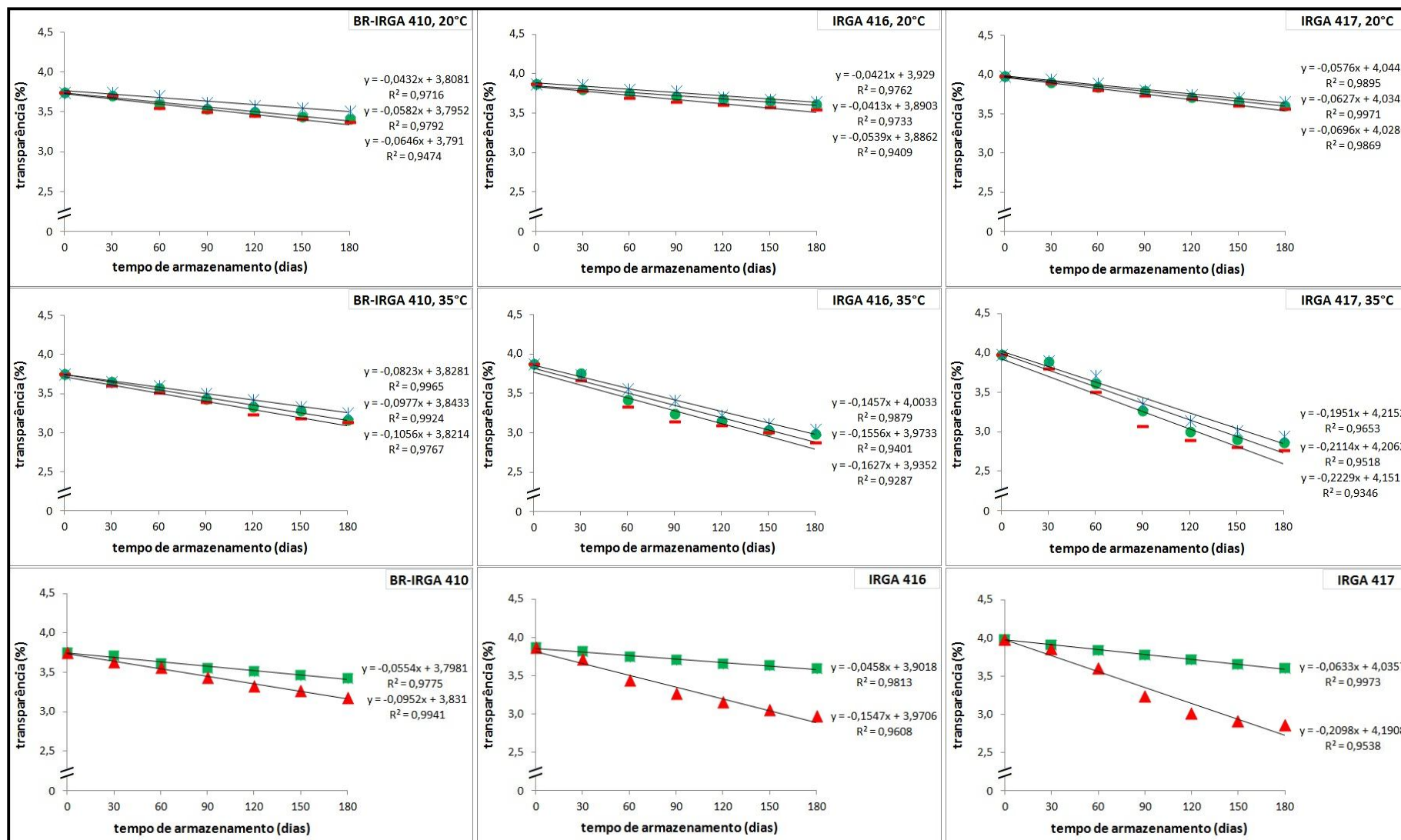


Figura 4 – Transparência de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes atmosferas (● testemunha, ■ 60% O<sub>2</sub> e × 20% CO<sub>2</sub>) e temperaturas (■ 20°C e ▲ 35°C).

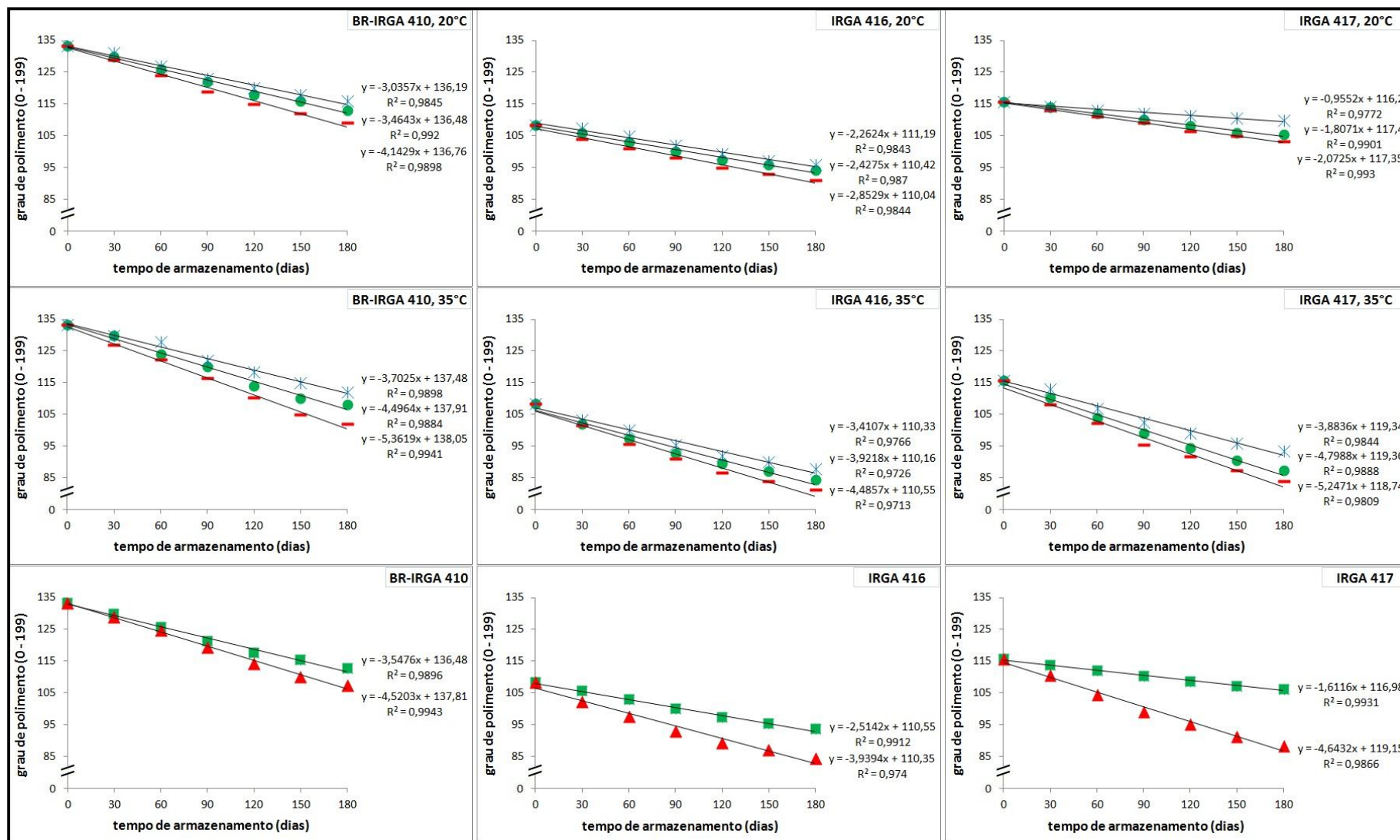


Figura 5 – Grau de polimento de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes atmosferas (● testemunha, — 60% O<sub>2</sub> e ✕ 20% CO<sub>2</sub>) e temperaturas (■ 20°C e ▲ 35°C).



## **ARTIGO 5 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ALTERAÇÕES ESTRUTURAIS NO ARMAZENAMENTO DE ARROZ IRRIGADO**

### **Chemical composition and structural changes during storage of irrigated rice**

#### **Resumo**

O efeito do tempo de armazenamento em diferentes temperaturas (0,5; 20 e 35°C) foi periodicamente avaliado sobre a composição química, capacidade de alongação e propriedades viscoamilográficas de três variedades de arroz irrigado em casca (BR-IRGA 410, IRGA 416 e IRGA 417) durante 180 dias. As alterações nos componentes dos grãos polidos foram significativas ( $P < 0,05$ ) para os teores de matéria mineral, compostos fenólicos, amilose e amido resistente, com incrementos nestes teores, principalmente em maiores períodos e temperaturas de armazenamento. Os parâmetros de alongação dos grãos foram influenciados significativamente ( $P < 0,01$ ) pela variedade, tempo e temperatura do armazenamento, com aumentos mais expressivos durante o armazenamento a 35°C. As propriedades viscoamilográficas também foram influenciadas significativamente ( $P < 0,01$ ) pelas variáveis do experimento, sendo que, no decorrer do armazenamento, os parâmetros demonstraram maior viscosidade, resistência à quebra e retrogradação para as amostras com maior teor de amilose e mantidas a 35°C. As alterações nos componentes dos grãos, quando constatadas, foram bastante sutis e não determinaram as alterações de alongação e viscoamilográficas. A temperatura se mostrou uma variável de grande influência no processo de envelhecimento do arroz, sugerindo a possibilidade do armazenamento deste cereal em maiores temperaturas para conferir qualidade culinária em menor tempo de armazenamento.

**Palavras-chave:** Envelhecimento, lipídios, amilose, alongação, viscosidade.

#### **Abstract**

The effect storage time at different temperatures (0.5, 20 and 35 °C) was periodically evaluated in regard to the chemical composition, elongation capacity and viscoamylographic properties of three irrigated paddy rice varieties (BR-IRGA 410, IRGA 416 and IRGA 417) during 180 days. The alterations in the components of the polished grains were significant ( $P < 0.05$ ) for the content of ash, phenolic compounds, amylose and resistant starch, with increments in these contents, mainly after longer periods and at higher storage temperatures. The elongation parameters of the grains were influenced significantly ( $P < 0.01$ ) by the variety,

temperature and storage time, with more expressive increases during the storage at 35 °C. The viscoamylographic properties were also significantly influenced ( $P < 0.01$ ) by the experiment variables and during storage the parameters demonstrated greater viscosity, resistance to breakdown and setback for the samples with higher content of amylose stored at 35 °C. The alterations in the components of the grains, when observed, were very subtle and did not determine the elongation and the viscoamylographic alterations. The temperature turned out to be a variable of great influence in the rice ageing process, suggesting the possibility of storing this cereal in higher temperatures in order to provide culinary quality in a shorter period of storage.

**Keywords:** Ageing, lipids, amylose, elongation, viscosity.

## **Introdução**

O arroz faz parte dos hábitos alimentares dos brasileiros há mais de um século, sendo consumido principalmente na forma de grãos descascados e polidos, que no processo de beneficiamento têm o endosperma separado, parcial ou totalmente, do embrião e da película (NAVES, 2007).

O processo de beneficiamento, particularmente o polimento, representa perdas de aproximadamente 10% de peso do grão integral e considerável diminuição dos nutrientes das camadas externas, mas outros fatores também influenciam no valor nutricional do arroz. Tais variáveis estão relacionadas com as condições de cultivo (temperatura, umidade, radiação solar, natureza do solo e adubação) e com as formas de preparo do cereal para consumo. Dentre os componentes do arroz, as proteínas e micronutrientes são os mais alterados pelas condições de cultivo (MARSHALL e WADSWORTH, 1994).

Além do valor nutricional, o consumidor de arroz está cada vez mais exigente em relação às características sensoriais deste cereal, sendo que a qualidade culinária é o fator determinante na aceitação do produto, que deve apresentar grande capacidade de absorção de água, aumento volumétrico, alongação e solubilidade dos grãos (BASSINELLO et al., 2004; FARUQ et al., 2003).

Embora o arroz seja consumido de diversas formas, como em doces, salgados, saladas ou ingrediente de formulações na forma de farinha, o consumo mais representativo ainda corresponde ao preparo isolado do arroz polido, apenas com sal, óleo e água, onde o arroz com grãos soltos após cozidos é preferência dos brasileiros (BASSINELLO et al., 2004; ELIAS, 2007).

Mesmo estabelecendo uma relação entre alguns componentes do grão com a qualidade culinária do arroz, diversos trabalhos relatam que, independente da composição química dos grãos, as características culinárias só são alcançadas após um período de armazenamento, no qual ocorre o envelhecimento do arroz, que envolve mudanças nas propriedades físico-químicas dos grãos (SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2002).

Desta forma, o trabalho teve por objetivo avaliar periodicamente o efeito do tempo de armazenamento em diferentes temperaturas (0,5; 20 e 35°C) sobre a composição química, capacidade de alongação dos grãos e propriedades viscoamilográficas de três variedades de arroz irrigado (BR-IRGA 410, IRGA 416 e IRGA 417).

### **Materiais e métodos**

**Condução do experimento:** Três variedades de arroz em casca (BR-IRGA 410, IRGA 416 e IRGA 417), cultivadas em sistema irrigado por alagamento na Estação Experimental do Arroz (EEA) do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) (29°57' S e 51°06' O), safra 2010/2011, foram coletadas imediatamente após a secagem por método intermitente. As amostras foram subdivididas em frações de aproximadamente 1 kg, fechadas em sacaria de algodão, identificadas e acondicionadas aleatoriamente em câmaras herméticas com diferentes temperaturas controladas em 0,5; 20 e 35°C no Núcleo de Pesquisa em Pós-Colheita da Universidade Federal de Santa Maria. As amostragens e análises foram realizadas nos intervalos de 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após o início do armazenamento em três repetições.

**Beneficiamento do arroz:** Em máquina testadora de arroz (MT, Suzuki), cerca de 100 g de arroz foi descascado, polido e classificado em cada operação. Os grãos de arroz polido remanescentes no *trieur* (inteiros) e no cocho (quebrados) foram pesados para cálculo do rendimento em porcentagem, sendo reservados apenas os grãos inteiros para sequencia de análises.

**Moagem e peneiramento:** Os grãos inteiros obtidos no beneficiamento do arroz foram moídos em micromoinho (MA-630, Marconi) e as frações moídas foram peneiradas através de peneira com abertura de 300 µm.

**Composição centesimal:** Foram determinados os teores de umidade, matéria mineral, proteína bruta e fibra alimentar de acordo com métodos analíticos propostos pela AOAC (2000). Os lipídios foram quantificados pelo método descrito por Bligh e Dyer (1959) e o teor de carboidratos estimado a partir da diferença de 100 menos os demais parâmetros analisados, citados anteriormente.

Compostos fenólicos: Os compostos fenólicos solúveis totais foram extraídos das amostras por uma metodologia modificada a partir de Iqbal et al. (2005) e Pérez-Jiménez e Saura-Calixto (2005), com sucessivas etapas de homogeneização em metanol 80%, metanol 80% pH 2,0 e acetona 70%, seguidas de agitação, centrifugação e separação do sobrenadante. A concentração dos compostos fenólicos extraídos foi avaliada pela metodologia de Singleton et al. (1999), a partir da diluição de uma alíquota do extrato (sobrenadante), adição do reagente Folin-Ciocalteu 0,25 N e solução de carbonato de sódio 7,5%, incubação por 2 horas no escuro e medição da absorbância em espectrofotômetro a 765 nm. Na confecção da curva padrão foi utilizado o ácido gálico e os resultados expressos em equivalente de ácido gálico (EAG) por 100 g de amostra (base seca).

Amido: As frações de amido disponível e resistente foram avaliadas conforme método enzimático descrito no protocolo 996.11 da AOAC (2000), observando as modificações propostas por Walter et al. (2005).

Amilose: Os teores de amilose foram determinados de acordo com a técnica iodométrica descrita por Martinez e Cuevas-Perez (1989), que compreende etapas de dissolução da amostra, gelatinização do amido, acidificação e complexação da amilose pela adição de solução de iodo, possibilitando a leitura da intensidade de coloração azul em espectrofotômetro a 620 nm.

Elongação: Com o auxílio de um paquímetro digital (MIP/E-103, Mitutoyo) foram mensurados o comprimento (C) e a largura (L) de dez grãos de arroz crus e após cozidos pela metodologia descrita por Bassinello et al. (2004). A partir das médias das medições foram calculados os parâmetros propostos por Sood e Siddiq (1980):

- Alteração proporcional =  $[(C \text{ cozido}/L \text{ cozido}) - (C \text{ cru}/L \text{ cru})] / (C \text{ cru}/L \text{ cru})$
- Taxa de alongação =  $C \text{ cozido}/C \text{ cru}$
- Elongação efetiva =  $C \text{ cozido} - C \text{ cru}$ .

Análise de RVA (*Rapid Viscoanalysis*): As propriedades viscoamilográficas foram determinadas através do equipamento Rapid Visco-Analyzer (RVA3D+, Newport Scientific) e de acordo com o método padrão 61-02 da AACC (2000), obtendo-se os parâmetros de temperatura de pasta (°C), viscosidade de pico (RVU), tempo de pico (minutos), quebra (RVU), retrogradação (RVU) e viscosidade final (RVU).

Análise estatística: Em programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) 8.0 para *Windows*, os dados de rendimento, alongação e RVA foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e comparados pelo teste de *Tukey* em nível de 1% de significância para as interações das variáveis do experimento (variedade, temperatura e tempo de



armazenamento do arroz). As médias dos parâmetros com interações significativas entre as variáveis foram dispostas graficamente em função do tempo de armazenamento, com linha de tendência e equação da reta ou função, observando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) mínimo de 0,7. Os resultados da composição química dos grãos também foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste de *Tukey* em nível de 5% de significância, porém tabelados para comparação das médias dos diferentes períodos e temperaturas de armazenamento de cada variedade de arroz.

### **Resultados e discussão**

No beneficiamento das amostras não foram evidenciadas alterações significativas no rendimento de grãos inteiros e quebrados durante o período do experimento, com médias de 58,5 X 10,5; 61,2 X 7,9 e 62,1 X 7,2 em grãos inteiros X quebrados para as variedades BR-IRGA 410, IRGA 416 e 417, respectivamente. Estas diferenças entre as variedades mantiveram-se por 180 dias, independente da temperatura de armazenamento.

Conforme resultados da Tabela 1, as variedades avaliadas no decorrer do período de armazenamento apresentaram teores de minerais variando entre 0,33 e 0,47% da matéria seca do arroz polido. Significativas alterações ( $P < 0,05$ ), com aumento do teor de minerais, ocorreram em razão do maior período e temperatura de armazenamento, sendo constatadas aos 180 dias e a 35°C para a variedade BR-IRGA 410; desde os 60 dias e a 20 e 35°C para a variedade IRGA 416; e aos 120 e 180 dias para a variedade IRGA 417.

Tais resultados sugerem que o armazenamento por maior tempo e em maiores temperaturas favorece a presença de minerais no interior dos grãos de arroz. Embora o incremento dos minerais no arroz armazenado não tenha sido relatado por nenhum outro trabalho, deve estar relacionado à migração destes compostos das camadas externas para o endosperma em decorrência da atividade enzimática que os requer como cofatores enzimáticos. Variações no conteúdo mineral dos grãos de arroz são principalmente influenciadas pelas condições de cultivo, incluindo fertilização e condições do solo, tipo de processamento e características varietais (JULIANO, 1985; MARSHALL e WADSWORTH, 1994).

De acordo com os dados da Tabela 1, as variedades estudadas, BR-IRGA 410, IRGA 416 e IRGA 417, inicialmente apresentaram teores proteicos de 8,30; 9,18 e 9,51%, respectivamente. As variações nestes valores foram constatadas apenas para a variedade BR-IRGA 410, com valores significativamente superiores ( $P < 0,05$ ) no decorrer do período de armazenamento nas três temperaturas testadas.

O conteúdo proteico do arroz polido é de aproximadamente 7,5% (grão cru e base úmida), mas pode oscilar entre 5 e 13%, conforme características varietais. As principais frações proteicas que constituem a proteína do arroz são a albumina, globulina, prolamina e glutenina, esta última representando de 70 a 80% do total, com 16,8% de nitrogênio e teores consideráveis do aminoácido essencial, e limitante, lisina (NAVES, 2007). Embora a proteína não seja o componente mais usual para predizer a qualidade culinária do arroz, variedades de arroz com baixo conteúdo proteico geralmente apresentam maior adesividade entre os grãos cozidos (JULIANO, 1985).

Diversos trabalhos relataram que o conteúdo proteico do arroz não é alterado no armazenamento, mas que as proteínas apresentam aumento no número de ligações dissulfeto entre as cadeias polipeptídicas, promovendo maior interação proteica, expressivo aumento no peso molecular, redução na solubilidade e amenização de aroma sulfuroso indesejável, característico no arroz novo (CHRASTIL, 1990; CHRASTIL e ZARINS, 1992; ZHOU et al., 2002). Contraditoriamente, é relatado aumento de aminoácidos livres, principalmente nas camadas externas do grão, que servem de substratos para reações de Maillard, com alterações de cor no arroz armazenado (DHALIWAL et al., 1991; ZHOU et al., 2002).

Nas amostras armazenadas, os teores de lipídios e fibra alimentar não foram alterados significativamente ( $P > 0,05$ ) durante o armazenamento, sendo constatados valores inferiores de lipídios na variedade BR-IRGA 410 e de fibra alimentar na IRGA 416 (Tabela 1).

Os conteúdos de lipídios e fibra no arroz polido são baixos, normalmente menos de 1%, visto que estes componentes encontram-se nas camadas periféricas do grão, sendo removidos no beneficiamento. Cerca de 80% dos lipídios do grão de arroz estão no farelo, que depois de polido mantém aproximadamente 20% dos lipídios, constituídos principalmente dos ácidos graxos insaturados oleico e linoleico. Quanto à fibra alimentar, embora a maior parte deste componente seja removida no polimento, a fração remanescente é composta principalmente de hemicelulose e pectina (NAVES, 2007).

A contribuição dos lipídios na qualidade culinária ainda não é bem esclarecida, pois quando removidos previamente à cocção, não afetam a solubilidade do arroz cozido, porém quando removidos previamente ao armazenamento, retardam o processo de envelhecimento, com menor formação de aroma e maior brancura nos grãos. Embora sem afetar a solubilidade, as propriedades viscoamilográficas são normalmente relacionadas com a complexação entre amilose e ácidos graxos (ZHOU et al., 2002).

Alguns trabalhos que constataram redução do conteúdo lipídico do arroz durante o armazenamento, justificaram pela formação de produtos da oxidação lipídica, tais como

propanal, pentanal e hexanal, que caracterizam o aroma de arroz velho. Dentre estes compostos, o hexanal, formado a partir do ácido linoleico, é considerado o principal responsável pelo aroma de arroz velho (TSUZUKI et al., 1981).

A estabilidade dos lipídios no arroz é comprometida pela ação de fosfolipases, injúrias mecânicas e alta temperatura, que destroem as membranas celulares, iniciando a hidrólise em ácidos graxos livres e glicerol pela ação das lipases. Outro processo que envolve alterações nos lipídios durante o armazenamento do arroz é a oxidação em hidroperóxidos, mais comuns nas camadas externas dos grãos, onde ocorre menor concentração do amido, já que este se associa aos lipídios e exerce um efeito protetor contra a hidrólise e oxidação (ZHOU et al., 2002).

Os nutrientes não estão uniformemente distribuídos no grão, nas camadas externas ocorrem maiores concentrações de proteínas, lipídios, fibras, minerais e vitaminas, enquanto que o endosperma é composto basicamente por carboidratos (cerca de 80%), sendo que quase a totalidade destes carboidratos é representada por amido. Desta maneira, o polimento do grão integral provoca perdas mais consideráveis dos nutrientes das camadas externas (NAVES, 2007; WALTER, 2009).

Pode-se observar na Tabela 1, que os teores de carboidratos totais foram alterados significativamente ( $P < 0,05$ ) apenas para a variedade BR-IRGA 410, na qual se observou diminuição neste componente no decorrer do armazenamento nas três temperaturas testadas. Esta diminuição provavelmente está atrelada ao incremento no conteúdo proteico observado para os grãos desta variedade.

No entanto, a alteração no teor de carboidratos totais para a variedade BR-IRGA 410 não refletiu em alteração no teor de amido disponível. Inicialmente, os teores de amido disponível foram de 87,38; 86,23 e 86,79 para as variedades IRGA 410, IRGA 416 e IRGA 417, respectivamente, e não apresentaram variação significativa ( $P > 0,05$ ) no decorrer do armazenamento (Tabela 2).

O amido no arroz é formado por dois tipos de polímeros, amilose e amilopectina. O primeiro, correspondente à fração linear, é de grande interesse no processamento e tecnologia do arroz e diretamente relacionada com a qualidade culinária do arroz, sendo que a proporção presente no grão é utilizada para predizer seu comportamento culinário: Quanto maior, mais secos e soltos apresentam-se os grãos cozidos (CUEVAS e FITZGERALD, 2008; NAVES, 2007). Já a maciez e aglutinação dos grãos cozidos são inversamente correlacionadas com o teor de amilose, sendo que baixo teor de amilose confere arroz aguado no cozimento (BASSINELLO et al., 2004).

Quantidades intermediárias e altas de amilose definem a aceitabilidade culinária de diversas variedades de arroz, no caso das variedades de arroz não glutinoso, estas constituem a maior parte do arroz consumido no mundo, apresentando entre 8 e 37% de amilose, embora a maioria tenha de 13 a 32% (JULIANO, 1985; MARSHALL e WADSWORTH, 1994).

As variedades de arroz, IRGA 416, BR-IRGA-410 e IRGA 417, são caracterizadas por apresentarem conteúdo de amilose baixo (até 19%), intermediário (entre 20 e 24%) e alto (mais de 25%), respectivamente (COFFMAN e JULIANO, 1987; STORCK, 2004). Os resultados expostos na Tabela 2 demonstram que, quanto ao teor de amilose, as variedades foram coerentes com a sua classificação.

O efeito do armazenamento sobre os teores de amilose foi constatado em maiores períodos e temperaturas de armazenamento, com aumento significativo ( $P < 0,05$ ) para a variedade BR-IRGA 410 no decorrer do armazenamento e, principalmente, em maiores temperaturas. Já a variação do conteúdo de amilose na variedade IRGA 416 foi verificada no armazenamento a 35°C e aos 180 dias de armazenamento entre as diferentes temperaturas. Enquanto que a variedade IRGA 417 demonstrou maior conteúdo de amilose para o armazenamento a 35°C, mas apenas após 180 dias.

O discreto aumento nos conteúdos de amilose sugere que os grãos sofreram alterações na conformação estrutural do grânulo de amido, com aumento das interações entre as cadeias de amido, deixando o grânulo mais organizado. De acordo com Zhou et al. (2002), no armazenamento do arroz não ocorrem significativas alterações nos conteúdos de amido e amilose, pois pequenas alterações na proporção amilose/amilopectina, muitas vezes sequer são constatadas pelos métodos analíticos convencionais.

O teor de amido resistente também aumentou no armazenamento das variedades BR-IRGA 410 e IRGA 417 a 35°C, com distinção entre as temperaturas de armazenamento aos 120 e 180 dias, enquanto que não foram observadas alterações para a variedade IRGA 416 (Tabela 2).

O aumento nos teores de amido resistente sugerem a ocorrência de alterações estruturais e maior insolubilidade dos constituintes dos grãos, devido às interações entre as cadeias de amido, de ácidos graxos com amido e menor acesso para enzimas hidrolíticas. Rehman (2006) descreveu que as alterações estruturais nos grãos os tornam mais resistentes à hidrólise, principalmente no armazenamento por longos períodos e maiores temperaturas, provocando redução de açúcares solúveis, da digestibilidade proteica e do amido.

Independente das alterações no teor amido resistente no decorrer do período de armazenamento, constatou-se que quanto maior o teor de amilose, também foi maior o teor de

amido resistente. Tal constatação também foi descrita no trabalho de Helbig et al. (2007), que relataram maiores teores de amido resistente no grão cru para amostras com maiores teores de amilose, mas que, após cozidos e resfriados, os grãos com menor conteúdo de amilose formaram maior quantidade proporcional de amido resistente.

O amido resistente é denominado como a soma do amido e produtos de sua degradação não absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis. A esta fração de amido, têm-se atribuído diversos efeitos benéficos no organismo humano, onde compartilham de efeitos da fração insolúvel, sendo também fermentado pela microflora com produção de gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  e  $\text{CH}_4$ ) e ácidos graxos de cadeia curta (butirato, propionato e acetato) que auxiliam na manutenção do epitélio intestinal, prevenção de doenças e supressão de células cancerosas (WALTER et al., 2005).

A concentração de compostos fenólicos das amostras armazenadas variou entre 22,01 e 25,78 mg% EAG, com tendência de aumento no decorrer do período de armazenamento e em maiores temperaturas, mas de maneira significativa ( $P < 0,05$ ) para a variedade BR-IRGA 410 armazenada a 0,5 e 35°C; IRGA 416 a 20 e 35°C, com diferença entre as temperaturas de armazenamento aos 120 dias; e IRGA 417 aos 180 dias de armazenamento, com maior teor de compostos fenólicos nas amostras mantidas a 35°C, seguidas de 20 e 0,5°C (Tabela 1).

Tais valores são semelhantes aos descritos por Walter (2009), que encontrou cerca de 25 mg% EAG na matéria seca de grãos de arroz polidos. Outras pesquisas indicam que a distribuição de compostos fenólicos muda durante o armazenamento de arroz, de maneira geral com aumento no conteúdo de ácidos fenólicos em maiores períodos e temperaturas de armazenamento, provavelmente como resultado da liberação enzimática ou não enzimática de ácidos fenólicos ligados, que também interferem nas características culinárias do arroz mais velho (TSUGITA et al., 1983; ZHOU et al., 2004).

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários dos vegetais, com diferentes funções nas plantas. Eles podem ser classificados em diferentes grupos, sendo os ácidos fenólicos, os flavonóides e os taninos os principais na dieta (KING e YOUNG, 1999). No arroz, diversos compostos fenólicos já foram identificados, com destaque para os ácidos hidroxicinâmicos, representados principalmente pelo ácido ferrúlico e p-coumarínico (TIAN et al., 2004; ZHOU et al., 2004). Outros compostos identificados no arroz incluem os ácidos vanílico, siríngico, caféico, gálico, protocatéquico, hidroxibenzóico, sinápico e clorogênico, e os ésteres 6'-O-(E)-feruloilsacarose, 6'-O-(E)-sinapoilsacarose e  $\gamma$ -orizanol (TIAN et al., 2004; ZHOU et al., 2002; ZHOU et al., 2004).

Além de reconhecidas funções nos vegetais, pesquisas têm demonstrado o efeito benéfico de compostos fenólicos de diferentes fontes, inclusive do arroz, na saúde humana. Este efeito decorre de sua ação antioxidante, auxiliando na prevenção de danos celulares e de doenças crônicas, que incluem doenças cardiovasculares, envelhecimento, diabetes e câncer (XIA et al., 2003; HYUN e CHUNG, 2004; WALTER, 2009). Neste sentido, o arroz, sendo um dos principais alimentos na dieta de grande parte da população, pode representar importante fonte de antioxidantes ingerida diariamente, embora a concentração desses compostos seja afetada pelo processamento, já que estão associados principalmente ao pericarpo, que é removido durante o processo para obtenção do grão polido (HU et al., 2003; ZHOU et al., 2004; WALTER, 2009).

De maneira geral, os resultados da composição química dos grãos reproduzem alguns trabalhos que buscaram evidências sobre as alterações na qualidade culinária do arroz armazenado e observaram variações muito pequenas em condições normais de armazenamento (MARSHALL e WADSWORTH, 1994; ZHOU et al., 2002).

As dimensões dos grãos das três variedades de arroz testadas foram influenciadas significativamente ( $P < 0,01$ ) pela variedade, tempo e temperatura de armazenamento. A alteração proporcional e taxa de alongação aumentaram progressivamente, de maneira mais pronunciada no armazenamento a  $35^{\circ}\text{C}$  e mais discreta a  $0,5^{\circ}\text{C}$ , com valores maiores de alteração proporcional para a variedade IRGA 417, enquanto que as taxas de alongação foram bastante semelhantes entre as temperaturas e variedades (Figura 1).

Já a alongação efetiva, que corresponde à diferença de comprimento entre o arroz cozido e cru, também apresentou aumento mais pronunciado em maiores períodos e temperaturas de armazenamento, mais expressivo para a variedade IRGA 416, com aparente estabilização a partir da metade do período de armazenamento a  $35^{\circ}\text{C}$ , seguido das variedades IRGA 417 e BR-IRGA 410 (Figura 1).

Aliado ao aumento em comprimento, no decorrer do armazenamento, os grãos de arroz cozidos ficaram mais inteiros e com melhor aparência. Alguns trabalhos que avaliaram as alterações dimensionais de grãos de arroz descreveram resultados semelhantes aos obtidos neste estudo e atribuíram às características varietais, composição química, temperatura, método de preparo e, principalmente, ao período de armazenamento do arroz, sugerindo que o aumento no comprimento dos grãos cozidos é uma característica marcante do envelhecimento deste cereal e decorrente das alterações estruturais intrínsecas (SOOD e SIDDIQ, 1980; FARUQ et al., 2003a).

As propriedades viscoamilográficas representam os índices mais sensíveis do processo de envelhecimento do arroz (SHOWBHAGYA e BATTACHARYA, 2001). Até o momento, os dados viscoamilográficos relatados durante o armazenamento do arroz são bastante inconsistentes, pois apresentam alterações mais pronunciadas nos primeiros períodos e estabilização, ou ainda, alterações contrárias às observadas no início do armazenamento (ZHOU et al., 2003).

Os parâmetros viscoamilográficos avaliados por RVA no decorrer do armazenamento foram todos significativamente ( $P < 0,01$ ) influenciados pela variedade, tempo e temperatura de armazenamento. Conforme gráficos apresentados na Figura 2, os parâmetros de temperatura de pasta e tempo de pico tiveram comportamento gráfico semelhante. Reservadas as diferenças entre as variedades, as amostras armazenadas a 0,5 e 20°C apresentaram apenas diminuição nestes parâmetros, enquanto que redução seguida de aumento foi observada nas amostras mantidas a 35°C. Estas semelhanças estão relacionadas, pois quanto menor a temperatura para a gelatinização do amido, menor o tempo para atingir o pico de viscosidade, e vice versa.

Outros trabalhos que avaliaram as propriedades viscoamilográficas do arroz armazenado também relataram este comportamento nos parâmetros de temperatura de pasta e tempo de pico, atribuindo à presença, orientação e natureza dos lipídios e proteínas da superfície dos grânulos de amido, que quando assumem uma forma mais organizada, requerem maior temperatura e tempo para gelatinização (SHOWBHAGYA e BATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2003). A interação entre as cadeias de proteínas, com formação de ligações dissulfeto, diminui sua interação com o amido e, inicialmente, facilita a gelatinização do amido do arroz armazenado (SODHI et al., 2003; TULYATHAN e LEEHARATANALUK, 2007).

Para o parâmetro de viscosidade, normalmente é relatado aumento e estabilização durante o armazenamento do arroz, embora alguns trabalhos que avaliaram o comportamento viscoamilográfico do arroz por alguns anos, a partir de cinco anos, também relataram redução da viscosidade do arroz armazenado (HAMAKER et al., 1993; SHOWBHAGYA e BATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2002).

O aumento da viscosidade de pico (Figura 2) foi observado nas três variedades de arroz, principalmente em maiores períodos e temperaturas de armazenamento, porém as diferenças varietais ficaram mais evidentes na viscosidade final (Figura 3), onde as variedades com maior teor de amilose apresentaram maior viscosidade final, principalmente no armazenamento a 35°C.

Variedades com maiores teores de amilose são caracterizadas por apresentar maior viscosidade, temperatura de pasta e tempo de pico, pois a conformação estrutural do grânulo é mais organizada (CUEVAS e FITZGERALD, 2008). A pronunciada alteração na viscosidade é um efeito do envelhecimento do arroz associado à interação do amido, principalmente amilose, com outros componentes do grão, em especial com ácidos graxos, sendo que o aumento inicial da viscosidade também é relacionado com o declínio da atividade da enzima  $\alpha$ -amilase (PENTEADO, 1990; SHOWBHAGYA e BATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2003).

A quebra é considerada o parâmetro primário do viscograma, com tendência de diminuir no envelhecimento do arroz, já que os grânulos de amido do arroz armazenado são mais resistentes, organizados e estáveis à ruptura durante a gelatinização (NOOMHORM et al., 1997; ZHOU et al., 2002; ZHOU et al., 2003). No entanto, diversos estudos observaram um aumento na quebra nos primeiros meses de armazenamento do arroz, justificado como um rearranjo entre os constituintes dos grãos, com posterior diminuição e estabilização deste parâmetro na sequência do envelhecimento do arroz (SHOWBHAGYA e BATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2002; ZHOU et al., 2003).

Nas amostras armazenadas a 35°C, onde o processo de envelhecimento foi favorecido, este comportamento foi bastante evidente, enquanto que nas amostras armazenadas a 0,5 e 20°C observou-se apenas aumento da quebra (Figura 3), o que não deve ser interpretado como comprometedor das características culinárias, pois, provavelmente, se o período de armazenamento fosse prolongado estas amostras também apresentariam redução na quebra.

Han e Hamaker (2001) avaliaram dez variedades de arroz e estabeleceram uma relação da quebra com o teor de amilose: Quanto maior o teor de amilose, menor a quebra. Por sua vez, também nos gráficos demonstrados na Figura 3, é possível observar que inicialmente as variedades com maior teor de amilose (BR-IRGA 410 e IRGA 417) apresentaram quebra menor que a variedade IRGA 416, porém o armazenamento a 35°C atribuiu valores de quebra semelhantes a partir de 150 dias.

A retrogradação é considerada o parâmetro mais tradicional da análise viscoamilográfica, com tendência a aumentar no arroz armazenado (SHOWBHAGYA e BATTACHARYA, 2001).

Os resultados descritos na Figura 3 mostram que este parâmetro aumentou progressivamente no decorrer do período de armazenamento, principalmente em maiores temperaturas e, de maneira mais expressiva, para as variedades com maior teor de amilose.



Tais resultados são compatíveis com os descritos por Perdon et al. (1999), que reportaram aumento na retrogradação no decorrer do armazenamento de arroz.

### **Conclusão**

As alterações na composição química dos grãos, quando constatadas, foram bastante sutis e não determinaram as alterações nos parâmetros de alongação, viscoamilográficos e, conseqüentemente, culinários das variedades de arroz estudadas.

O aumento em alguns componentes dos grãos (cinzas, compostos fenólicos, amilose e amido resistente), parâmetros de alongação e alterações nas propriedades viscoamilográficas foram mais expressivos a 35°C, demonstrando que nesta temperatura o processo de envelhecimento é favorecido em relação às demais temperaturas testadas e confere qualidade culinária em menor tempo de armazenamento.

### **Referências**

AACC - American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**. 10th ed. Saint Paul: AACC, 2000.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 17th ed. Gaithersburg: AOAC, 2000.

BASSINELLO, P. Z.; ROCHA, M. S.; COBUCCI, R. M. A. **Avaliação de diferentes métodos de cocção de arroz de terras altas para teste sensorial**. Comunicado Técnico da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, n. 84., 8 p., dez. 2004.

BLIGH, E. C.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, Ottawa, v. 37, n. 8, p. 911-917, aug. 1959.

CHRASIL, J. Protein-starch interaction in rice grains. Influence of storage on oryzenin and starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 38, n. 9, p. 1804-1809, sep. 1990.

CHRASIL, J.; ZARINS, Z. M. Influence of storage on peptide subunit composition of rice oryzenin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 40, n. 6, p. 927-930, jun. 1992.

COFFMAN, W. R.; JULIANO, B. O. Rice. In: OLSON, R. A.; FREY, K. J. (Ed.). **Nutritional quality of cereal grains: Genetic and agronomic improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1987. p. 101-131.

CUEVAS, R. P.; FITZGERALD, M. Linking starch structure to rice cooking quality. **Irrigation Research and Extension Committee Farmer's Newsletter**, n. 177, p. 16-17, summer 2007-2008. Disponível em: <[http://www.irec.org.au/farmer\\_f/pdf\\_177/Linking%20starch%20structure%20to%20rice%20cooking%20quality.pdf](http://www.irec.org.au/farmer_f/pdf_177/Linking%20starch%20structure%20to%20rice%20cooking%20quality.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2009.

DHALIWAL, Y. S.; SEKHON, K. S.; NAGI, H. P. S. Enzymatic activities and rheological properties of stored rice. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, n. 1, p. 18-21, jan. 1991.

ELIAS, M. C. **Pós-colheita de arroz: Secagem, armazenamento e qualidade**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2007. 437 p.

FARUQ, G. et al. Optimization of aging time and temperature for four malaysian rice cultivars. **Pakistan Journal of Nutrition**, Faisalabad, v. 2, n. 3, p. 125-131, may-jun. 2003.

HAMAKER, B. R., SIEBENMORGEN, T. J.; DILDAY, R. H. Ageing of rice in the first six months after harvest. **Arkansas Farm Research**, New York, v. 43, n. 1, p. 8-9, jan-feb. 1993.

HAN, X. Z.; HAMAKER, B. R. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 279-284, nov. 2001.

HELBIG, E. et al. Efeitos da amilose e do processamento na formação e estabilidade do amido resistente em arroz. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 10, n. 4, p. 296-301, out-dez. 2007.

HU, C. et al. Black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 18, p. 5271-5277, aug. 2003.

HYUN, J. W.; CHUNG, H. S. Cyanidin and malvidin from *Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo mediate cytotoxicity against human monocytic leukemia cells by arrest of G2/M phase and induction of apoptosis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 8, p. 2213-2217, apr. 2004.

IQBAL, S.; BHANGER, M. I.; ANWAR, F. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. **Food Chemistry**, Oxford, v. 93, n.2, p. 265-272, nov. 2005.

JULIANO, B. O. **Rice: Chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985. 774 p.

KING, A.; YOUNG, G. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemical. **Journal of the American Dietetic Association**, New York, v. 99, n. 2, p. 213-218, feb. 1999.

MARSHALL, W. E.; WADSWORTH, J. I. **Rice Science and Technology**. New Orleans: Marcel Dekker, 1994. 470 p.

MARTÍNEZ, C.; CUEVAS-PEREZ, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1989. 75 p.

NAVES, M. M. V. Características químicas e nutricionais do arroz. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 25, n. 1, p. 51-60, jan-jul. 2007.

NOOMHORM, A.; KONGSEREE, N.; APINTANAPONG, N. Effect of ageing on the quality of glutinous rice crackers. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 74, n. 1, p. 12-15, jan-feb. 1997.

PENTEADO, M. F. **Qualidade de arroz (*Oryza sativa* L.), armazenado em atmosfera modificada, em silo subterrâneo**. 1990. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

PERDON, A. A. et al. Starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. **Journal of Food Science**, Malden, v. 64, n. 5, p. 828-832, sep. 1999.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. Literature data may underestimate the actual antioxidant capacity of cereals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, n. 12, p. 5036-5040, jun. 2005.

REHMAN, Z. U. Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals. **Food Chemistry**, Oxford, v. 95, n. 1, p. 53-57, mar. 2006.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, Oxford, v. 299, n. 1, p. 152-178, jan. 1999.

SODHI, N. S. et al. Changes in physico-chemical, thermal, cooking and textural properties of rice during aging. **Journal of Food Processing and Preservation**, Malden, v. 27, n. 5, p. 387–400, dec. 2003.

SOOD, G. B.; SIDDIQ, A. E. Studies on component quality attributes of basmati rice, *Oryza sativa* L. **Z. Plant Breeding**, Berlin, v. 84, n. 4, p. 294-301, 1980.

SOWBHAGYA, C. M.; BHATTACHARYA, K. R. Changes in pasting behaviour of rice during ageing. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 115–124, sep. 2001.

STORCK, C. R. **Variação na composição química de grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos**. 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

TIAN, S.; NAKAMURA, K.; KAYAHARA, H. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 15, p. 4808-4813, jul. 2004.

TSUGITA, T.; OHTA, T.; KATO, H. Cooking flavour and texture of rice stored under different conditions. **Agricultural and Biological Chemistry**, Tokyo, v. 47, n. 3, p. 543–549, mar. 1983.

TSUZUKI, E.; TANAKA, K.; SHIDA, S. Studies on the characteristics of scented rice. VIII. Effect of storage conditions on some fatty acid compositions and flavour components in rice grains. **Kenkyu Hokoku Miyazaki Daigaku Nogakubu**, Tokyo, v. 28, p. 31-37, 1981.

TULYATHAN, V.; LEEHARATANALUK, B. Changes in quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105 during storage. **Journal of Food Biochemistry**, Malden, v. 31, n. 3, p. 415-425, jun. 2007.

ZHOU, Z. et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 65–78, jan. 2002.

\_\_\_\_\_. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. **Food Research International**, Oxford, v. 36, n. 6, p. 625–634, jan. 2003.

\_\_\_\_\_. The distribution of phenolic acids in rice. **Food Chemistry**, Oxford, v. 87, n. 3, p. 401-406, sep. 2004.

XIA, M. et al. Supplementation of diets with the black rice pigment fraction attenuates atherosclerotic plaque formation in apolipoprotein E deficient mice. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 133, n. 3, p. 744-751, mar. 2003.

WALTER, M; SILVA, L. P.; PERDOMO, D. M. X. Amido disponível e resistente em alimentos: Adaptação do método da AOAC 996.11. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 16, n. 1, p. 39-43, jan-mar. 2005.

WALTER, M. **Composição química e propriedades antioxidantes de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto**. 2009. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

Tabela 1 – Composição química dos grãos de três variedades de arroz irrigado armazenados em casca e posteriormente polidos (continua)

Componente (% MS*)	Dias	BR-IRGA 410			IRGA 416			IRGA 417		
		0,5°C	20°C	35°C	0,5°C	20°C	35°C	0,5°C	20°C	35°C
Matéria mineral	0	0,38±0,03 NS ns	0,38±0,03 NS ns	0,38±0,03 NS b	0,33±0,02 NS ns	0,33±0,02 NS b	0,33±0,02 NS b	0,39±0,02 NS ns	0,39±0,02 NS ns	0,39±0,02 NS ns
	60	0,39±0,02 NS ns	0,36±0,03 NS ns	0,42±0,03 NS ab	0,33±0,02 B ns	0,36±0,02 AB ab	0,40±0,02 A a	0,37±0,01 NS ns	0,39±0,01 NS ns	0,42±0,03 NS ns
	120	0,36±0,03 NS ns	0,40±0,06 NS ns	0,44±0,04 NS ab	0,35±0,02 B ns	0,37±0,02 AB ab	0,41±0,01 A a	0,36±0,02 B ns	0,39±0,01 AB ns	0,43±0,03 A ns
	180	0,40±0,00 B ns	0,42±0,03 B ns	0,47±0,01 A a	0,34±0,02 B ns	0,37±0,02 AB a	0,40±0,01 A a	0,37±0,00 B ns	0,40±0,01 B ns	0,45±0,02 A ns
Lipídios	0	0,48±0,0 NS ns	0,48±0,02 NS ns	0,48±0,02 NS ns	0,66±0,04 NS ns	0,66±0,04 NS ns	0,66±0,04 NS ns	0,60±0,03 NS ns	0,60±0,03 NS ns	0,60±0,03 NS ns
	60	0,52±0,07 NS ns	0,52±0,09 NS ns	0,50±0,06 NS ns	0,64±0,06 NS ns	0,66±0,03 NS ns	0,65±0,05 NS ns	0,60±0,01 NS ns	0,59±0,01 NS ns	0,62±0,05 NS ns
	120	0,52±0,09 NS ns	0,49±0,05 NS ns	0,54±0,10 NS ns	0,64±0,03 NS ns	0,60±0,02 NS ns	0,61±0,03 NS ns	0,61±0,02 NS ns	0,61±0,02 NS ns	0,61±0,04 NS ns
	180	0,54±0,06 NS ns	0,54±0,06 NS ns	0,56±0,04 NS ns	0,62±0,03 NS ns	0,66±0,04 NS ns	0,65±0,04 NS ns	0,62±0,02 NS ns	0,61±0,05 NS ns	0,64±0,02 NS ns
Proteínas	0	8,30±0,05 NS b	8,30±0,05 NS b	8,30±0,05 NS c	9,18±0,13 NS ns	9,18±0,13 NS ns	9,18±0,13 NS ns	9,51±0,28 NS ns	9,51±0,28 NS ns	9,51±0,28 NS ns
	60	8,72±0,17 NS a	8,66±0,24 NS a	8,77±0,12 NS a	9,10±0,10 NS ns	9,48±0,18 NS ns	9,41±0,09 NS ns	9,30±0,21 NS ns	9,55±0,19 NS ns	9,18±0,51 NS ns
	120	8,50±0,02 NS ab	8,44±0,06 NS ab	8,49±0,13 NS bc	9,08±0,11 NS ns	9,28±0,13 NS ns	9,25±0,06 NS ns	9,46±0,08 NS ns	9,18±0,24 NS ns	9,33±0,14 NS ns
	180	8,60±0,12 NS a	8,60±0,03 NS ab	8,71±0,10 NS ab	9,28±0,13 NS ns	9,22±0,28 NS ns	9,65±0,59 NS ns	9,06±0,32 NS ns	9,35±0,43 NS ns	9,31±0,21 NS ns

\* MS = matéria seca.

Valores expressos como média ± desvio padrão seguidos por letras que indicam diferença estatística significativa ou não significativa (ns) em nível de 5% pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas correspondem às diferenças estatísticas entre as médias das linhas e minúsculas das colunas.

Tabela 1 – Composição química dos grãos de três variedades de arroz irrigado armazenados em casca e posteriormente polidos (conclusão)

Componente (% MS*)	Dias	BR-IRGA 410			IRGA 416			IRGA 417		
		0,5°C	20°C	35°C	0,5°C	20°C	35°C	0,5°C	20°C	35°C
Fibra alimentar	0	1,03±0,03	1,03±0,03	1,03±0,03	0,89±0,02	0,89±0,02	0,89±0,02	1,09±0,11	1,09±0,11	1,09±0,11
		NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns
	60	1,04±0,02	1,06±0,03	1,07±0,03	0,90±0,03	0,89±0,04	0,88±0,05	1,09±0,05	1,09±0,04	1,06±0,05
		NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns
	120	1,06±0,01	1,07±0,03	1,07±0,05	0,88±0,03	0,87±0,04	0,91±0,02	1,13±0,15	1,02±0,03	1,10±0,02
		NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns
	180	1,05±0,06	1,04±0,05	1,08±0,07	0,93±0,03	0,94±0,03	0,92±0,06	1,07±0,02	1,13±0,07	1,11±0,08
		NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns
Carboidratos totais	0	89,81±0,06	89,81±0,06	89,81±0,06	88,93±0,18	88,93±0,18	88,93±0,18	88,40±0,35	88,40±0,35	88,40±0,35
		NS a	NS a	NS a	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns
	60	89,32±0,14	89,40±0,23	89,24±0,14	89,03±0,16	88,62±0,21	88,66±0,15	88,64±0,17	88,37±0,20	88,73±0,57
		NS b	NS b	NS bc	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns
	120	89,55±0,07	89,59±0,03	89,47±0,06	89,05±0,13	88,88±0,19	88,82±0,04	88,43±0,12	88,80±0,25	88,53±0,17
		NS ab	NS ab	NS b	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns
	180	89,41±0,16	89,41±0,09	89,18±0,11	88,84±0,15	88,81±0,28	88,37±0,55	88,89±0,30	88,51±0,41	88,50±0,18
		NS b	NS b	NS c	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns	NS ns
Compostos fenólicos (mg EAG**)	0	22,78±0,01	22,78±0,01	22,78±0,01	23,05±0,09	23,05±0,09	23,05±0,09	23,13±0,45	23,13±0,45	23,13±0,45
		NS ab	NS ns	NS b	NS ns	NS b	NS b	NS ns	NS ns	NS ns
	60	22,01±0,16	22,87±0,45	22,95±0,21	23,82±1,23	23,43±0,55	23,15±0,62	22,73±0,42	23,32±0,17	23,40±0,46
		NS b	NS ns	NS ab	NS ns	NS b	NS b	NS ns	NS ns	NS ns
	120	23,09±0,76	22,86±0,62	23,07±0,52	23,65±0,54	25,28±0,14	25,78±0,32	22,65±0,29	23,51±0,57	23,70±0,43
		NS ab	NS ns	NS ab	B ns	A a	A a	NS ns	NS ns	NS ns
	180	23,49±0,48	22,72±0,40	23,68±0,28	23,71±0,47	25,17±0,57	24,31±0,73	22,43±0,43	22,83±0,72	23,74±0,09
		NS a	NS ns	NS a	NS ns	NS a	NS b	B ns	AB ns	A ns

\* MS = matéria seca.

\*\* EAG = equivalente ácido gálico.

Valores expressos como média ± desvio padrão seguidos por letras que indicam diferença estatística significativa ou não significativa (ns) em nível de 5% pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas correspondem às diferenças estatísticas entre as médias das linhas e minúsculas das colunas.

Tabela 2 – Frações de amido dos grãos de três variedades de arroz irrigado armazenados em casca e posteriormente polidos

Fração (% MS*)	Dias	BR-IRGA 410			IRGA 416			IRGA 417		
		0,5°C	20°C	35°C	0,5°C	20°C	35°C	0,5°C	20°C	35°C
Amido disponível	0	87,38±0,24 NS ns	87,38±0,24 NS ns	87,38±0,24 NS ns	86,23±0,12 NS ns	86,23±0,12 NS ns	86,23±0,12 NS ns	86,79±0,19 NS ns	86,79±0,19 NS ns	86,79±0,19 NS ns
	60	87,42±0,15 NS ns	87,41±0,13 NS ns	87,47±0,19 NS ns	86,22±0,08 NS ns	86,28±0,14 NS ns	86,36±0,14 NS ns	86,82±0,22 NS ns	86,01±0,14 NS ns	86,04±0,19 NS ns
	120	87,52±0,21 NS ns	87,45±0,26 NS ns	87,36±0,18 NS ns	86,32±0,14 NS ns	86,27±0,02 NS ns	86,28±0,20 NS ns	86,92±0,18 NS ns	86,02±0,13 NS ns	85,98±0,17 NS ns
	180	87,48±0,22 NS ns	87,33±0,15 NS ns	87,27±0,23 NS ns	86,37±0,20 NS ns	86,25±0,11 NS ns	86,34±0,11 NS ns	86,87±0,32 NS ns	85,92±0,42 NS ns	86,06±0,22 NS ns
Amido resistente	0	0,15±0,01 NS ns	0,15±0,01 NS ns	0,15±0,01 NS b	0,07±0,03 NS ns	0,07±0,03 NS ns	0,07±0,03 NS ns	0,23±0,02 NS ns	0,23±0,02 NS ns	0,23±0,02 NS b
	60	0,16±0,01 NS ns	0,18±0,02 NS ns	0,19±0,01 NS a	0,05±0,00 NS ns	0,07±0,03 NS ns	0,08±0,02 NS ns	0,24±0,02 NS ns	0,26±0,01 NS ns	0,24±0,02 NS ab
	120	0,17±0,00 B ns	0,19±0,01 A ns	0,19±0,01 A a	0,07±0,02 NS ns	0,07±0,01 NS ns	0,08±0,03 NS ns	0,22±0,01 B ns	0,25±0,01 AB ns	0,27±0,01 A ab
	180	0,17±0,01 B ns	0,18±0,01 AB ns	0,19±0,02 A a	0,08±0,02 NS ns	0,08±0,02 NS ns	0,09±0,01 NS ns	0,23±0,01 B ns	0,25±0,02 AB ns	0,27±0,00 A a
Amilose	0	21,73±0,26 NS b	21,73±0,26 NS b	21,73±0,26 NS b	17,15±0,07 NS ns	17,15±0,07 NS ns	17,15±0,07 NS b	25,51±0,19 NS ns	25,51±0,19 NS ns	25,51±0,19 NS ns
	60	22,08±0,03 B ab	22,63±0,20 A a	22,65±0,18 A a	17,16±0,05 NS ns	17,22±0,09 NS ns	17,22±0,09 NS ab	25,53±0,07 NS ns	25,48±0,15 NS ns	25,53±0,17 NS ns
	120	22,04±0,09 C ab	22,56±0,04 B a	22,86±0,06 A a	17,20±0,08 NS ns	17,24±0,06 NS ns	17,28±0,07 NS ab	25,33±0,07 NS ns	25,45±0,16 NS ns	25,59±0,10 NS ns
	180	22,18±0,04 C a	22,48±0,12 B a	22,93±0,04 A a	17,19±0,05 B ns	17,27±0,03 AB ns	17,37±0,04 A a	25,35±0,09 B ns	25,50±0,08 B ns	25,83±0,07 A ns

\* MS = matéria seca.

Valores expressos como média ± desvio padrão seguidos por letras que indicam diferença estatística significativa ou não significativa (ns) em nível de 5% pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas correspondem às diferenças estatísticas entre as médias das linhas e minúsculas das colunas.



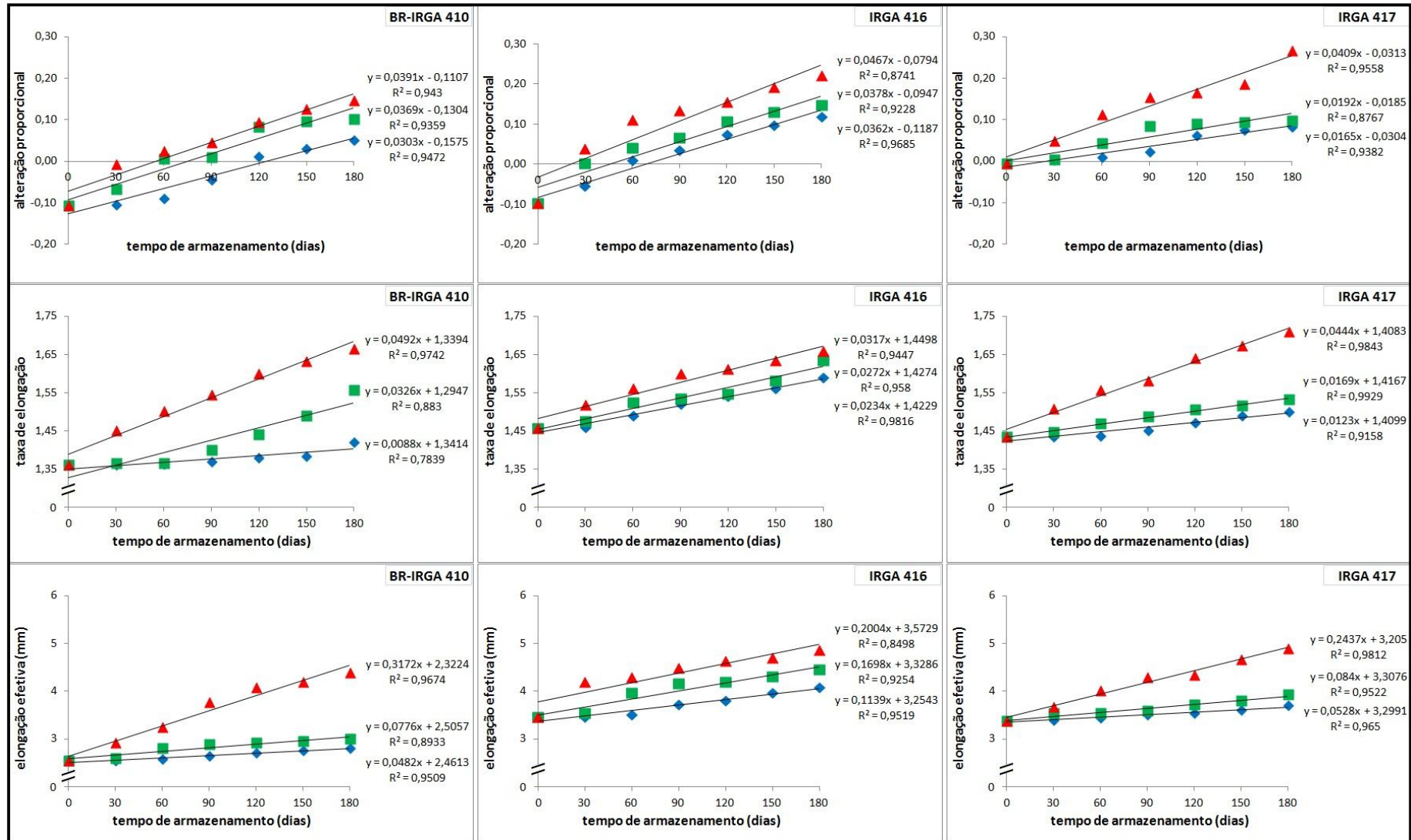


Figura 1 – Parâmetros de alongação de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes temperaturas (♦ 0,5°C, ■ 20°C e ▲ 35°C).

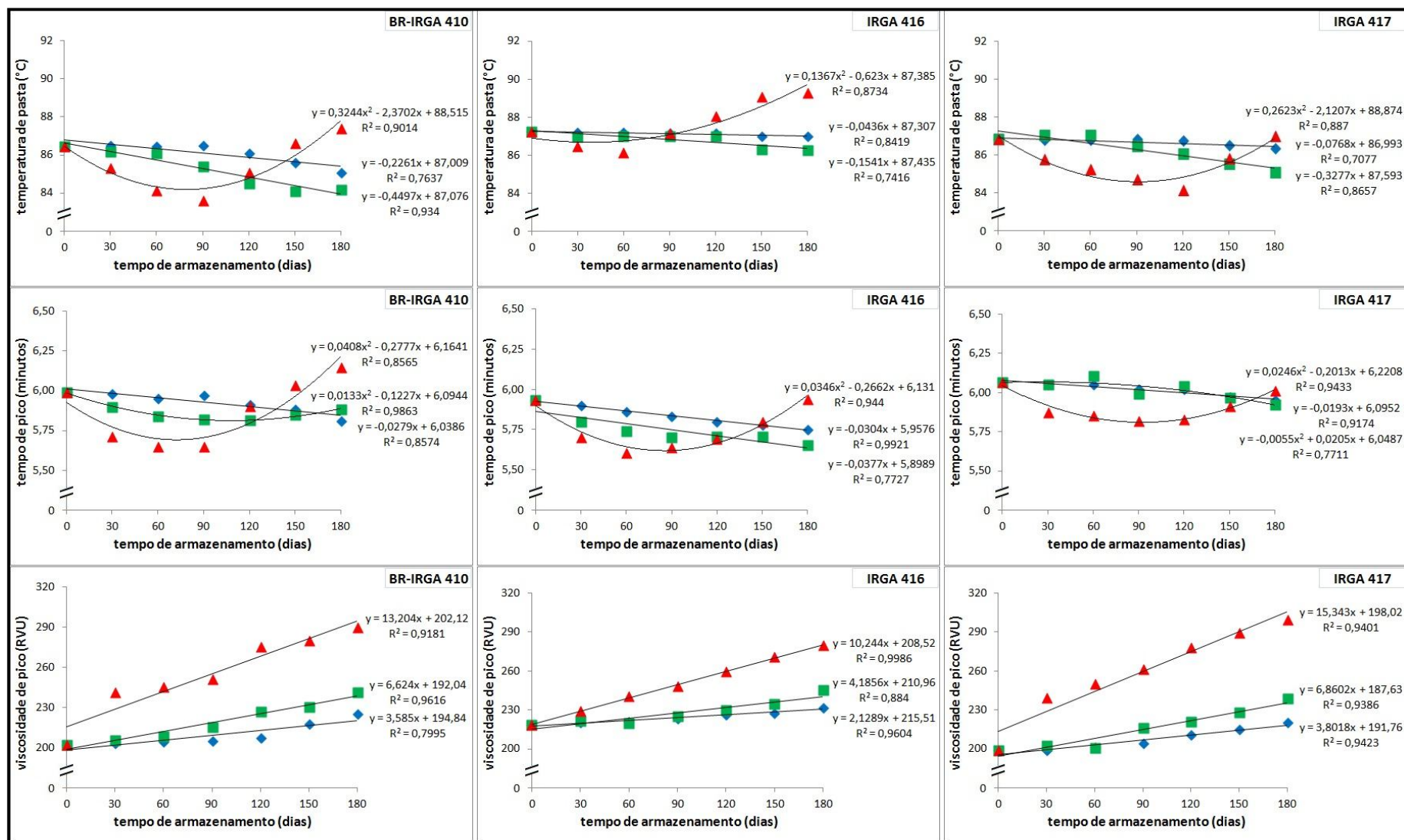


Figura 2 – Parâmetros de RVA (temperatura de pasta, tempo de pico e viscosidade de pico) de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes temperaturas (♦ 0,5°C, ■ 20°C e ▲ 35°C).

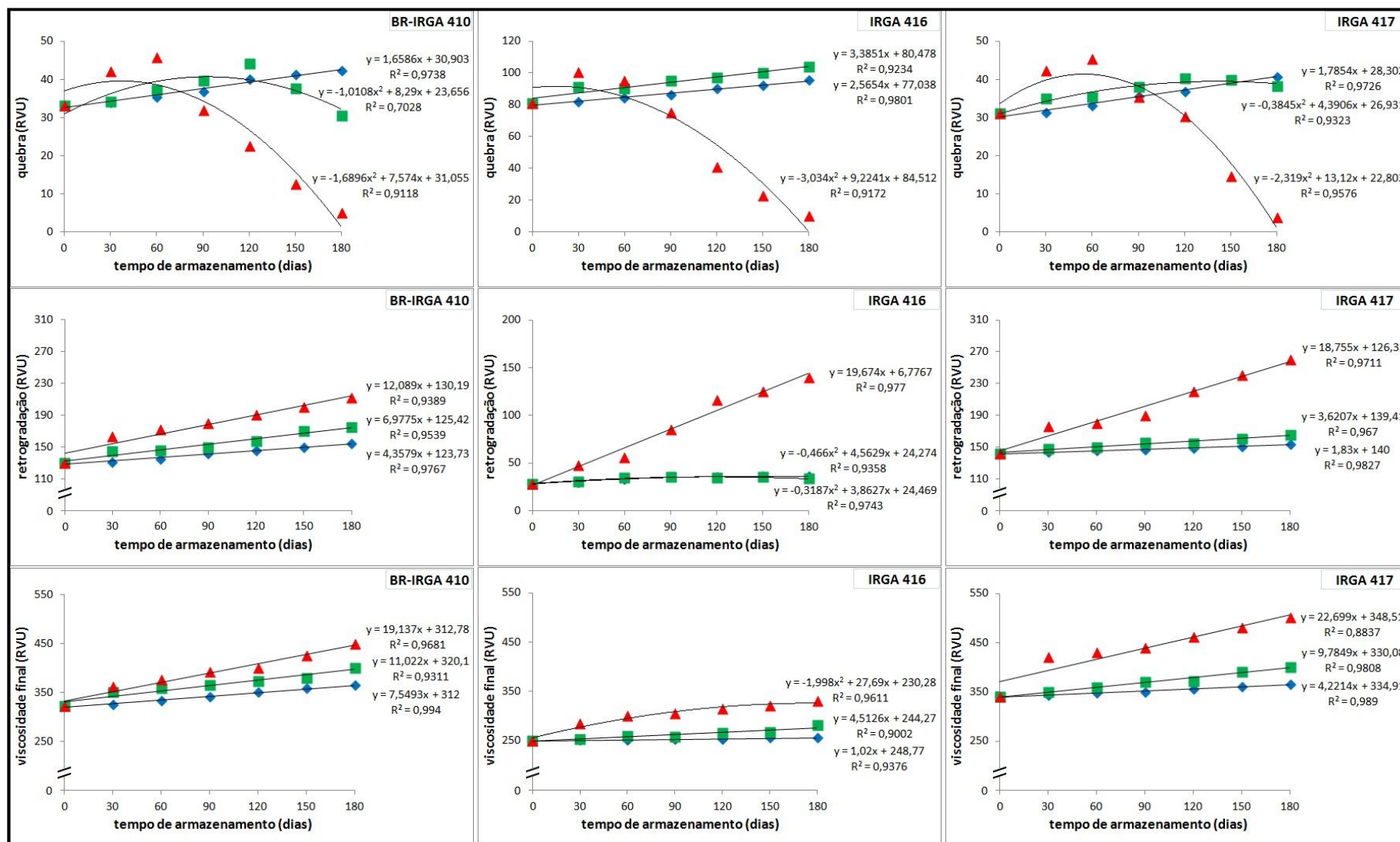


Figura 3 – Parâmetros de RVA (quebra, retrogradação e viscosidade final) de três variedades de arroz irrigado armazenadas sob diferentes temperaturas (♦ 0,5°C, ■ 20°C e ▲ 35°C).

## DISCUSSÃO GERAL

O conceito de qualidade do arroz é muito diverso, por exemplo, na Tailândia são mais apreciados grãos longos, finos e translúcidos que resultam em produtos macios, soltos e aromáticos quando cozidos, enquanto os consumidores do nordeste deste mesmo país já preferem um arroz mais viscoso, cozido no vapor após permanecer embebido em água por algumas horas. No Japão, o arroz é avaliado principalmente pela viscosidade e brilho, observando características que são requisitos para elaboração de produtos a partir do arroz. Nas Filipinas, as características desejáveis incluem arroz macio após resfriamento, branco, moderadamente aromático, ligeiramente viscoso, brilhante e com sabor de moderado a forte. Na Índia o arroz deve ter aroma característico do processo de envelhecimento e apresentar grãos bastante soltos depois de cozidos. No Senegal, arroz branco quebrado é preferido ao arroz inteiro, resultando em grandes volumes de importações deste co-produto. Nos Estados Unidos, os critérios de qualidade que determinam a preferência do arroz são bem diversos e se baseiam no tamanho de grão, uniformidade, cor e translucidez, rendimento, limpeza, sanidade, pureza, cozimento e características para processamento (PENTEADO, 1990; LUZ e TREPTOW, 1998; SODHI et al., 2003; SOWBHAGYA e BHATTACHARYA, 2001).

Das características de qualidade exigidas pelos consumidores brasileiros e extensamente discutidas nos artigos apresentados, ressalta-se a qualidade culinária que, para as variedades de arroz cultivadas no Brasil, depende fundamentalmente do período e das condições de armazenamento. A qualidade culinária orienta o desenvolvimento de novas variedades de arroz, principalmente através de testes de cocção, utilizados em programas de melhoramento genético e indústrias de beneficiamento como forma de monitorar a soltabilidade dos grãos cozidos e o comportamento dos produtos no decorrer de períodos de armazenamento (BASSINELLO et al., 2004; LIMA et al., 2006; SOSBAI, 2010).

A temperatura foi comprovadamente o principal agente da aceleração do processo de envelhecimento do arroz, porém nem todas as transformações decorrentes de um envelhecimento mais intenso são desejáveis aos grãos de arroz destinados ao polimento, que ficam mais amarelados, avermelhados, escuros e opacos (artigos 1 e 4).

Aliado às desvantagens sensoriais na aparência dos grãos, determinantes na escolha do produto em nível comercial, o processo de envelhecimento a 35°C é preocupante em relação ao metabolismo fisiológico dos grãos e organismos associados, que respiram com consumo de O<sub>2</sub>, formação de CO<sub>2</sub> e liberação de calor, que podem acarretar em significativa perda de peso

na massa de grãos se consideradas as grandes estruturas de armazenamento usualmente empregadas no armazenamento de grandes volumes de arroz. Neste sentido, sugere-se o uso de atmosfera controlada para minimizar as alterações de cor e atividade enzimática, que paralelamente também deve auxiliar na inibição ou prevenção do desenvolvimento de insetos, microrganismos e a respiração dos grãos, principalmente no armazenamento em temperaturas superiores a 30°C, onde ocorrem com maior intensidade (AGUIAR et al., 2004; ELIAS, 2007).

As condições de armazenamento menos favoráveis ao envelhecimento do arroz podem ser utilizadas na manutenção das características do arroz novo em produtos destinados à culinária oriental, risotos, doces, massas, entre outros produtos de arroz; enquanto que as condições mais propícias ao envelhecimento do cereal podem ser empregadas no armazenamento dos produtos destinados ao mercado nacional e exportação para países com consumidores que também apreciam arroz cozido com grãos mais soltos. Assim, o armazenamento do arroz pode ser direcionado para diferentes finalidades de utilização e grupos étnicos (consumidores) alvo.

Mesmo que neste trabalho tenham sido demonstradas que baixas temperaturas retardam o processo de envelhecimento do arroz, a utilização do resfriamento artificial, tecnologia não tradicional empregada para reduzir a atividade metabólica dos grãos e organismos associados, constitui-se em uma prática bastante adequada previamente e durante o armazenamento dos grãos, pois minimiza perdas na pós-colheita, principalmente relacionadas ao consumo decorrente da respiração dos grãos e desenvolvimento de microrganismos (ELIAS, 2007; ELIAS et al., 2009; LAZZARI et al., 2006).

Um fator determinante do metabolismo e conservação dos grãos é a umidade, que neste trabalho foi mantida entre 12 e 13% durante todo o período de armazenamento em condições herméticas. Embora a Legislação Brasileira estabeleça 14% como limite superior para armazenamento do arroz (BRASIL, 2009), considera-se o produto seguro abaixo de 13%, pois valores superiores proporcionam maior velocidade de respiração, respiração anaeróbica e outras reações indesejáveis que culminam no surgimento de defeitos, mesmo sob atmosfera controlada.

A exploração das condições atmosféricas não é um conceito necessariamente novo no armazenamento de grãos. O uso de atmosfera modificada em silos subterrâneos, através da atmosfera desenvolvida pela atividade respiratória dos grãos e organismos associados, com exaustão de O<sub>2</sub> e produção de CO<sub>2</sub>, foi utilizado no armazenamento de grãos em vários países

do Mediterrâneo e África há séculos, com evidências arqueológicas descobertas no Chipre, Egito e Palestina (PENTEADO, 1990).

Atualmente, tecnologias envolvendo alterações atmosféricas são empregadas no controle e eliminação de insetos e microrganismos que atacam diversos tipos de grãos armazenados, normalmente através do uso de baixas concentrações de O<sub>2</sub>, altas concentrações de CO<sub>2</sub> ou substituição da atmosfera por N<sub>2</sub>. A eficiência depende das concentrações atmosféricas empregadas, tempo de armazenamento, temperatura e atividade de água, por exemplo, o uso de CO<sub>2</sub> aliado com temperaturas maiores que ambiente é mais eficiente (AGUIAR et al., 2004; PENTEADO, 1990; ZHOU et al., 2002). Estes métodos não poluem o meio ambiente e têm aplicações mais seguras que os tradicionais fumigantes, brometo de metila e fosfina, que deixam resíduos, mesmo não prejudiciais, e alteram características sensoriais nos produtos tratados (AGUIAR et al., 2004). Deve-se considerar que diversos microrganismos, ao contrário dos insetos, podem reassumir o crescimento normal quando os teores de gases são reestabelecidos às condições atmosféricas normais (AGUIAR et al., 2004; PENTEADO, 1990).

Desta maneira, o armazenamento em maiores temperaturas para agregar qualidade culinária ao arroz, como a 35°C conforme proposto neste trabalho, só é viável microbiologicamente, tecnologicamente e economicamente, se combinado com atmosfera modificada ou controlada de baixas concentrações de O<sub>2</sub>.

## CONCLUSÕES

Retomando o objetivo geral proposto ao trabalho, pode-se concluir que condições de armazenamento mais favoráveis ao processo de envelhecimento do arroz foram alcançadas em maiores temperaturas e concentrações atmosféricas de  $O_2$ . No entanto, o armazenamento a  $35^\circ C$  combinado com baixas concentrações atmosféricas de  $O_2$  é recomendado para retardar ou inibir processos metabólicos, prevenindo alterações de cor e atividade enzimática nos grãos.

Em relação aos objetivos específicos propostos:

- As variedades escolhidas, devido aos seus diferentes conteúdos de amilose, mostraram comportamento distinto nos parâmetros analíticos testados, mas as condições de armazenamento favoráveis ao envelhecimento do arroz agregaram melhores características culinárias para todas.
- A composição química dos grãos foi pouco alterada no armazenamento, de maneira significativa para a matéria mineral, compostos fenólicos, amilose e amido resistente, porém estas alterações foram bastante sutis e não determinantes das características adquiridas no processo de envelhecimento.
- As análises sensoriais, realizadas em dois períodos do armazenamento (60 e 180 dias), demonstraram maior aceitação e preferência dos consumidores por arroz com maiores características do envelhecimento, em especial nos atributos de textura, odor e sabor, sem diferenças para a cor das amostras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. W. S. et al. Controle de pragas de grãos armazenados utilizando atmosfera modificada. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 21-27, jan-abr. 2004.

ALVES, B. M. et al. Adubação nitrogenada na qualidade tecnológica de grãos de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Cachoeirinha: IRGA, 2009. v. 1, p. 468-471.

AMATO, G. W.; ELIAS, M. C. **A parboilização do arroz**. Porto Alegre: Ricardo Lenz Editor, 2005. 160 p.

BASSINELLO, P. Z.; ROCHA, M. S.; COBUCCI, R. M. A. **Avaliação de diferentes métodos de cocção de arroz de terras altas para teste sensorial**. Comunicado Técnico da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, n. 84., 8 p., dez. 2004.

BRASIL. Instrução Normativa n. 6, de 16 de fevereiro de 2009. Aprova o Regulamento Técnico do Arroz. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 fev. 2009. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=19480>>. Acesso em: 22 dez. 2009.

CHRASTIL, J. Protein-starch interaction in rice grains. Influence of storage on oryzenin and starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 38, n. 9, p. 1804-1809, sep. 1990.

CHRASTIL, J.; ZARINS, Z. M. Influence of storage on peptide subunit composition of rice oryzenin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 40, n. 6, p. 927-930, jun. 1992.

COFFMAN, W. R.; JULIANO, B. O. Rice. In: OLSON, R. A.; FREY, K. J. (Ed.). **Nutritional quality of cereal grains: Genetic and agronomic improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1987. p. 101-131.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em: 31 mar. 2009.

CUEVAS, R. P.; FITZGERALD, M. Linking starch structure to rice cooking quality. **Irrigation Research and Extension Committee Farmer's Newsletter**, n. 177, p. 16-17, summer 2007-2008. Available from: <[http://www.irec.org.au/farmer\\_f/pdf\\_177/Linking%20starch%20structure%20to%20rice%20cooking%20quality.pdf](http://www.irec.org.au/farmer_f/pdf_177/Linking%20starch%20structure%20to%20rice%20cooking%20quality.pdf)>. Accessed on: 18 aug. 2009.



CUTRIM, V. A. et al. Cultivares e linhagens de arroz irrigado promissoras para o estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 2., 2006, Brasília. **Resumos...** Brasília: EMBRAPA, 2006. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/197780/1/CBCTRAB961.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2011.

ELIAS, M. C. **Pós-colheita de arroz: Secagem, armazenamento e qualidade**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2007. 437 p.

ELIAS, M. C. et al. Efeitos do resfriamento na espera para secagem sobre a qualidade dos grãos de arroz no armazenamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Cachoeirinha: IRGA, 2009. v. 1, p. 460-463.

FAGUNDES, G. A. et al. Percepção da qualidade de arroz branco adicionado de grãos defeituosos em diferentes concentrações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Cachoeirinha: IRGA, 2009. v. 1, p. 476-479.

FARUQ, G. et al. Optimization of aging time and temperature for four malaysian rice cultivars. **Pakistan Journal of Nutrition**, Faisalabad, v. 2, n. 3, p. 125-131, may-jun. 2003.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. M.; MORAIS, O. P. **Tempo de prateleira de cultivares de arroz de terras altas**. Comunicado Técnico da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, n. 98. 4 p., out. 2005.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. M. Maturação pós-colheita de cultivares de arroz de terras altas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 5, p. 389-392, set-out. 2008.

GULARTE, M. A. et al. Efeito da proporção do sal de cozinha na cocção de arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4., 2005, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: ORIUM, 2005. v. 1, p. 349-351.

HOUSTON, D. F. **Rice: Chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1972, p. 113-150.

HUSSAIN, M.; NARCISO, J. Global rice economy: Long-term perspectives. In: FAO RICE CONFERENCE – RICE IN GLOBAL MARKETS AND SUSTAINABLE PRODUCTION SYSTEMS, 1., 2004. Rome. **Proceedings...** Rome: FAO, 2004. p. 1-9.

IRGA - Instituto Rio Grandense do Arroz. Disponível em: <[http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=novidades\\_detalhe&id=6](http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=novidades_detalhe&id=6)>. Acesso em: 12 out. 2008.

JULIANO, B. O. Varietal impact on rice quality. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 43, n. 4, p. 207-222, jul-aug. 1998.

LAZZARI, S. M. N.; KARKLE, A. F.; LAZZARI, F. A. Resfriamento artificial para o controle de Coleoptera em arroz armazenado em silo metálico. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 50, n. 2, p. 293-296, jun. 2006.

LIMA, C. H. A. M. et al. **Seleção e treinamento de uma equipe de provadores para avaliação sensorial de diferentes cultivares de arroz**. Comunicado Técnico da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, n. 23, 24 p., dez. 2006.

LOPES, M. C. B. et al. Efeito do armazenamento na qualidade industrial e cocção dos grãos de arroz das cultivares IRGA 417 e IRGA 422CL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Cachoeirinha: IRGA, 2009. v. 1, p. 112-115.

LUZ, M. L. G. S.; TREPTOW, R. O. Comportamento de variedades tailandesas de arroz. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 4, n. 3, p. 151-157, set-dez. 1998.

MARSHALL, W. E.; WADSWORTH, J. I. **Rice Science and Technology**. New Orleans: Marcel Dekker, 1994. 470 p.

MAZARO, S. M.; BRACKMANN, A.; MENEZES, N. L. Efeito da concentração de oxigênio sobre a superação da dormência de sementes de arroz cv. EMBRAPA 7-TAIM. In: JORNADA INTEGRADA DE PESQUISA, EXTENSÃO E ENSINO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2., 1995, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1995. p. 497.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Effect of degree of milling on specific energy consumption, optical measurements and cooking quality of rice. **Journal of Food Engineering**, Oakville, v. 80, n. 1, p. 119-125, may 2007.

NAVES, M. M. V. Características químicas e nutricionais do arroz. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 25, n. 1, p. 51-60, jan-jul. 2007.

PENTEADO, M. F. **Qualidade de arroz (*Oryza sativa* L.), armazenado em atmosfera modificada, em silo subterrâneo.** 1990. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

PEREZ, C. M.; JULIANO, B. O. Texture changes and storage of rice. **Journal of Texture Studies**, Malden, v. 12, n. 3; p. 321-333, sep. 1981.

REHMAN, Z. U. Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals. **Food Chemistry**, Oxford, v. 95, n. 1, p. 53-57, mar. 2006.

ROZADO, A. F. et al. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 282-285, mai-jun. 2008.

SILVA, P. M.; BRESOLIN, R.; GULARTE, M. A. Efeito do armazenamento nas características de cocção e sensorial de arroz branco. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 15. e 13., Pelotas. **Resumos...** Pelotas: UFPel, 2006. Disponível em: <[http://www.ufpel.edu.br/cic/2006/resumo\\_simples/CE/CE\\_00673.pdf](http://www.ufpel.edu.br/cic/2006/resumo_simples/CE/CE_00673.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2009.

\_\_\_\_\_. Influência do rendimento do arroz cozido na solubilidade dos grãos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. **Anais...** Embrapa Clima Temperado, 2007. v. 2, p. 653-654.

SODHI, N. S. et al. Changes in physico-chemical, thermal, cooking and textural properties of rice during aging. **Journal of Food Processing and Preservation**, Malden, v. 27, n. 5, p. 387-400, dec. 2003.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil.** Porto Alegre: Gráfica e Editora Pallotti, 2010. 188 p.

SOWBHAGYA, C. M.; BHATTACHARYA, K. R. Changes in pasting behaviour of rice during ageing. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 115-124, sep. 2001.

STORCK, C. R. **Variação na composição química de grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos.** 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

VILLAREAL, R. M. et al. Changes in physicochemical properties of rice during storage. **Starch**, Weinheim, v. 28, n. 3, p. 88–94, mar. 1976.

YANAI, S.; ISHITANI, T.; KOJO, T. Influence of gaseous environment on the hermetic storage of milled rice. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**, Tokyo, v. 26, p. 145-150, 1979.

ZHOU, Z. et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 65–78, jan. 2002.

\_\_\_\_\_. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. **Food Research International**, Oxford, v. 36, n. 6, p. 625–634, jan. 2003.