

# **UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**

**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos**

**Linha de Pesquisa: Ciência e Tecnologia de Grãos**



## **Tese**

### **EFEITOS DO ARMAZENAMENTO EM PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DE GRÃOS DE QUATRO GENÓTIPOS DE ARROZ**

**Cláudia Militz da Costa**

Engenheira Química, M. Sc.

Pelotas, 2013  
Rio Grande do Sul – Brasil

**CLÁUDIA MILITZ DA COSTA**

**EFEITOS DO ARMAZENAMENTO EM  
PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE  
DE GRÃOS DE QUATRO GENÓTIPOS DE ARROZ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia dos Alimentos.

**Comitê de Orientação:**

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias (Orientador)

Prof. Dr. Maurício Oliveira

Pelotas, RS, Brasil – 2013

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

C837e Costa, Cláudia Militz da

Efeitos do armazenamento em parâmetros de avaliação de qualidade de grãos de quatro genótipos de arroz / Cláudia Militz da Costa; Moacir Cardoso Elias, orientador; Maurício de Oliveira, coorientador. — Pelotas, 2013.

147 f.: il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2013.

1. Oryza sativa. 2. Aminoácido. 3. Qualidade. 4. Cocção. 5. Soltabilidade. I. Elias, Moacir Cardoso, orient. II. Oliveira, Maurício de, coorient. III. Título.

CDD : 633.18

**Banca examinadora:**

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias (Orientador) – DCTA – FAEM – UFPel

Pesq. Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior – EMBRAPA

Prof. Dr. Cesar Valmor Rombaldi – DCTA – FAEM – UFPel

Prof. Dra. Elessandra da Rosa Zavareze -- DCTA – FAEM – UFPel

Prof. Dr. Fábio Clasen Chaves – DCTA – FAEM – UFPel

Este trabalho é dedicado a todas as pessoas que se envolvem com o arroz, seja na semente, na produção de grãos, no processamento industrial, na comercialização, no estudo, na pesquisa, na preparação e também àquelas que simplesmente apreciam comê-lo!

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias, pela generosidade, orientação, ensinamento, incentivo, confiança e amizade.

A todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente com a realização deste trabalho.

À coordenação e aos professores do PPGCTA, aos colegas, bolsistas e estagiários do LABGRÃOS e da UFPel pelos conhecimentos compartilhados, grata convivência e auxílio recebido, em especial a Rafael Schiavon, Flávia Paiva, Bruna Arns, Jardel Casaril, Nathan Vanier, Josiane Bartz, André Marins, Henrique Rippel, Roberta Manica-Berto e Professores Drs. Maurício de Oliveira, Daniela Bianchini, Álvaro Dias, Manoel Schirmer, Márcia Gularte, Elessandra Zavareze, Fábio Clasen e Cesar Rombaldi.

Aos meus ex-colegas e direção da RiceTec Sementes Ltda, RiceTec Inc. e RiceTec Solutions, que tornaram este projeto possível, principalmente a Markus Ritter, que acreditou em sua idéia, a Virgínia Santos, Jaqueline Gonçalves, André Jayme Gonçalves, Maicon Machado, Alexandre Ribeiro, André Souza, Leonardo Bubols, Álvaro Schwanke e Anna Ochoa, pela ajuda nos testes.

À Josapar pelo apoio e incentivo.

Aos Professores Drs. Nelcindo Terra, Leila Picolli da Silva e Auri Brackmann, da UFSM, e Tiago Kaminski da UNIPAMPA, pela discussão de idéias, testes e apoio.

À equipe do LAMIC, da UFSM, especialmente ao Professor Dr. Carlos Alberto Mallmann, Denize Tyska e Camila Tamiosso, pela realização das análises.

À equipe do ADISSEO CEAN, Cristiane Bortoloto, Washington Neves e Márcio Ceccantini, pela realização das análises.

À Dra Marlene Hass e ao Dr. José Carlos Felicetti, pela ação certa que garantiu a continuidade da minha vida e a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, familiares e amigos pelo profundo apoio e compreensão.

A meu marido Sérgio, por cada nanosegundo.

Ao anjo protetor do arroz, por iluminar esta trajetória.

A Deus, que disse “faça-se”!

*“Queridos, não existe o lá.  
Não existe um ponto em que vocês pararão de crescer e expandir, nenhum lugar  
mágico onde de repente vocês param e descansam com seus louros, pois a  
natureza do universo é sempre crescer e expandir.”*

Arc. Gabriel,  
através de Shelley Young.

## RESUMO

COSTA, Cláudia Militz da. **Efeitos do armazenamento em parâmetros de avaliação de qualidade de grãos de quatro genótipos de arroz.** 2013. 147f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Em grãos de arroz de duas cultivares híbridas e duas variedades, beneficiadas logo após a colheita e após 6 meses de armazenamento dos grãos em casca na temperatura de 20°C, foram analisados teores de 18 aminoácidos, proteínas totais, amilose, umidade, temperatura de gelatinização (estimativa), mais os parâmetros de qualidade industrial, de cocção, de textura, de viscosidade e sensorial, preferência e aceitação. Os resultados permitiram concluir que: (a) o aumento do tempo de armazenamento provoca reduções no conteúdo e alterações no perfil de aminoácidos, não havendo diferenças de comportamento entre variedades e híbridos; (b) o conteúdo de proteínas totais do endosperma não define o grau soltabilidade (ou de empapamento) dos grãos e nem está relacionado com a preferência do consumidor pelo arroz após a cocção; (c) a elevação do conteúdo de cisteína provoca aumento na soltabilidade do arroz cozido ao longo do armazenamento; (d) os parâmetros de avaliações texturométricas e reológicas refletem os resultados da análise sensorial e da aceitação do arroz após a cocção; e, (e) o aumento do tempo de armazenamento provoca aumento inicial no rendimento industrial e reduções na brancura e no grau de polimento, mas não altera a transparência do arroz.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Soltabilidade. Aminoácidos. Cisteína. Qualidade. Tempo. Cocção.



## ABSTRACT

COSTA, Claudia Militz da. **Storage effects in quality evaluation parameters of grains from four rice genotypes.** 2013. 147f. (Tese) Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

In rice grains from two hybrids cultivars and two varieties, milled immediately after harvest and after 6 months of storage of grains with husk at the temperature of 20°C, were analyzed levels of 18 amino acids, total protein, amylose, moisture, gelatinization temperature (estimation), plus the parameters of industrial quality, cooking, texture, viscosity and sensory attributes, also preference and acceptance. The results allowed to conclude that: (a) the increase of storage time causes reductions in the amino acid content and changes in amino acid profile, with no significant differences among varieties and hybrids; (b) total protein content from endosperm does not define the degree of loose cooked grains (or of grain stickiness) and it is not associated with the consumer preference for the rice after cooking, (c) elevation in cysteine content causes an increase in loose cooked grain (reduction of stickiness) during storage; (d) parameters of texturometric and rheological evaluations reflect the results from sensory analysis and acceptance of the rice after cooking; and (e) the increase of storage time causes an initial increasing in industrial yield and leads to reductions in whiteness and polishing degree (milling degree), but does not change the transparency of rice .

Keywords: *Oryza sativa*. Stickiness. Amino acids. Cysteine. Quality. Time. Cooking.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Biodiversidade da produção de arroz mundial.....	17
Figura 2 – Estruturas do grão de arroz.....	22
Figura 3 - Curvas de viscosidade de farinha de arroz (em preto) e de farinha tratada por protease (em cinza) para seis variedades de arroz, compondo três pares com o mesmo teor de amilose.....	35
Figura 4 - Curvas de viscosidade de farinha de arroz de uma mesma variedade cultivadas com diferentes aplicações de doses de nitrogênio no solo.....	36
Figura 5 – Seção longitudinal com muitas fissuras transversais do arroz Koshihikari, já aparentes após 5 minutos de cozimento em água.....	38
Figura 6 – Cromatogramas de exclusão de tamanho de alta performance de amostras de amidos nativos de arroz da cultivar americana Cypress, após 1 e 9 meses de armazenamento a 38°C do arroz em casca.....	48
Figura 7 – Esquema representativo dos efeitos em arrozes novos e envelhecidos (velhos) cozidos com e sem agentes que reduzem as ligações de dissulfeto.....	53
Figura 8 – Micrografia de varredura laser confocal de grãos de arroz cozido (a) novo e (b) após envelhecimento acelerado a 60°C por 5 dias.....	53
Figura 9 – Diagrama representativo dos processos envolvidos no envelhecimento do arroz.....	57
Figura 10 – Diagramas de transição vítrea no arroz, sendo à esquerda: gráfico plotado em um grão de arroz, apresentando uma temperatura hipotética (T) e a distribuição do teor de umidade de (MC) dentro do um grão durante a secagem...60	60
Figura 11 - Ocorrência e propagação em segundos de uma fissura entre duas fissuras pré-existentes dentro de um grão de arroz.....	60
Figura 12 – Curvas de gelatinização endotérmica de sete variedades de arroz determinadas por DSC ( <i>Differential Scanning Calorimetry</i> ).....	64
Figura 13 - Grãos com Temperatura de Gelatinização alta (na esquerda), média (ao centro) e baixa (na direita) em avaliação de ASV.....	65
Figura 14 - Comportamento típico dos grânulos de amido ao longo da análise de viscosidade no equipamento analisador rápido de viscosidade (RVA).....	66
Figura 15 - Variáveis de resposta obtidas no equipamento RVA e sua identificação no viscoamilograma.....	68
Figura 16 – Amilograma de arroz de médio teor de amilose (24,2%) obtido em equipamento RVA ( <i>Rapid Visco Analyser</i> , marca Newport).....	68
Figura 17 - Curva característica do perfil de textura obtida por texturômetro universal Instron.....	70
Figura 18 - Ficha de avaliação sensorial e intenção de compra de arroz cozido.....	89
Figura 19 – Aminograma de amostra de arroz polido (código 10GL999005).....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Arroz Beneficiado – Produção e principais países produtores – Safras 2007 a 2012 – em milhões de toneladas.....	18
Tabela 2 - Área, produtividade e produção de arroz em casca no Brasil - safras 2012 e 2013.....	19
Tabela 3 – Médias anuais de consumo de arroz (beneficiado) por habitante.....	19
Tabela 4 - Componentes do farelo de arroz cru (em base seca) cru obtido a partir do beneficiamento da cultivar de arroz de terras altas BRS Primavera (médias seguidas dos desvios-padrão).....	24
Tabela 5 - Classificações de comprimento (mm) de arroz beneficiado polido.....	25
Tabela 6 - Classificação quanto à forma do grão utilizada pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT.....	25
Tabela 7 – Composição centesimal média (% na matéria seca) de arroz integral, branco polido e parboilizado polido.....	26
Tabela 8 – Características básicas da amilose e amilopectina.....	27
Tabela 9 - Classificação do arroz conforme o teor de amilose, comportamento do arroz cozido e qualidade do amido obtido.....	28
Tabela 10 – Conteúdo protéico de arroz polido de diferentes continentes (valores % em base seca).....	30
Tabela 11 – Conteúdo aproximado de proteínas do arroz com casca e suas frações.....	31
Tabela 12 – Composição química e valor energético (em 100g) de arrozes polido, parboilizado e integral produzidos a partir da cultivar híbrida Inov CL (umidade 12,5%).....	31
Tabela 13 - Teor de aminoácidos (g em 100g de arroz) de farelo de arroz, arroz integral e parboilizado.....	32
Tabela 14 - Teor de aminoácidos (g em 100g de arroz) de arroz polido.....	33
Tabela 15 – Mudanças na textura dos grãos de arroz cozido ao longo do armazenamento por 16 meses, a 4°C e 37°C, determinados por analisador de textura (texturômetro).....	47
Tabela 16 – Distribuição do comprimento de cadeia da amilopectina ao longo do período de armazenamento do arroz com casca da variedade Cypress.....	48
Tabela 17 – Classificação da Temperatura de Gelatinização.....	65
Tabela 18 - Atributos sensoriais, descrição dos atributos e escala de valores correspondentes.....	90
Tabela 19 – Aceitação do arroz cozido: escala de valores e descrição correspondente.....	90

Tabela 20 – Perfil de aminoácidos (valores absolutos) , proteínas totais em 100g de arroz polido logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento dos grãos em casca a 20°C (valores em g.100g <sup>-1</sup> ) e sua variação (em %).....	92
Tabela 21 – Perfil de aminoácidos (valores relativos) em 100g de proteínas de arroz polido, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento dos grãos em casca a 20°C (valores em g.100g <sup>-1</sup> ) e sua variação (em %).....	93
Tabela 22 – Resumo dos resultados obtidos do efeito do tempo de armazenamento dos grãos sobre o perfil de aminoácidos.....	97
Tabela 23 – Teor de amilose do endosperma das cultivares híbridas H1 e H2, e das variedades V1 e V2, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento dos grãos em casca a 20°C.....	99
Tabela 24 – ASV (graus de dispersão alcalina) em arroz polido das cultivares híbridas H1 e H2, e das variedades V1 e V2, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento dos grãos em casca a 20°C.....	101
Tabela 25 – Perfil viscoamilográfico obtido por RVA da farinha de arroz polido das cultivares H1, H2, V1 e V2, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento dos grãos em casca a 20°C.....	103
Tabela 26 – Parâmetros dimensionais e classificação do arroz polido das cultivares híbridas H1 e H2 e das variedades V1 e V2.....	109
Tabela 27 – Parâmetros de qualidade industrial do arroz polido obtido a partir de 100g de arroz em casca, das cultivares híbridas H1 e H2 e das variedades V1 e V2, logo após a colheita (a 12,3% de umidade média) e depois de 6 meses de armazenamento a 20°C (a 12,8% de umidade média).....	110
Tabela 28 – Parâmetros branquimétricos de qualidade industrial do arroz polido obtido a partir de 100g de arroz em casca, das cultivares híbridas H1 e H2 e das variedades V1 e V2, logo após a colheita (a 12,3% de umidade média) e depois de 6 meses de armazenamento a 20°C (a 12,8% de umidade média).....	112
Tabela 29 – Rendimentos volumétrico e gravimétrico de amostras de arroz polido cozido, obtidas a partir de arroz em casca, das cultivares híbridas H1 e H2 e das variedades V1 e V2, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento a 20°C.....	114
Tabela 30 – Principais parâmetros texturométricos (dureza, adesividade e coesividade) de amostras de arroz polido cozido, obtidas a partir de arroz em casca, das cultivares híbridas H1 e H2 e das variedades V1 e V2, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento a 20°C.....	117
Tabela 31 - Atributos sensoriais (cor, sabor, odor, brilho, firmeza e soltabilidade), aceitação do arroz polido cozido e intenção de compra do arroz. Amostras obtidas a partir de arroz em casca, das cultivares híbridas H1 e H2 e das variedades V1 e V2, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento a 20°C.....	123

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIAP – Associação Brasileira das Indústrias de Arroz Parboilizado

AF4 – Fraccionamento do campo de fluxo de fluxo assimétrico (*Asymmetrical Flow Field-Flow Fractionation*)

ASV – Graus ou Valor de Dispersão em Solução Alcalina (*Alkali Spreading Value*)

CEPA – Centro de Sócioeconomia e Planejamento Agrícola, da EPAGRI-SC.

CIAT – Centro Internacional de Agricultura Tropical - Colômbia

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

DCTA – Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, da UFPel

DSC – Calorimetria Diferencial de Varredura (*Differential Scanning Calorimetry*)

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPAGRI-SC - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

FAEM – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

HPLC – Cromatografia Líquida de Alta Performance (*High Performance Liquid Chromatography*)

INTA - Instituto Nacional de Tecnologia - Argentina

IRGA - Instituto Rio-Grandense do Arroz

LabGrãos – Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, do DCTA, UFPel

LAMIC – Laboratório de Micotoxinas, da UFSM

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil

NIRS – Espectroscopia de Reflectância Próxima ao Infravermelho (*Near-Infrared Reflectance Spectroscopy*)

RVA – Analisador Rápido de Viscosidade (*Rapid Visco Analyser*)

SEC – Cromatografia de Exclusão de Tamanho (*Size Exclusion Chromatography*)

UFPel – Universidade Federal de Pelotas

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

USDA – United States Department of Agriculture

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
2.1 Importância, produção, consumo e características do arroz.....	16
2.1.1 Importância, produção e consumo de arroz.....	16
2.1.2. Características dos grãos de arroz.....	22
2.1.2.1 Estrutura do grão.....	22
2.1.2.2 Forma e dimensões do grão de arroz.....	25
2.2 Amido, proteínas, lipídios e outros constituintes do grão de arroz.....	26
2.2.1 Amido.....	26
2.2.2 Proteínas.....	30
2.3 Qualidade de consumo do arroz.....	37
2.3.1 Comportamento na cocção.....	37
2.3.2 Efeitos do armazenamento na qualidade de cocção.....	44
2.4 Fatores que modificam a velocidade das alterações pós-colheita do arroz.....	55
2.5 Principais parâmetros de avaliação da qualidade do arroz.....	58
2.5.1 Parâmetros de qualidade industrial do arroz.....	58
2.5.2 Avaliação do conteúdo de amilose.....	60
2.5.3 Avaliação da temperatura de gelatinização.....	62
2.5.3.1 Avaliação da gelatinização por Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC ou <i>Differential Scanning Calorimetry</i> ).....	63
2.5.3.2 Avaliação da gelatinização por ASV (Graus (ou Valor) de Dispersão em Solução Alcalina ou <i>Alkali Spreading Value</i> ).....	64
2.5.4 Avaliação das propriedades reológicas ou de viscosidade de pasta.....	65
2.5.5 Avaliação da qualidade de cocção do arroz por análise texturométrica.....	69
2.5.6 Avaliação da qualidade de consumo.....	74
<b>3 MATERIAL e MÉTODOS.....</b>	<b>79</b>
3.1 Material.....	79
3.1.1 Planejamento experimental analítico.....	79
3.1.2 Preparo das amostras.....	81
3.2. Métodos.....	82
3.2.1 Umidade.....	82

3.2.2 Perfil de aminoácidos.....	82
3.2.3 Conteúdo protéico.....	82
3.2.4 Amilose.....	83
3.2.5 Parâmetro de gelatinização – ASV.....	83
3.2.6 Parâmetros de viscosidade - em RVA.....	84
3.2.7 Parâmetros de qualidade industrial .....	85
3.2.7.1 Rendimento de grãos e rendimento de inteiros.....	85
3.2.7.2 Dimensões.....	85
3.2.7.3 Parâmetros branquimétricos.....	85
3.2.8 Parâmetros de cocção.....	86
3.2.8.1 Rendimento Volumétrico.....	86
3.2.8.2 Rendimento Gravimétrico.....	87
3.2.9 Parâmetros textuométricos.....	87
3.2.10 Atributos sensoriais.....	88
3.2.11 Análise estatística.....	90
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>91</b>
4.1. Aminoácidos e conteúdo protéico.....	91
4.2 Amilose.....	99
4.3 ASV.....	101
4.4 Parâmetros de viscosidade - em RVA.....	102
4.5 Parâmetros de qualidade industrial.....	108
4.5.1 Dimensões.....	108
4.5.2 Rendimentos.....	109
4.5.2.1 Rendimento de grãos.....	110
4.5.2.2 Rendimento de grãos inteiros.....	111
4.5.3 Parâmetros branquimétricos.....	111
4.6 Comportamento na cocção.....	114
4.7. Parâmetros textuométricos.....	116
4.7.1 Dureza.....	117
4.7.2 Adesividade.....	119
4.7.3 Coesividade.....	120
4.8 Atributos sensoriais.....	123
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>126</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>127</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Existem profundas diferenças culturais que afetam a percepção da qualidade de grãos de arroz e preferências do consumidor com relação a aroma, sabor, aparência e alongação dos grãos após o cozimento. A avaliação da qualidade do arroz envolve a aplicação de testes sensoriais e determinações físico-químicas com base na composição química, no comportamento na cocção, na temperatura de gelatinização e/ou nas propriedades físicas, textuométricas e reológicas do arroz cozido.

Em muitos países, o arroz de grão longo e fino, macio e solto, é o preferido, enquanto noutros há a preferência por arroz com baixa amilose, cujos grãos se apresentam mais macios e grudados (“empapados” ou fortemente aderidos uns nos outros) após a cocção.

A aparência do grão está ligada à determinação da qualidade, tanto dos grãos crus (sendo exemplo os grãos gessados, cuja presença reduz a qualidade do arroz por predispor à quebra durante o polimento, diminuindo o rendimento de grãos inteiros e desuniformiza a cocção), como também dos grãos cozidos (odor, cor, formato, brilho, consistência e sabor).

Grãos de arroz (independentemente de serem provenientes de híbridos ou de variedades) podem ser industrializados tanto por processo convencional como por parboilização, embora as características tecnológicas preferenciais para produção de arroz branco (pelo processo convencional de beneficiamento) sejam diferentes das preferenciais para arroz parboilizado, como o comportamento nas operações hidrotérmicas. Aspectos de qualidade sanitária, nutricional e de armazenabilidade são igualmente importantes para ambos os processos de industrialização.

O arroz recentemente colhido, quando cozido, produz grãos pastosos e mais pegajosos, com tendência a ficarem “empapados”. Portanto, um certo tempo de armazenamento dos grãos com casca favorece para que fique mais solto o arroz branco (polido) após ser descascado, polido e cozido. Isto também significa que, com o tempo, os grãos de média performance quanto à cocção, logo após serem



colhidos, melhoram, porém aqueles com desempenho muito inferior na cocção, ainda que apresentem uma evolução destes aspectos com o tempo, podem melhorar de forma insuficiente para obtenção da sua aceitação e/ou preferência dos consumidores para consumo como arroz branco. Esta ocorrência não se trata de maturação fisiológica, pois os grãos são colhidos maduros, mas há um período de rearranjo energético-estrutural interno, que corresponde a uma maturação tecnológica, que a cadeia produtiva do arroz denomina envelhecimento. Este efeito é desejado, embora possa diminuir a qualidade nutricional, dependendo do tempo e do manejo tecnológico pós-colheita.

Objetivou-se, com o trabalho, avaliar efeitos do tempo de armazenamento no endosperma do arroz, com destaque para avaliações na fração protéica, no perfil de aminoácidos, nas propriedades reológicas, texturométricas e na solubilidade. Foram utilizados grãos de arroz de duas cultivares híbridas (H1 e H2) e duas variedades (V1 e V2), beneficiados logo após a colheita e após 6 meses de armazenamento dos grãos em casca, mantidos à temperatura de 20°C.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Importância, produção, consumo e características do arroz**

#### **2.1.1 Importância, produção e consumo de arroz**

A cada dia, mais de metade da população do mundo come arroz. Este cereal representa 20% da fonte de energia alimentar da população de todo o mundo (FAO, 2004). Mais do que 2 bilhões de pessoas dependem dele para mais de 50% do seu consumo de calorias e sua produção precisa ser aumentada expressivamente, pelo menos a médio prazo (ZHU et al., 2004). É preciso produzir mais alimentos. Com a quantidade restrita de terra para a agricultura, é preciso aumentar a produtividade de cada hectare cultivado, a fim de alimentar uma população crescente, e o arroz, neste contexto, é um grão que compõe a segurança alimentar do planeta, sendo fácil de cozinhar e muito versátil.

Os hábitos alimentares dos países se desenvolveram de acordo com a disponibilidade dos alimentos nas respectivas regiões e seus pratos típicos são consequência destes hábitos e da garantia da oferta dos grãos que deles fazem parte. Portanto, as preferências quanto à qualidade dos grãos de arroz variam com a região e com o país, havendo forte influência cultural.

Com a expansão do comércio internacional, o arroz de alta qualidade de um país pode encontrar barreiras de consumo em outros em função também dos respectivos hábitos alimentares, pois o conceito de qualidade depende de costumes e tradições dos países ou regiões onde é consumido, havendo também grandes interferências culturais e étnicas (GULARTE, 2012).

Em muitos países, o arroz não faz parte do hábito alimentar da população. Alguns países da África, por sucessivos recebimentos de arroz quebrado para redução da fome e atenuação de problemas de guerra, desenvolveram uma relativa predisposição ao consumo de arroz com esta característica.

Os maiores consumos estão nos países que também mais produzem arroz no mundo, que estão no continente asiático. Já Estados Unidos, Uruguai e Argentina

constituem exemplos de países onde o consumo interno é muito baixo e a produção em larga escala se destina à exportação.

O arroz é um dos cereais mais produzidos no mundo, sendo cultivado em todos os continentes (Figura 1). Cerca de 90% da produção mundial de arroz ocorre na Ásia, com destaque para China, Índia, Indonésia, Vietnã e Tailândia, países igualmente grandes produtores e grandes consumidores (Tabela 1). Em países como Índia, Tailândia, Paquistão e Afeganistão, o arroz de boa qualidade deve ter grãos longos, finos e translúcidos, e após a cocção, apresentar um produto solto, tenro e aromático, com marcada alongação (GOLAM & PRODHAN, 2013). No Japão, são preferidos os grãos curtos e largos (com baixos teores de amilose e de proteína, e perfil amilográfico com extenso breakdown), os quais ficam pegajosos após a cocção (ZHOU et al., 2002a; PITOMBEIRA, 2006).

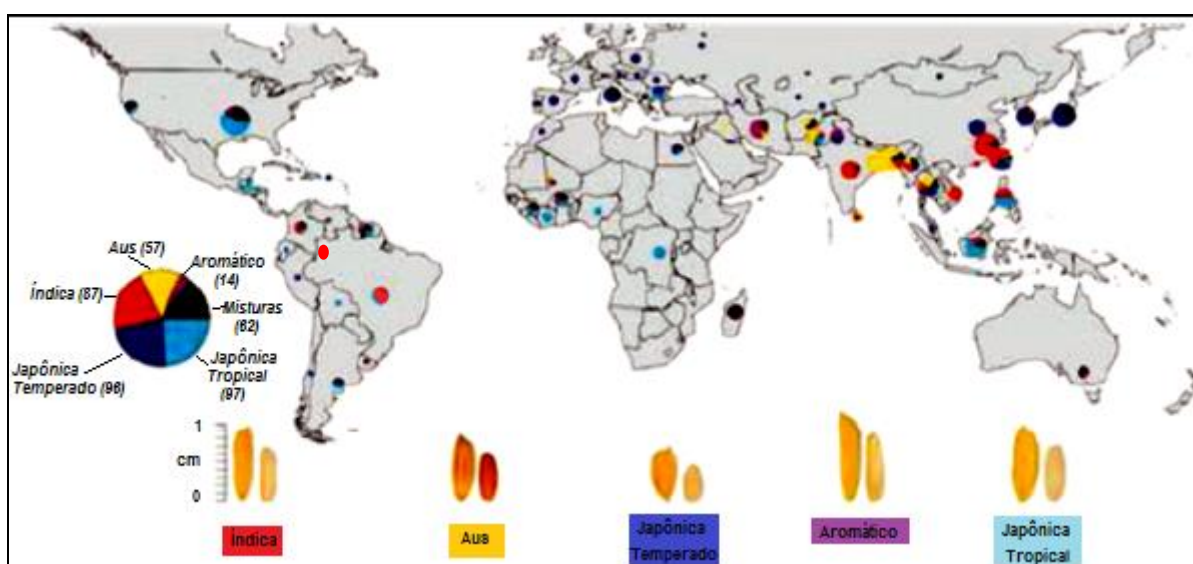


Figura 1 – Biodiversidade da produção de arroz mundial.

Fonte: Adaptado de Wani et al. (2012).

Nas Américas, os maiores produtores são Brasil, Estados Unidos, Uruguai e Argentina. Nas exportações de arroz, o destaque é a Tailândia, como maior exportadora mundial, a qual é seguida por Vietnã e Estados Unidos (RUIZ, 2010).

O Brasil utiliza a maior parte da sua produção para abastecimento do seu mercado interno. Quando importa arroz para regular seus estoques, adquire o grão principalmente do Uruguai, da Argentina e do Paraguai. Em momentos de exportação, o arroz brasileiro é direcionado na sua maior parte (cerca de 80%), para África do Sul, Nigéria, Senegal, Benin, Suíça, Gâmbia e Camarões (CEPA, 2013),

porém a quantidade exportada ainda é pequena em comparação com a que é produzida (BRADESCO, 2012).

O Brasil é o maior produtor de arroz no mundo ocidental, tendo aumentado significativamente a produtividade nos últimos anos. A produção total de arroz (em casca) no Brasil em 2013 foi próxima a 12 milhões de toneladas, o que significou aumento em relação às safras anteriores (CEPA, 2013; CONAB, 2013).

Tabela 1 – Arroz Beneficiado – Produção e principais países produtores – Safras 2007 a 2012 – em milhões de toneladas.

Discriminação	Safr (em milhões de toneladas de arroz beneficiado)					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Mundo</b>	<b>420,43</b>	<b>433,75</b>	<b>448,07</b>	<b>440,06</b>	<b>450,01</b>	<b>456,39</b>
China	127,20	130,22	134,33	136,57	137,00	138,00
Índia	93,35	96,69	99,18	89,90	94,50	97,00
Indonésia	35,30	37,00	38,31	36,37	36,90	37,60
Vietnã	22,92	24,38	24,39	24,99	25,53	25,43
Tailândia	18,25	19,30	19,85	20,26	20,26	20,75
Burma	10,60	10,73	10,15	10,55	10,75	11,00
Filipinas	9,78	10,48	10,60	9,77	10,55	10,80
<b>Brasil</b>	<b>7,70</b>	<b>8,20</b>	<b>8,57</b>	<b>7,66</b>	<b>9,45</b>	<b>7,90</b>
Japão	7,79	7,93	8,03	7,71	7,72	7,68
USA	6,27	6,34	6,40	7,13	7,55	6,40

Fonte: CEPA, 2013.

A Região Sul do Brasil produziu em 2013 cerca de 9,2 milhões de toneladas e as demais 2,7 milhões de toneladas. O Rio Grande do Sul e Santa Catarina cultivam arroz em sistema irrigado e produzem juntos 77% do arroz brasileiro, destacando-se como principal produtor o estado do Rio Grande do Sul, com 44,6% da área nacional e 67% da produção brasileira. O Maranhão destaca-se na Região Nordeste com sua produção de arroz de terras altas (Tabela 2).

Dos grãos produzidos nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, uma parte pequena (cerca de 4%), mas crescente, provém do plantio de sementes de híbridos de arroz, situação diferente do que ocorre na China, onde os híbridos representam cerca de 50 a 60% do arroz cultivado. No entanto, as áreas cultivadas com sementes híbridas de arroz têm apresentado crescimento e existe a possibilidade de que, a exemplo do que ocorreu em outros grãos como o milho e o sorgo, os híbridos de arroz venham ocupar uma posição de destaque (NEVES et al., 1994; COSTA et al., 2010).

Tabela 2 - Área, produtividade e produção de arroz em casca no Brasil - safras 2012 e 2013.

REGIÃO e PRINCIPAIS ESTADOS		ÁREA PLANTADA (em mil ha)			PRODUTIVIDADE (em kg.ha <sup>-1</sup> )		PRODUÇÃO (em mil t)		
		Safra 2012	Safra 2013	% Área /Área Brasil 2013	Safra 2012	Safra 2013	Safra 2012	Safra 2013	% Produção / Produção Brasil 2013
SUL	Total	1.238,9	1.249,7	52,3	7.252	7.308	8.984,1	9.132,9	77,0
	Rio Grande do Sul	1.053,0	1.066,6	44,6	7.350	7.438	7.739,6	7.933,4	66,9
	Santa Catarina	150,1	150,1	6,3	7.180	6.828	1.077,7	1.024,9	8,6
NORDESTE	Total	596,7	587,6	24,6	1.288	1.462	769,0	858,9	7,2
	Maranhão	426,0	416,2	17,4	1.098	1.468	467,7	611,0	5,2
NORTE	Total	318,8	291,9	12,2	2.972	3.530	947,3	1.030,3	8,7
	Tocantins	119,9	119,1	5,0	3.689	4.750	442,3	565,7	4,8
CENTRO-OESTE	Total	218,6	216,5	9,1	3.406	3.223	744,5	697,7	5,9
	Mato Grosso	143,4	166,3	7,0	3.217	3.175	461,3	528,0	4,5
SUDESTE	Total	53,7	44,6	1,9	2.878	3.106	154,6	138,5	1,2
BRASIL	Total	2.426,7	2.390,3	100,0	4.780	4.961	11.599,5	11.858,3	100,0

Adaptado de: CONAB (2013).

O consumo *per capita* mundial de arroz varia muito, sendo a média mundial influenciada pelo alto consumo entre os asiáticos. Algumas médias anuais de consumo de arroz por habitante estão apresentadas na Tabela 3. No Brasil a população rural consome mais arroz por habitante do que a urbana, conforme dados adaptados da POF-IBGE-2011 por Chaves, Coutinho e Wander (2011).

Tabela 3 – Médias anuais de consumo de arroz (beneficiado) por habitante.

País	Região	Consumo <i>per capita</i> de arroz (kg.habitante <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
China, Birmânia e Indonésia		80,0
<b>Brasil</b>		<b>26,5</b>
	Centro-Oeste	36,3
	Norte	28,3
	Nordeste	27,1
	Sudeste	25,5
	Sul	22,3
Estados Unidos, Espanha e França		<10,0
<b>Mundo</b>		<b>58,0</b>

Fonte: dados adaptados de CEPA, 2013 e da POF-IBGE-2011 apud Chaves, Coutinho e Wander (2011).

No Brasil, o consumo de arroz branco (polido) é superior a 70%, enquanto o parboilizado polido responde por quase 25%, ficando

aproximadamente 5% com o integral e os tipos especiais como aromáticos, pretos, vermelhos, perolados e outros (ELIAS et al., 2012; ABIAP, 2013). Conseqüentemente, o mercado brasileiro paga mais por arroz longo e fino (agulhinha) com características (SOSBAI, 2010) de alto rendimento de grãos inteiros, translúcidos, de coloração clara, de aspecto visual uniforme, vítreo, com baixo teor de gessados e sem outros defeitos, e que apresente grãos soltos após a cocção, com bom rendimento de panela, de rápido cozimento, sem sabor e odor fortes, com aparência de grãos secos após o cozimento, com possibilidade de reaquecimento sem perda da maciez original (BASSINELLO et al., 2004; ELIAS, 2007).

O valor nutricional não é considerado como uma preocupação prioritária para valorizar o arroz (GULARTE, 2012). Genótipos que atendem a todas estas características são normalmente destinados a marcas de arroz comerciais denominadas *premium* (CHAMPAGNE et al., 2010), “reserva especial”, “seleção especial”, etc, sendo os principais exemplos as variedades BR-IRGA 409 e IRGA 417, cultivadas na região da Fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul.

Uma cultivar de uso relativamente recente, Puitá CL, tem crescido intensivamente em área semeada no estado do Rio Grande do Sul, por consequência da sua resistência aos tratamentos para combater o arroz vermelho e também devido ao seu alto rendimento de grãos inteiros (normalmente acima de 60%) e aspecto visual. O Puitá CL não tem o mesmo perfil de grãos soltos apresentados pelas cultivares BR-IRGA 409 e BRS-IRGA 417, o que pode dificultar seu uso em marcas *premium*, mas não constitui obstáculo para sua destinação como arroz branco Tipo 1 de boa qualidade, principal fatia do mercado brasileiro.

A variedade BRS-IRGA 417 foi lançada em 1995 pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), a partir do cruzamento de parentais das sub-espécies índica e japônica (SOSBAI, 2010; MAGALHÃES JÚNIOR & FAGUNDES, 2013). A variedade Puitá INTA CL foi oficialmente registrada no Brasil em 2008, pela empresa BASF, tendo sido desenvolvida pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INTA), da Argentina. Possui resistência aos herbicidas do grupo das imidazolinomas e tecnologia Clearfield® (BASF, 2008).

O Rio Grande do Sul é o principal estado brasileiro produtor de arroz, responsável por cerca de 67% da produção nacional, feita principalmente no sistema irrigado (IRGA, 2011; CEPA, 2013; CONAB, 2013). As cultivares mais produtivas utilizadas por razões de clima e solo na parte sul da região conhecida como Metade Sul do Rio Grande do Sul são consideradas de qualidade de cocção inferior àsquelas produzidas na sua parte oeste, denominada Fronteira Oeste do estado, penalizando agricultores e indústrias pela menor valorização comercial dos produtos finais (IRGA, 2013a, 2013b, 2013c). Por esta razão, iniciativas para ajudar na seleção de cultivares para obtenção de arroz de melhor qualidade de cocção, principalmente àsquelas sementes destinadas à parte sul da região da Metade Sul do Rio Grande do Sul, são extremamente importantes, pois podem restaurar a competitividade da produção da região, atualmente mais direcionada à industrialização para atendimento do mercado de arroz parboilizado.

Híbridos podem gerar produtividades elevadas, o que os torna uma ferramenta importante na produção de grãos, conforme os padrões de qualidade dos mercados a serem atendidos. Como a diversidade genética dos parentais influencia em todas as características do híbrido formado (desde o comportamento no campo, a produtividade e a qualidade de consumo de arroz), as linhas fêmeas e/ou os machos disponíveis nem sempre fornecem combinações ideais para todos os aspectos desejados.

Até o presente momento, as características físico-químicas apresentadas pelos grãos oriundos de sementes híbridas de arroz comerciais atendem parcialmente aos parâmetros de qualidade demandados pelo mercado brasileiro. Estes parâmetros foram estabelecidos em função das performances de variedades de arroz lançadas ao longo dos anos e consideradas preferenciais pelas indústrias, focadas na produção de arroz branco (polido), em sua maioria.

## 2.1.2. Características dos grãos de arroz

### 2.1.2.1 Estrutura do grão

O arroz pertence à espécie *Oryza sativa* e é uma monocotiledônea da família das *Poaceae*. Possui caules ocos, flores reduzidas de cor verde e aquênios especializados (cariopses) como frutos (AGEITEC, 2013). A inflorescência da planta de arroz é denominada panícula.

O grão de arroz (Figura 2) é constituído por macroestruturas principais: a casca - de função protetora, correspondendo em média, de 20 a 22% do peso do grão; o endosperma - região predominantemente amilácea, com 70%; e camadas externas ao endosperma ou farelo - que abrangem também o gérmen ou embrião, com aproximadamente de 8% (HOSENEY, 1991; ICTA, 2011).

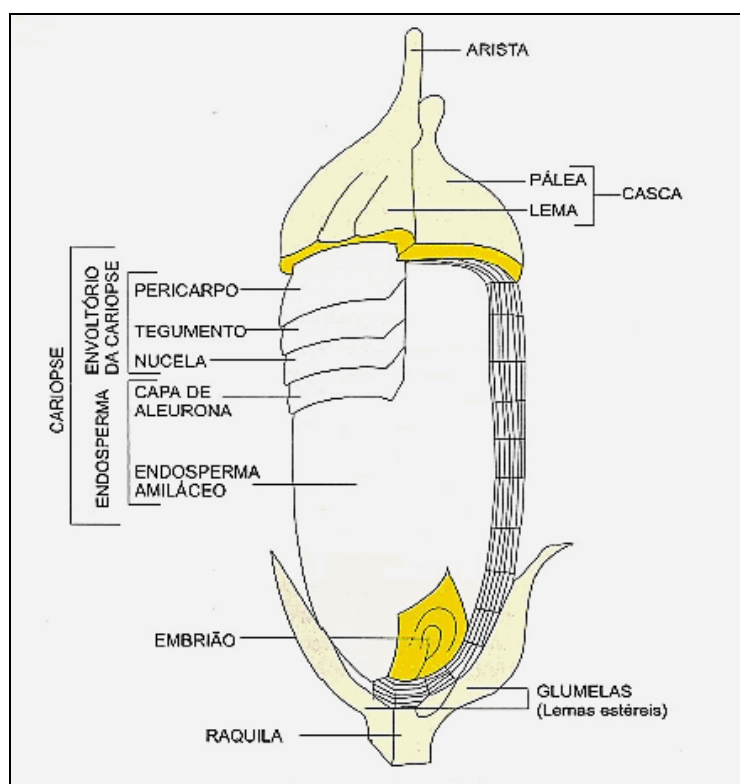


Figura 2 – Estruturas do grão de arroz.

Fonte: Vieira e Rabelo (2006).

A cariopse do arroz apresenta a seguinte distribuição básica em massa: pericarpo, 1-2%; aleurona, tegumento e nucela, 4-6%; embrião, 2-3%; e endosperma de amido, 89-94% (ZHOU et al., 2002a).



A cariopse é formada por diferentes camadas, sendo as mais externas constituídas por pericarpo, tegumento e camada de aleurona, que perfazem de 5 a 8% da massa do grão de arroz integral (JULIANO & BECHTEL, 1985; WALTER et al., 2008).

Na camada de aleurona estão situados dois tipos de estruturas de reservas nutritivas: os grãos de aleurona (corpos protéicos) e os corpos lipídicos (JULIANO & BECHTEL, 1985; WALTER et al., 2008). A aleurona pode ser constituída de uma a cinco camadas de células parenquimatosas, sendo mais espessa na zona dorsal do que no lado ventral e também é mais espessa em genótipos de grãos curtos do que nos de grãos longos (DEL ROSARIO et al., 1968; ZHOU et al., 2002a; TAVARES et al., 2013). A aleurona se forma pela acumulação dos resíduos leitosos nas células da camada da superfície do endosperma (WANG et al., 2004).

O embrião (ou gérmen) se situa no lado ventral, na base do grão, sendo rico em proteínas e lipídios. O embrião representa de 2 a 3% do peso do arroz integral (JULIANO & BECHTEL, 1985; WALTER et al., 2008).

O farelo (constituído por pericarpo, tegumento, camada de aleurona e gérmen) representa 8,5-14,8% do arroz integral (JULIANO & BECHTEL, 1985; WALTER et al., 2008). Apresenta em geral de 13,0 a 14,5% de lipídios; 6,1 a 8,5% de cinzas e, 48,3 a 55,4% de carboidratos (DENARDIN et al., 2005; ZANÃO et al., 2006), mas valores para lipídios podem atingir 18% de óleo, razão de o farelo ser a matéria-prima principal para produção de óleo de arroz (Tabela 4). O grão polido apresenta em média de 0,8 a 2% de óleo (PAIVA, 2011).

O endosperma constitui a maior parte do grão, representando de 89 a 94% do peso da cariopse (arroz integral), sendo o principal componente do arroz polido. O endosperma é formado por células (amiloplastos) ricas em grânulos de amido de pequeno diâmetro com alguns corpos protéicos em seu interior e muito pouca gordura, fibras e cinzas (JULIANO & BECHTEL, 1985; HOSENEY, 1991). Os amiloplastos possuem corpos protéicos na superfície da sua parede celular (OHNO et al., 2007).

Tabela 4 - Componentes do farelo de arroz cru (em base seca) cru obtido a partir do beneficiamento da cultivar de arroz de terras altas BRS Primavera (médias seguidas dos desvios-padrão).

Proteínas (g.100 g <sup>-1</sup> )	13,34 ± 0,48
Lipídios (g.100 g <sup>-1</sup> )	21,82 ± 0,57
Carboidratos (g.100 g <sup>-1</sup> )	40,08 ± 0,82
Fibra alimentar (g.100 g <sup>-1</sup> )	16,99 ± 2,11
Cinzas (g.100 g <sup>-1</sup> )	7,76 ± 0,02

Fonte: Adaptado de Lacerda et al. (2010).

O endosperma amiláceo é o principal tecido de armazenamento do cereal, contendo a maior parte do amido e também proteínas de armazenamento. Pode ser dividido em endosperma exterior (logo abaixo da camada de sub-aleurona) e endosperma interior ou núcleo central, as quais diferem principalmente no número de grânulos de amido e corpos protéicos contidos na célula. O teor de proteínas é mais alto na camada externa e o teor de amido é maior no núcleo central (neste, os grânulos de amido são hexagonais e altamente compactos (LIKITWATTANASADE, 2009).

A remoção da casca da cariopse produz o arroz integral (ou esbramado) e a subsequente retirada do farelo deste origina o arroz polido, popularmente chamado de arroz branco. O polimento do arroz, para melhorar o aspecto comercial do grão, retira o farelo e com ele, grande parte dos nutrientes. Entretanto, o arroz onde apenas a casca foi removida é de difícil conservação, devido ao óleo contido no pericarpo e aleurona, que rancifica facilmente e o torna escuro após a cocção. Geralmente são removidas de 7 a 11% da cariopse na produção de arroz branco (ELIAS et al., 2010b; PAIVA, 2011).

Outros processos como a parboilização também podem ser aplicados aos grãos de arroz com o objetivo de modificar suas propriedades (AMATO & ELIAS, 2005).

### 2.1.2.2 Forma e dimensões do grão de arroz

As formas e dimensões dos grãos de arroz variam principalmente com o genótipo do arroz, também sofrendo influência das condições na lavoura e do grau de maturação no momento da colheita. As classificações para dimensões dos grãos e forma variam com os países, embora possam ocorrer semelhanças (Tabelas 5 e 6).

O tamanho dos grãos normalmente se refere ao arroz já beneficiado. No Brasil existe a preferência pela relação de comprimento e altura de 3:1, característica dos grãos longos e finos, também denominados de agulhinha (MAGALHÃES JÚNIOR & AGUIAR, 2012).

Tabela 5 - Classificações de comprimento (mm) de arroz beneficiado polido.

Grão	Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT	Ministério da Agricultura do Brasil*
Curto	< 5,5	<5,00
Médio	5,6 - 6,5	≥5,00 e <6,00
Longo	6,6 - 7,5	≥6,00
Longo fino	-	≥6,00**
Extralongo	> 7,6	-

\*Classificação estabelecida para amostra com, no mínimo, 80% do peso dos grãos inteiros polidos, sendo considerado “misturado” o produto que não se enquadra em nenhuma das classes descritas.

\*\*Grão longo fino: comprimento ≥6,00mm, espessura ≤1,90mm e relação comprimento/ largura ≥2,75.

Fonte: Adaptado de Martínez & Cuevas (1989) e Brasil (2009a, 2012).

Tabela 6 - Classificação quanto à forma do grão utilizada pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT.

Forma do grão	Relação comprimento/largura
Redondo	< 1,1
Arredondado	1,1 a 2,0
Médio	2,1 a 3,0
Fino	> 3,0

Fonte: Pitombeira (2006).

## 2.2 Amido, proteínas, lipídios e outros constituintes do grão de arroz

A composição química dos grãos de arroz varia amplamente, dependendo do ambiente, do solo e da variedade (ZHOU et al., 2002a). A composição do arroz varia com a porção analisada do grão (CHAMPAGNE et al., 2004; MÜLLER-FISCHER, 2013).

As condições de pré-armazenamento, de armazenamento, da variedade e do sistema de beneficiamento/processamento afetam a composição química do arroz e conseqüentemente seu efeito nutricional (Tabela 7) (AMATO e ELIAS, 2005; WALTER et al., 2008).

Tabela 7 – Composição centesimal média (% na matéria seca) de arroz integral, branco polido e parboilizado polido.

Constituinte	Arroz Integral	Arroz branco polido	Arroz parboilizado polido
Amido total	74,12	87,58	85,08
Proteínas (N x 5,95)	10,46	8,94	9,44
Lipídios	2,52	0,36	0,69
Cinzas	1,15	0,30	0,67
Fibra total	11,76	2,87	4,15
Fibra insolúvel	8,93	1,05	1,63
Fibra solúvel	2,82	1,82	2,52

Fonte: Adaptado de Storck (2004).

### 2.2.1 Amido

O amido é um carboidrato de reserva que se encontra amplamente distribuído em diversas espécies vegetais, sendo abundante em grãos de cereais (40% a 90% do peso seco), leguminosas (30% a 50% do peso seco), tubérculos (65% a 85% do peso seco) e frutas imaturas ou verdes (40% a 70% do peso seco) (LAJOLO & MENEZES, 2006; DENARDIN & SILVA, 2009).

O amido é um homopolissacarídeo, composto por cadeias de amilose e amilopectina (Tabela 8).

Tabela 8 – Características básicas da amilose e amilopectina

Propriedade	Amilose	Amilopectina
Estrutura	Linear (predominante)	Ramificada
Comprimento média de cadeia (unidades)	100-550	18-25
Grau de polimerização (DP)	700-6000	$10^3$ - $10^6$
Peso molecular médio ( $\text{g.mol}^{-1}$ )	$10^5$ - $10^6$	$10^7$ - $10^9$
Comprimento de onda máximo (nm) (cor em iodo)	640-660 (azul)	530-550 (vermelho/marrom)

Fonte: Le Corre (2011).

A amilose é um polímero de glicose relativamente longo e linear, com muito poucas ramificações, contendo mais de 99% de ligações  $\alpha$ -(1,4) e cerca de 1% de ligações  $\alpha$ -(1,6).

A amilopectina é uma estrutura polimérica de glicose pesadamente ramificada, construída com cerca de 95% de ligações  $\alpha$ -(1,4) e 5% de ligações  $\alpha$ -(1,6) (BULÉON et al., 1998; DENARDIN & SILVA, 2009; PÉREZ & BERTOFT, 2010; VAMADEVAN, 2013).

O grânulo de amido, além da glicose contida nas suas moléculas de amilose e amilopectina, pode conter também lipídios polares e fosforados, fósforo esterificado, conteúdo nitrogenado (enzimas, principalmente as sintases do grânulo de amido) e outros, na forma de complexos chamados clatratos. Os clatratos são compostos de inclusão helicoidal, originados quando o amido forma complexos com iodo, alcoóis (isobutanol) ou ácidos orgânicos (monoglicerídeos, ácidos graxos). Estes componentes diferentes da amilopectina e amilose, ainda que estejam presentes em baixas concentrações, podem afetar drasticamente as propriedades de pasta do amido e seus géis (HOSENEY, 1991; JANE, 2009).

As amiloses no amido de arroz têm valores grau de polimerização (DP) de 920-1110, comprimento de cadeia entre 250 e 370 unidade de glicose, e limites de  $\beta$ -amilólise de 73% a 84%. As amiloses de arroz são pouco ramificadas com 2-5 cadeias em média (TAKEDA et al., 1986).

A molécula de amilose ramificada com estrutura intermédia entre a amilose e amilopectina, com frequência é denominada de material intermediário (TAKEDA et al., 1993; WANI et al., 2012). Takeda et al. (1993) encontraram no arroz proporções de moléculas de amilose ramificadas lineares de 0,22:0,78 por mol e 0,32:0,68 em peso, com os valores DP de 1180 e 740, respectivamente.

O teor de amilose influi no uso, processamento, tecnologia e possíveis aplicações do arroz, por afetar entre outras propriedades físico-químicas, a turbidez, a sinérese, propriedades de pasta, gelatinização, retrogradação, a estabilidade congelamento-descongelamento e a adesividade dos grãos cozidos (KENNEDY & BURLINGAME, 2003; WANG et al., 2007; WICKRAMASINGHE & NODA, 2008).

O arroz não ceroso geralmente contém de 7 a 35,7% de amilose, correspondentes de 8 a 37% de amilose no seu amido (JULIANO, 1994; WANI et al., 2012), havendo registro valores mais altos, como 55,4% de um arroz geneticamente modificado (ZHU et al., 2011). Conforme seu teor de amilose, o arroz pode ser classificado conforme a Tabela 9.

Segundo Zavareze (2009), as diferenças no teor de amilose apresentadas pelos grânulos de amido nativo de arroz e que muitas vezes definem o comportamento de consumo dos grãos, se refletem em estruturas granulares bastante diferentes, observáveis por microscopia.

Tabela 9 - Classificação do arroz conforme o teor de amilose, comportamento do arroz cozido e qualidade do amido obtido.

Classificação	Teor de Amilose	Comportamento dos grãos cozidos	Qualidade do amido obtido
Arroz ceroso ou waxy	0 a 2%-3,25%	grãos aquosos e pegajosos	arroz de 8 a 22% de amilose produzem um amido de qualidade mais baixa, com menor densidade de grânulos de amilose e maior desuniformidade no agrupamento e formato dos grânulos.
Arroz com muito baixo teor de amilose	2 a 12%		
Arroz com baixo teor de amilose	12 a 20%		
Arroz com conteúdo intermediário de amilose	20 a 25%	grãos macios e menos pegajosos	arroz de alta amilose (entre 28 e 32%) produzem um amido de qualidade superior, com formato uniforme e alta aglomeração dos grânulos de amido
Arroz com alto teor de amilose	>25%	grãos secos, soltos e mais firmes, que após o resfriamento podem ficar endurecidos	

Fonte: Adaptado de Martínez & Cuevas (1989), Juliano (1994), Techawipharat et al. (2008), Pereira & Rangel (2001), Zavareze (2009), Wani et al. (2012) e Odenigbo et al. (2013).

Arroz de alta amilose e arroz com amilose intermediária têm cadeias mais longas de amilose quando comparados ao arroz de baixa amilose. Cadeias de amilose são notadamente muito longas em arroz de alta amilose (ZHU et al., 2011).

Arrozes com baixo teor de amilose (faixa de 18%, como o tailandês Jasmine) não são adequados para produção industrial de macarrão ou *snacks*. Este teor é muito baixo para gerar uma textura elástica para o macarrão, e demasiado elevado para a formação da espuma sólida com boas propriedades de textura para os *snacks* (LIKITWATTANASADE, 2009).

As amilopectinas do amido de arroz podem ter grau de ramificação de 8200-12800, comprimento de cadeia de 19 a 23, limites  $\beta$ -amilólise entre 49% e 59% (TAKEDA et al., 1987; WANG et al., 2010), com média de comprimentos de cadeia externa de 11,3 a 15,8 e comprimentos médios de cadeia interna de 3,2 a 5,7 (LU et al., 1997).

Os comprimentos de cadeia ramificada da amilopectina são maiores, por exemplo, nas variedades índicas do que nas japônicas (REED et al., 2013). Amidos de arroz ceroso japônica têm menores comprimentos de cadeia (17 a 19) (WANI et al., 2012).

Nos amidos de arroz com diferentes conteúdos de amilopectina, as cadeias curtas com grau de polimerização (DP) até 12 (ou  $DP \leq 12$ ) correlacionam-se negativamente com a temperatura de gelatinização de fusão, enquanto que as cadeias com DP 13 a 24 correlacionam-se positivamente com a temperatura de fusão de gelatinização (CHÁVEZ-MURILLO et al., 2012).

No arroz, o amido é geralmente considerado como o constituinte mais importante em termos de qualidade de cozimento e funcionalidade, mas a presença de proteínas com ligações dissulfeto confere resistência ao corte e rigidez à pasta gelatinizada de amido de arroz (HAMAKER & GRIFFIN, 1993; XIE et al., 2008; WANI et al., 2012).

Pastas de amidos de arroz, milho e trigo, com teores relativamente elevados de amilose se tornam opacas e formam géis durante o resfriamento. Pastas obtidas de féculas de batata ou de mandioca, geralmente permanecem mais claras (menos opacas) e ao resfriar, apresentam elevação da viscosidade, mas não formam géis opacos. Pastas de amido de milho ceroso se assemelham às das féculas, tendo menor tendência à retrogradação (SILVA, G. de O. et al., 2006).

As diferenças nas propriedades reológicas dinâmicas (medidas em modernos reômetros de estresse controlado) de amidos de arroz ocorrem devido à variação no teor de amilose, à variedade, ao comprimento de cadeia ramificada e distribuição da amilopectina (WANG et al., 2010; WANI et al., 2012).

### 2.2.2 Proteínas

O conteúdo protéico do arroz classifica-o como um cereal de baixo teor protéico, sendo em média de 8,8% (base seca), oscilando entre 4,5% e 15,9%, conforme a Tabela 10, dependendo principalmente das diferenças varietais (características genótípicas), da adubação nitrogenada, radiação solar e da temperatura durante o desenvolvimento do grão (KENNEDY & BURLINGAME, 2003; PITOMBEIRA, 2006; WALTER et al., 2008; HELBIG, 2010).

Apesar de o conteúdo protéico do arroz ser considerado baixo, a utilização líquida de proteína no arroz é mais elevada do que a maioria dos cereais, sendo cerca de 73,8% (BEAN & NISHITA, 1985; KIM et al., 2013). As proteínas prolaminas do arroz possuem propriedades bioativas por ativarem a imunidade humana antileucemia sem induzir a doenças inflamatórias indesejáveis (CHEN et al., 2010).

Tabela 10 – Conteúdo protéico de arroz polido de diferentes continentes (valores % em base seca).

Fonte	Número de amostras	Variação das proteínas (%)	Proteínas (Média em %)
<i>Oryza sativa</i> L.			
Ásia	1626	4,5 – 15,9	8,7
Austrália	24	5,7 – 11,4	7,6
América do Norte	190	4,5 – 14,8	8,2
América do Sul	301	5,7 – 14,8	9,0
Europa	233	5,7 – 14,8	8,0
África	300	5,7 – 12,5	8,3
Total	2674	4,5 – 15,9	8,8
<i>Oriza glaberrima</i>	195	10,2 – 15,9	13,6

Fonte: Dados adaptados a partir de Juliano & Villareal (1993) por Kennedy & Burlingame (2003).

Os conteúdos de proteína variam com a região do grão, alcançando aproximadamente de 3% na casca, 17% no farelo e 8% no arroz polido (Tabela 11) (LASZTITY, 1995; LIKITWATTANASADE, 2009).

As proteínas se encontram nas diferentes partes do grão de arroz em diversos teores, mas a maioria se localiza dentro das células do endosperma (como proteínas de armazenamento e enzimas de síntese e degradação), situadas como corpos protéicos entre os grânulos de amido (AGBOOLA et al., 2005).

Ocorre redução no teor de proteínas à medida que são retiradas as camadas superficiais do grão, pois o conteúdo diminui progressivamente da periferia para o



interior da cariopse (AMATO et al., 2002; GOMES & MAGALHÃES JÚNIOR, 2004; ZAVAREZE, 2009).

Tabela 11 – Conteúdo aproximado de proteínas do arroz com casca e suas frações.

Fração do arroz	Proteína bruta (g de N x 5,95) (base úmida: 14% de umidade)
Arroz com casca	5,6 – 7,7
Arroz integral	7,1 – 8,3
Arroz polido	6,3 – 7,1
Farelo de arroz	11,3 – 14,9
Casca de arroz	2,0 – 2,8

Fonte: Adaptado de Juliano (1993).

O processamento do arroz influi em toda a sua composição química, na medida em que o polimento remove as camadas externas e/ou quando o arroz é submetido a tratamentos hidrotérmicos, como a parboilização (Tabela 12).

Tabela 12 – Composição química e valor energético (em 100g) de arrozes polido, parboilizado e integral produzidos a partir da cultivar híbrida Inov CL (umidade 12,5%).

	Arroz polido	Arroz parboilizado	Arroz integral
Composição química (g)			
Carboidratos	78,7	76,3	72,4
Proteínas	7,3	7,6	8,2
Gorduras Totais	0,3	0,6	2,0
Fibra Alimentar	1,0	2,5	3,6
Umidade	12,5	12,5	12,5
Cinzas (Resíduo Mineral Fixo)	0,2	0,5	1,3
Valor Energético (kcal)	347	341	341

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2010).

As proteínas do arroz são consideradas valiosas porque não apresentam cor, são ricas em aminoácidos essenciais, possuem sabor brando, sendo hipoalergênicas e hipocolesterolêmicas (CHRASTIL & ZARINS, 1992), principalmente as de baixo peso molecular (26kDa) (FURLONG, 2012).

Nas avaliações químicas, o teor de proteína bruta era usualmente calculado a partir do nitrogênio Kjeldhal, multiplicado pelo fator 5,95, baseado no teor de nitrogênio (16,8%) da principal proteína do arroz, a glutelina (LIKITWATTANASADE, 2009), porém existe uma recomendação mais recente do uso do fator 5,7 para determinação de proteínas do arroz (SOSULSKI & IMAFIDON, 1990; HEINEMANN

et al., 2005; FURLONG, 2012). O conteúdo total de proteínas também pode ser avaliado a partir da soma de todos os aminoácidos presentes.

A qualidade da proteína depende de seu conteúdo em aminoácidos. Similar a outros cereais, o arroz apresenta a lisina como aminoácido limitante (WALTER et al., 2008). O conteúdo no arroz do aminoácido lisina é um dos mais elevados entre os cereais de grande consumo (MAIA et al., 2000). O arroz é relativamente rico em aminoácidos sulfurados (ZANÃO, 2007).

Assim como são observadas variações no teor total de proteínas, também existem diferenças na composição em aminoácidos das proteínas entre o farelo e os arrozes integral, parboilizado e polido (Tabelas 13 e 14) (WALTER et al., 2008).

Tabela 13 - Teor de aminoácidos (g em 100g de arroz) de farelo de arroz, arroz integral e parboilizado.

Arroz	Farelo de arroz	Arroz integral	Arroz integral	Arroz integral	Arroz parboilizado
	Cultivar não especificada	Cultivar Ningjing 1*	84 cultivares coreanas nativas	Cultivar de grão longo	Cultivar de grão longo
Aminoácido					
1 Ácido aspártico	1,308	0,86	0,662	0,743	0,795
2 Ácido glutâmico	1,854	1,62	1,144	1,618	1,395
3 Alanina	0,970	0,51	0,403	0,463	0,433
4 Arginina	1,058	0,68	0,607	0,602	0,651
5 Cisteína	ND	0,34	ND	ND	ND
6 Cistina	0,317	ND	ND	0,096	0,153
7 Fenilalanina	0,635	0,72	0,363	0,410	0,398
8 Glicina	0,875	0,44	0,285	0,391	0,358
9 Histidina	0,355	0,23	0,169	0,202	0,185
10 Isoleucina	0,568	0,41	0,260	0,336	0,339
11 Leucina	1,022	0,89	0,550	0,657	0,656
12 Lisina	0,650	0,33	0,318	0,303	0,215
13 Metionina	0,306	0,28	0,063	0,179	0,183
14 Prolina	0,668	0,41	0,361	0,372	0,484
15 Serina	0,662	0,43	0,336	0,411	0,366
16 Tirosina	0,411	0,56	0,177	0,298	0,216
17 Treonina	0,555	0,33	0,225	0,291	0,271
18 Triptofano	0,108	ND	ND	0,101	0,103
19 Valina	0,881	0,68	0,370	0,466	0,470
Total (%)	13,203	9,72	6,293	7,939	7,671
Umidade (%)	6,13	ND	ND	10,37	9,86
Fonte: valores adaptados de	USDA (2013a)	Ning et al. (2010)	Zhao et al. (2009)	USDA (2013b)	USDA (2013c).

ND: não determinado ou não informado.

\*Arroz analisado logo após a colheita, com 90kg.ha<sup>-1</sup> de Nitrogênio (técnica MN82).

A determinação de aminoácidos geralmente é realizada por HPLC (Cromatografia Líquida de Alta Performance ou *High Performance Liquid Chromatography*). A metodologia por HPLC é mais lenta, porém mais precisa na determinação dos resultados do que a avaliação por NIRS (Espectroscopia de

Reflectância Próxima ao Infravermelho ou *Near-Infrared Reflectance Spectroscopy*) (WU et al., 2002), ainda que as calibrações dos equipamentos para NIRS tenham evoluído bastante e pretendam auxiliar programas de melhoramento de linhagens e facilitar controles de qualidade de alimentos em indústrias (ZHANG et al., 2011). No entanto, a determinação do teor de proteínas e suas principais frações (prolamina, globulina e glutelina) podem ser estimadas com precisão aceitável por NIRS (CHEN et al., 2008).

Além dos aminoácidos protéicos, o arroz também apresenta pequena quantidade de aminoácidos livres, localizados principalmente no gérmen ( $594,9\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) e no farelo ( $361,4\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ), com pequena concentração no endosperma ( $52,7\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ). Entre os aminoácidos livres, predominam aspartato e glutamato, que correspondem a aproximadamente 60% do total (SAIKUSA et al., 1994; WALTER et al., 2008).

O ácido aminobutírico (ou GABA, do inglês *gamma amino butyric acid*), um componente bioativo, ocorre em maior concentração no arroz integral ( $0,05\text{mg}\cdot \text{g}^{-1}$ ) do que no arroz polido, por ser encontrado no germe e camadas de farelo (CHAMPAGNE et al., 2004; ROOHINEJAD et al., 2009; FURLONG, 2012).

Tabela 14 - Teor de aminoácidos (g em 100g de arroz) de arroz polido.

Arroz	Arroz polido Cultivar Ningjing 1*	Arroz polido Cultivares índicas	Arroz polido Cultivar de grão longo
Aminoácido			
1 Ácido aspártico	0,71	1,170	0,670
2 Ácido glutâmico	1,36	2,140	1,389
3 Alanina	0,44	1,060	0,413
4 Arginina	0,56	0,781	0,594
5 Cisteína	0,31	ND	ND
6 Cistina	ND	0,099	0,146
7 Fenilalanina	0,68	0,510	0,381
8 Glicina	0,37	0,994	0,325
9 Histidina	0,21	0,340	0,168
10 Isoleucina	0,35	0,566	0,308
11 Leucina	0,77	1,030	0,589
12 Lisina	0,25	0,425	0,258
13 Metionina	0,29	0,161	0,168
14 Prolina	0,40	0,671	0,335
15 Serina	0,39	0,708	0,375
16 Tirosina	0,57	0,417	0,238
17 Treonina	0,30	0,503	0,255
18 Triptofano	ND	ND	0,083
19 Valina	0,71	0,895	0,435
Total (%)	8,670	12,470	7,13
Umidade (%)	ND	ND	11,62
Fonte: valores adaptados de	Ning et al. (2010).	Wu et al. (2002).	USDA (2013d).

ND: não determinado ou não informado.

\*Arroz analisado logo após a colheita, com  $90\text{kg}\cdot \text{ha}^{-1}$  de Nitrogênio (técnica MN82).

O GABA é um aminoácido não protéico que se acumula nas plantas e tecidos de mamíferos, em bactérias e leveduras (WANG et al., 2006; KOMATSUZAKI et al., 2007; ROOHINEJAD et al., 2009), que desempenha um papel notável no tratamento de várias doenças. O GABA atua como um dos principais neurotransmissores inibidores do sistema nervoso central. Muitos distúrbios neurológicos (tais como convulsões, doença de Parkinson, síndrome de Stiffman e esquizofrenia) estão relacionadas com alterações dos níveis de GABA no cérebro (BAO et al., 1995; ROOHINEJAD et al., 2009). Peptídios ricos em cisteína contribuem para melhorar a absorção de ferro no intestino humano (COSTA, 2004).

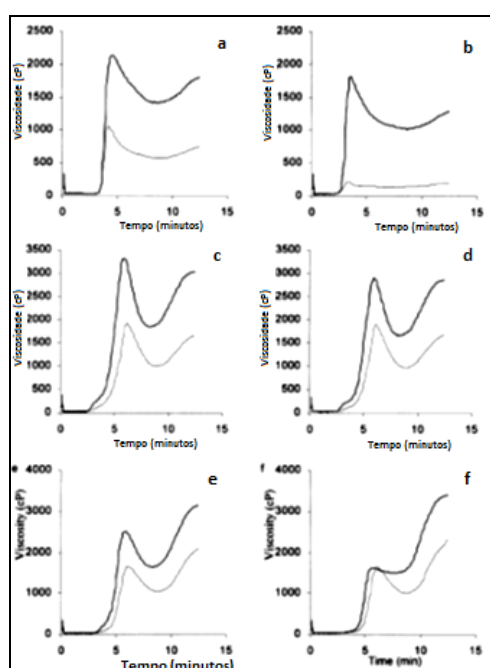
No arroz polido, o teor de aminoácidos sulfurados, particularmente a metionina, é relativamente elevado, mantendo-se a lisina como o aminoácido limitante para sua utilização pelo organismo humano. A mistura de cereais com leguminosas equilibra a qualidade protéica (valor biológico), conforme a proporção e os vegetais combinados (HELBIG, 2010), a exemplo da dupla de uso consagrado na dieta brasileira: o prato de arroz com feijão, onde a disponibilidade de lisina do arroz é equilibrada pelo feijão (ZANÃO, 2007).

Na maior parte dos cereais, os tipos e as quantidades de proteína afetam significativamente a utilização final do grão. As proteínas contribuem de modo diferente em cada parte da curva de viscosidade, para cada variedade de arroz (Figura 3). Isto sugere que para cada variedade ocorrem efeitos resultantes da quantidade, arranjo ou distribuição do peso molecular das proteínas presentes, e das suas diferentes interações com o amido (CHRASTIL, 1994; SUGIMOTO et al., 1986; MARTIN & FITZGERALD, 2002).

As proteínas afetam a quantidade de água que o arroz absorve no início do cozimento. A disponibilidade de água no início da cocção determina o grau de hidratação das proteínas e a concentração das fases dispersa e viscosa do amido, que irão determinar a textura do arroz cozido (MARTIN & FITZGERALD, 2002). Uma vez que as proteínas representam apenas cerca de 8% de farinha de arroz, mas se ligam cerca de 40% da água da cocção, a remoção de proteínas irá aumentar a quantidade de água disponível, diluindo as fases dispersa e viscosa do amido (DUNN et al., 2000; MARTIN & FITZGERALD, 2002).

As ligações de dissulfeto afetam a viscosidade, mas não afetam a capacidade de ligação das proteínas com a água. O conjunto de proteínas difere de uma variedade para outra com relação à quantidade de ligações de sulfeto. Uma vez

que a distribuição do peso molecular da orizenina varia aproximadamente de 17 a 43 daltons e suas subunidades se ligam por ligações dissulfeto (S-S), e a distribuição do peso molecular reflete a quantidade de ligações de sulfeto (S-H), então é provável que a fração orizenina não esteja ligada com o mesmo número de ligações de S-S em todas as variedades (CHRASTIL, 1990; CHRASTIL & ZARINS, 1992; 1994; MARTIN & FITZGERALD, 2002).



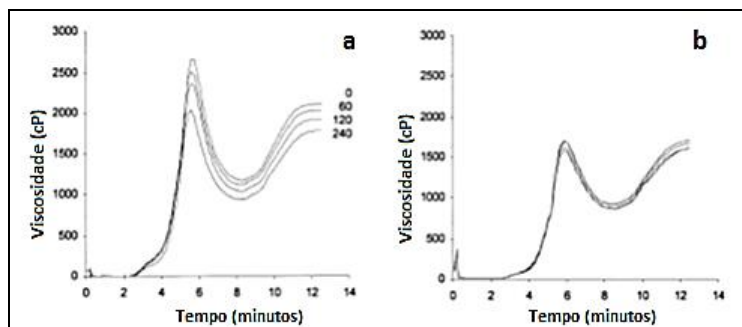
Legendas: (a) arroz Tarra 140 (0% de amilose), (b) arroz Mochi Shimuzi (0% de amilose), (c) arroz Koshihikari (18% de amilose), (d) arroz Amaroo (18% de amilose), (e) arroz Doongara (25% de amilose), e (f) arroz Basmati comercial (25% de amilose).

Figura 3 - Curvas de viscosidade de farinha de arroz (em preto) e de farinha tratada por protease (em cinza) para seis variedades de arroz, compondo três pares com o mesmo teor de amilose.

Fonte: Adaptado de Martin & Fitzgerald (2002).

Os resultados demonstram claramente que as proteínas influenciam as curvas de viscosidade, tanto através de ligação da água, o que aumenta a concentração da fase dispersa do amido gelatinizado e viscoso, como por meio da ação de sua rede ao redor dos grânulos, ligada por pontes de dissulfeto (CHEN et al, 2007).

Taxas crescentes de aplicação de nitrogênio no solo diminuem a altura do pico de viscosidade (Figura 4), de forma consistente com a ação de mais ligações dissulfeto contribuindo para manter a rede ao redor do amido mais amarrada, resultando em menores viscosidades (MARTIN & FITZGERALD, 2002).



Legendas: (a) as curvas de viscosidade das farinhas com 0, 60, 120 e 240 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, e (b) as curvas de viscosidade das mesmas farinhas tratadas com tampão de tricina-protease para remoção das proteínas. O tratamento com protease remove as diferenças entre as curvas, e para todas as curvas, diminui o *breakdown* (viscosidade de quebra) e a diferença entre a viscosidade final e o *trough* (viscosidade mínima).

Figura 4 - Curvas de viscosidade de farinha de arroz de uma mesma variedade cultivadas com diferentes aplicações de doses de nitrogênio no solo.

Fonte: Adaptado de Martin & Fitzgerald (2002).

O aumento do teor de prolamina causa queda na temperatura de pasta, viscosidades de pico e finais, diminui a dureza do gel e a adesividade, mas aumenta a viscosidade de quebra (*breakdown*). As glutelinas parecem ter efeito oposto. Estes efeitos contrastantes significam que as características de pasta e de textura da farinha de arroz são provavelmente resultado das proporções relativas de prolamina para glutelina. Os índices de prolamina / glutelina em arroz são determinados principalmente pelo genótipo, mas a aplicação de nitrogênio também influi, indicando que pode ser possível produzir arroz com níveis desejados de certas características de pasta e textura através do direcionamento via programas de melhoramento e práticas agrônômicas (NING et al., 2010).

As proteínas do arroz afetam a viscosidade e a dureza da superfície do grão. O arroz de alta proteína é muito mais firme do que o arroz com baixo teor de proteína (OKADOME et al., 1999; TAMAKI et al., 1989). A temperatura de gelatinização da proteína é um pouco menor do que a do amido (MATVEEV et al 2000) por isso, quando os grãos são cozidos em água limitada, por exemplo, numa panela de arroz, quanto maior o seu teor de proteína, mais proteínas se ligarão à água, deixando menos água disponível para o inchamento dos grânulos de amido e para lixiviação da amilose (MARTIN & FITZGERALD, 2002).

O aumento nas ligações S-S durante o armazenamento do arroz reduz o pico de viscosidade devido à maior firmeza das interações da rede protéica com o amido, enquanto o rompimento da ligação S-S aumenta a viscosidade.

## **2.3 Qualidade de consumo do arroz**

### **2.3.1 Comportamento na cocção**

Conforme já mencionado, o mercado brasileiro paga mais por arroz com características de grãos soltos após a cocção, de alto rendimento de inteiros e renda após e beneficiamento e cujo grão polido possui aspecto visual uniforme, vítreo, com baixo teor de gessados e sem defeitos.

A soltabilidade do arroz cozido é uma característica de qualidade de consumo cuja preferência está mais evidente no Brasil.

A qualidade de consumo, de cocção ou culinária do arroz é o comportamento esperado logo após a cocção (GULARTE, 2012).

As qualidades de consumo e sensoriais de um arroz tipicamente incluem o tempo de cozimento; as propriedades de textura do arroz cozido, a intensidade do aroma e sua liberação ou retenção após o cozimento, e a capacidade de permanecer macio por várias horas após o cozimento. A expressão previsível dessas características ao longo das estações e dos anos de produção e uso fornece a uma variedade de arroz a sua reputação (FITZGERALD; McCOUCH & HALL, 2009).

A qualidade de cocção, também chamada qualidade de panela, é afetada principalmente por fatores genéticos, responsáveis pelas diferenças de proporção entre os constituintes das cultivares (principalmente de amilose, proteínas e lipídios) que afetam os arranjos estruturais e a performance de cocção (FONSECA et al., 2005; CUTRIM et al., 2006; FONSECA & CASTRO, 2008; LOPES et al., 2009; KAMINSKI, 2012).

A qualidade de cocção do arroz também é influenciada pelo ambiente, produção e manejo no campo, pois o cultivo em alta temperatura, momento e desuniformidade de maturação e umidade de colheita inadequada, entre outros, podem acarretar em alta incidência de grãos gessados, barriga branca e trincados, comprometendo características tecnológicas e sensoriais, como aspecto visual e

qualidade geral (PITOMBEIRA, 2006; ISHIMARU et al., 2009; ALVES et al., 2009; MORAIS, 2012; KAMINSKI, 2012).

A presença de fissuras (ou trincas) no arroz cozido reduz sua aceitação (Figura 5). As fissuras estão associadas às características genotípicas do arroz (HORIGANE et al., 2000).

No arroz cru, as fissuras podem ser causadas por impactos mecânicos e/ou térmicos, a exemplo de secagem e do processo de temperagem do arroz, que podem expor os grãos a amplos gradientes térmicos em pouco tempo, gerando tensões internas que promovem fissuras e mesmo a quebra dos grãos (DONG et al., 2010). Também são de ocorrência comum, principalmente em cultivares de grãos longos, as fissuras longitudinais, que ocorrem principalmente ao longo da linha dorsal do grão (GULARTE, 2012).

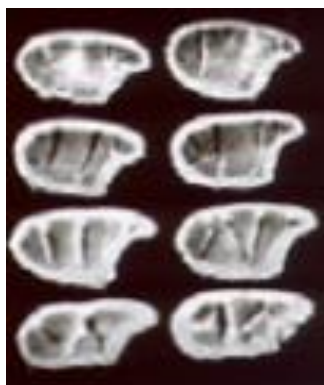


Figura 5 – Seção longitudinal com muitas fissuras transversais do arroz Koshihikari, já aparentes após 5 minutos de cozimento em água.

Fonte: Horigane et al. (2000).

Em adição aos fatores de influência mencionados anteriormente, as diferenças na qualidade de cocção também podem ser atribuídas às diferenças de enchimento dos grãos na planta, em função da dinâmica da formação da amilose, durante os estágios de maturação dos grãos na planta, conforme Cai et al. (2011), num experimento em que foram analisados dois tipos de grãos maduros de arroz chineses, ambos com 15% de amilose, mas de comportamentos distintos registrados pelo RVA e pelo DSC. Para os autores, uma taxa de enchimento de grãos muito rápida no início e uma taxa bem mais lenta no final da fase enchimento de grãos favoreceu a formação de grãos gessados, que contribuíram adicionalmente no aumento da adesividade do arroz cozido que apresentou esta dinâmica.



O comprimento dos grãos também parece estar relacionado com a viscosidade. Grãos curtos tendem a ser mais pegajosos em comparação com os longos (GULARTE, 2012).

A amilose exerce grande efeito na qualidade de cocção, porém cultivares de arroz com teor de amilose semelhantes podem diferir nas suas propriedades de textura. O aumento do teor de proteínas reduz a adesividade e eleva a dureza dos grãos do arroz cozido. Logo, alguns parâmetros físico-químicos além da determinação de amilose são considerados para justificar estas diferenças, como o teor de proteína e outros parâmetros, que também auxiliam a caracterização dos grãos, como o grau de dispersão em álcalis (ASV), a consistência do gel, o perfil de viscosidades (amilograma) e a estrutura fina amilopectina. O ASV (indicador da faixa de temperatura de gelatinização), é útil para discriminar a textura do arroz cozido de cultivares com teor de amilose intermediário e alto, informando sobre a energia necessária para a completa gelatinização.

O teste de consistência do gel é usado principalmente para diferenciar a qualidade de cocção de arrozes de alta amilose. O perfil de viscosidade (amilograma) serve para identificar grãos de arroz macios e duros após o cozimento. A determinação da estrutura da amilopectina identifica a presença de longas cadeias de amilopectina, geralmente associada positivamente com a dureza do arroz cozido, por reforçarem os grânulos de amido através da interação intermolecular, o que contribui para uma textura mais firme (PATINDOL et al., 2010).

A presença de proteínas e lipídios na superfície do grânulo de amido contribui significativamente para a química desta superfície e para as propriedades do grânulo de amido, como um todo (BALDWIN, 2001), com consequências na qualidade de cocção do arroz.

A qualidade de cocção do arroz é bastante afetada pelo tempo de armazenamento dos grãos. Na maturação pós-colheita, as alterações que ocorrem nas propriedades dos grãos armazenados afetam a qualidade de cocção do arroz, tornando os grãos mais macios e soltos após o cozimento, sendo mais intensas no arroz beneficiado que no arroz em casca. Por esta razão, é comum indústrias armazenarem o arroz recém-colhido, especialmente no caso de cultivares com maior tendência de empapamento dos grãos, aguardando as mudanças de comportamento culinário, para então produzir o arroz polido. O tempo necessário para a maturação pós-colheita difere entre as cultivares. Mesmo para as variedades

de melhor aporte genético com relação à cocção, há um tempo mínimo necessário de descanso para o atingimento da qualidade culinária desejada aceitável (FONSECA et al., 2005; CUTRIM et al., 2006; SILVA, P. M. et al., 2006; FONSECA & CASTRO, 2008; LOPES et al., 2009; KAMINSKI, 2012).

A qualidade de cocção do arroz é afetada também pelo beneficiamento do arroz, em função da intensidade do polimento e da eficiência da separação dos defeitos (ELIAS, 2007; FAGUNDES et al., 2009; KAMINSKI, 2012).

A qualidade de cocção do arroz é ainda influenciada pelo modo do seu preparo (por exemplo, com a fritura ou não do arroz, cocção com água fria ou fervente, pH da água, cocção a vapor, utilização de ultrassom, volume de água utilizada e tempo de cozimento). Um arroz considerado de boa qualidade com relação à solubilidade 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 uso de ingredientes (BASSINELLO et al., 2004; GULARTE et al., 2005; BETT-GARBER et al., 2007; SILVA et al., 2007; GHASEMI et al., 2008, 2009; FITZGERALD; McCOUCH & HALL, 2009; CUI et al., 2010; KAMINSKI, 2012).

O uso de ácidos na água de cocção aumenta a porosidade dos grãos cozidos (assim como a cocção a vapor), e promove maior aderência entre os grãos cozidos (GHASEMI et al., 2008, 2009). O uso de ácido acético na água de cocção também aumenta a extração de proteínas do arroz pela elevação da solubilidade (e dissolução) de albumina, globulina, e glutelina (OHISHI et al., 2003). O uso de fosfatos na água de cocção do arroz faz com que os grãos cozidos tenham sua firmeza retardada no armazenamento (KIM & KIM, 1984).

O ultrassom acelera a cocção do arroz integral (pela alteração da morfologia da camada de farelo, aumentando a velocidade de hidratação), reduz a cristalinidade do amido e modifica as propriedades de pasta (CUI et al., 2010).

A qualidade de consumo do arroz (expressa por parâmetros de avaliação como maciez, adesividade/solubilidade, sabor e odor, entre outros), e resumidamente, é uma característica que depende basicamente da cultivar, sendo função da composição e das propriedades físico-químicas do grão que delas derivam e são modificadas ao longo do tempo.

No arroz, a amilose está relacionada às propriedades de maciez, coesão, cor, brilho e volume de expansão, e todos estes fatores determinam a qualidade de

consumo do arroz (GULARTE, 2012). Arroz cozido com baixo teor de amilose geralmente se apresenta mais macio e empapado, enquanto arroz com alta amilose é relativamente mais firme e solto (DERYCKE et al., 2005). De um modo geral, o teor de amilose, a consistência do gel e a temperatura de gelatinização influem fortemente na qualidade de cocção e sensorial dos grãos de arroz (TAN et al., 1999).

As diferenças de viscosidade lidas em amilógrafo da farinha e do amido de arroz (DERYCKE et al., 2005) sugerem que outros componentes diferentes da amilose também afetam as propriedades de cocção do arroz.

A razão amilose/amilopectina do material lixiviado na água de cocção (RAA) pode ser utilizada como um índice de textura simples para o arroz. Em geral, cultivares que apresentam grãos macios e mais grudados após o cozimento apresentam uma proporção de amilopectina lixiviada maior do que a amilose ( $RAA < 1$ ), enquanto que as cultivares de grãos cozidos mais secos e firmes cozinham lixiviando mais amilose do que amilopectina ( $RAA > 1$ ). A quantidade de material lixiviado também é maior para cultivares de grãos cozidos macios e pegajosos (que empapam) do que aquelas de grãos mais firmes e soltos. Dados indicam que a dureza de um arroz cozido é função da amilose e que a aderência é atribuível à amilopectina. As diferenças das cultivares quanto às características de lixiviação são afetadas pelo teor de amilose do arroz, proteína, e pela distribuição do comprimento da cadeia da amilopectina, em particular, a proporção relativa entre cadeias ramificadas longas e curtas (PATINDOL et al., 2010).

As longas cadeias B na amilopectina levam a uma textura firme no arroz cozido. O encurtamento de tais cadeias produz um arroz cozido mais brando (RAMESH et al., 1999; RADHIKA REDDY et al., 1994; DERYCKE et al., 2005).

A proteína é o mais abundante componente do grão de arroz depois do amido. Apesar de as qualidades de consumo do arroz e de processamento das farinhas de arroz serem principalmente atribuídas ao amido do grão, as proteínas de armazenamento de arroz desempenham algumas funções na determinação das qualidades de cocção, principalmente na textura, com relação à maciez e soltabilidade do arroz cozido (RAMESH et al., 2000; LIKITWATTANASADE, 2009).

Estudos de Champagne et al. (1999) demonstraram que muitas cultivares com conteúdo similar de amilose apresentaram diferentes propriedades de pasta e de textura (XIE et al., 2008), indicando as proteínas como importantes responsáveis por estas diferenças, por exemplo, pela redução da adesividade e pelo aumento da

dureza dos grãos cozidos com o aumento em seu conteúdo (PATINDOL et al., 2010), sendo também as proteínas do arroz um fator de modificação que pode impedir a retrogradação do amido do arroz (WU et al., 2010).

As propriedades térmicas das proteínas, do amido e da farinha de arroz podem fornecer uma indicação sobre as propriedades de cozimento e os efeitos físicos e químicos resultantes no arroz. As temperaturas de desnaturação da albumina, globulina e glutelina, num estudo de Ju et al. (2001), foram 73,3°C; 78,9°C e 82,2°C, respectivamente (a prolamina não foi avaliada), valores ligeiramente menores do que a temperatura de gelatinização do amido (84,7°C). A temperatura de transição de fase do amido de arroz é a sua temperatura de gelatinização. No mesmo estudo, a temperatura de gelatinização da farinha de arroz (80,5°C), que continha 8,8% de proteína foi menor do que a do amido de arroz (84,7°C). Estes resultados indicaram que o aquecimento de 73 a 85°C é crítico para se cozinhar o arroz e para a formação da textura (JU et al., 2001). Porém, o arroz cuja farinha apresenta temperaturas de gelatinização inferiores a esta faixa (COSTA et al., 2010) inicia seu cozimento dos grãos proporcionalmente antes, reforçando a influência do genótipo nestes valores.

Proteínas e lisina também estão associadas à qualidade de cocção do arroz, juntamente com as propriedades e composição do amido (DUAN & SUN, 2005). Aminoácidos com carga positiva (arginina e lisina), negativa (ácido aspártico e ácido glutâmico) e neutra (leucina e alanina) foram adicionados a amido de arroz para verificação do seu efeito nas propriedades de pasta. Os aminoácidos carregados diminuíram significativamente as viscosidades de pasta (mínima e final), mas aumentaram o *breakdown* (quebra). Os aminoácidos neutros (alanina e leucina) foram menos efetivos do que os com carga. Alanina (a 2%) diminuiu a tendência à retrogradação com poucos efeitos nas propriedades de pasta de amido (LIANG & KING, 2003).

A presença de cisteína durante um processo de envelhecimento acelerado de arroz em casca a 60°C por 5 dias não teve efeito significativo no perfil de pasta por RVA do arroz polido. No entanto, a adição de 25 mM de cisteína durante a cocção reduziu no RVA a força de retenção (*holding*), a viscosidade final e o *setback* (retrogradação) da farinha de arroz envelhecida (LIKITWATTANASADE, 2009). O abaixamento do teor de proteína (extraída por álcalis) mostrou que quando a proteína foi removida, o envelhecimento acelerado não teve efeito significativo sobre as propriedades de pasta. No entanto, a remoção da proteína causou aumento marcado da viscosidade de pico e do *breakdown* (quebra). A avaliação por SDS-PAGE (dodecil

sulfato de sódio em Eletroforese com Gel de poliacrilamida) da fração glutelina com  $\beta$ -mercaptoetanol indicou que a proteína existe em sub-unidades ligadas por ponte dissulfeto em arroz novos e velhos (LIKITWATTANASADE, 2009).

A orizenina (glutelina) é composta por sub-unidades que são ligadas por ambas ligações dissulfídicas intra e intermoleculares. Quando diferenças no conteúdo bruto de proteína foram examinadas em relação à textura de arroz cozido, apenas uma fraca correlação foi encontrada, onde o maior teor de proteína estava associado a um arroz mais firme do que um arroz com baixo teor de proteínas (mais tenro) (XIE et al., 2008).

A quantidade, composição e distribuição das proteínas armazenadas na semente afetam o aroma e a qualidade de consumo do grão de arroz (KIM et al., 2009; TORIYAMA et al., 2005). As proteínas, proporcionalmente, são os principais absorvedores de água do grão, aumentando a viscosidade significativamente. Quando são removidas, as curvas de viscosidade das variedades cerosas são grandemente reduzidas. As proteínas não causam variações no parâmetro viscosidade de pico (CUEVAS & FITZGERALD, 2008).

O teor de lipídios do arroz é dependente do seu genótipo (COSTA et al., 2010). Um maior teor de lipídios no arroz pode dificultar a penetração de água (por exemplo, prolongando a operação industrial de encharcamento, realizada no processo de parboilização) e aumentar o tempo de cozimento do arroz.

Os lipídios do endosperma estão associados à amilose (PÉREZ & BERTOFT, 2010). Os lipídios são divididos em lipídios livres e ligados, os quais variam entre si na sua resposta ao tempo e à temperatura de armazenamento, com efeito na cocção. Os lipídios ligados (extraíveis por em solução aquosa aquecida de álcoois, como o propanol) se apresentam mais estáveis do que os lipídios livres (solúveis em éter de petróleo). Os ácidos graxos saturados parecem ter a preferência nas associações com a amilose para formação de complexos (clatratos), apresentando (devido à natureza de suas ligações), mais estabilidade frente ao tempo de armazenamento do que os ácidos graxos insaturados (normalmente mais instáveis pela presença das duplas ligações), presentes por sua vez em maior proporção nos lipídios livres (ZHOU et al., 2003a). Os produtos das reações de oxidação de lipídios que ocorrem durante o armazenamento podem causar sabor e odor de ranço, perceptíveis tanto no arroz cru como no cozido, prejudicando a sua qualidade de consumo (CHAMPAGNE, 2008).

### 2.3.2 Efeitos do armazenamento na qualidade de cocção

O tempo decorrido desde a colheita do arroz é um fator comprovado pelas indústrias que melhora a performance do arroz para a obtenção de grãos cozidos mais soltos, porém as causas indicam possibilidades e não são perfeitamente conhecidas.

O tempo de armazenamento não resolve problemas de cocção de arrozes que empapam muito, transformando-os em arrozes de grãos soltos, mas melhora a soltabilidade de grãos de comportamento intermediário, que se aproximam da condição de grãos mais soltos, quanto mais velho for o arroz. O tempo pós-secagem considerado por indústrias brasileiras de variedades produzidas no estado do RS em geral é de 3 a 6 meses.

As mudanças ocorrem a partir de 3 a 6 meses após a colheita, nos arrozes em casca, integral e polido, sendo as mudanças mais facilmente observadas no arroz polido (FONSECA et al., 2005; ZANÃO, 2007).

Conforme Pérez & Juliano (1981), o armazenamento de arroz à temperatura ambiente (28-30°C) durante 3 meses diminuiu o seu conteúdo de nutrientes, com velocidade dependente da variedade. O tempo de armazenamento também diminuiu as propriedades funcionais, inchamento e solubilidade das variedades de arroz. As taxas de redução destas propriedades funcionais também dependem da variedade do arroz. Os resultados da análise sensorial mostraram que o armazenamento de três meses aumentou sabor, odor e aceitação geral, modificou a textura e diminuiu a brancura. Portanto, o armazenamento de três meses de arroz foi recomendado para bons atributos sensoriais e aceitação geral. Em outro estudo, Fonseca & Castro (2008) recomendaram períodos de 30, 70, 90 e até 195 dias de espera para diferentes cultivares de arroz, reforçando a influência da variedade sobre a velocidade da maturação.

Ao serem armazenados, os grãos ficam sujeitos à ação de diversos fatores, como calor, umidade, oxigênio, organismos associados, atividade enzimática, dentre outros. As características englobam desde o tipo de tegumento à constituição química e ao arranjo celular dos grãos. As características dos grãos e suas interações com o ambiente a que estiverem expostos determinarão propriedades como conservabilidade, aptidão industrial e/ou de consumo e valor comercial (ELIAS, 2009).

Na avaliação de um processo deteriorativo gradual, conforme Elias (2003; 2007), a fração protéica sofre reações de hidrólise, peroxidação, de descarboxilação, de desaminação e de complexação com outros componentes químicos dos próprios grãos durante o armazenamento. A desaminação dos aminoácidos conduz à formação de ácidos orgânicos e compostos amoniacaais, enquanto a descarboxilação origina, principalmente, aminas, as quais caracterizam o processo de putrefação dos grãos, conferindo-lhes odores desagradáveis e fortes. Essas transformações provocam o escurecimento dos grãos, a complexação com açúcares redutores, a diminuição do teor de nitrogênio protéico e o aumento do teor de nitrogênio não protéico. A atividade da água e a temperatura dos grãos afetam diretamente a intensidade do processo respiratório e, conseqüentemente, sua deterioração. Em meio aquoso, o grupo amina é mais eletronegativo do que o grupo carboxila, atraindo mais o  $H^+$ , transformando o grupo amina ( $-NH_2$ ) em radical de amônia ( $-NH_3^+$ ), assim como o grupo carboxila passa para a forma iônica, formando pólos moleculares que são altamente higroscópicos.

Os carboidratos do arroz são diretamente consumidos pelo próprio metabolismo e dos microrganismos associados aos grãos, por isso há decréscimo do seu conteúdo total durante a armazenagem.

Os lipídios constituem a fração mais suscetível à deterioração durante o armazenamento, seja pela redução do seu conteúdo total e/ou pela suscetibilidade a alterações estruturais. A rancidez pode ocorrer por via oxidativa e hidrolítica.

As alterações no armazenamento constituem um fenômeno natural e espontâneo, que inicia após a colheita e segue adiante (conforme tempo, temperatura e umidade), e que envolve mudança nas características físicas e químicas do arroz, no processamento, comportamento durante e após a cocção, qualidade nutricional e valor comercial (BARBER, 1972; FONSECA et al., 2005; ZANÃO, 2007).

As cultivares apresentam comportamentos distintos quanto ao envelhecimento (KAMINSKI, 2012). A maturação pós-colheita altera as características físico-químicas dos grãos ao longo do tempo de armazenamento, principalmente nos três a cinco primeiros meses após a colheita (CASTRO et al., 1999; VIEIRA & CARVALHO, 1999; FONSECA et al., 2005).

À medida que aumenta o tempo de armazenamento do arroz, se alteram suas propriedades de cocção (com menor absorção de água, pH e resíduos na água

de cocção), os resultados dos testes de cocção (maior rendimento volumétrico, tempo de cocção e solubilidade (redução da adesividade)), da elongação (maiores valores de alteração proporcional, taxa de elongação e elongação efetiva), de textura (menor adesividade, maior elasticidade e coesividade e alteração da dureza (Tabela 15)), das propriedades viscoamilográficas (os grânulos de amido se tornam mais organizados, levando a um menor *breakdown* (quebra), maior viscosidade da pasta, e retrogradação em avaliação por RVA), da consistência do gel, da expansão dos grãos após o cozimento e, do teor de ácidos graxos livres (que aumentam) (ZANÃO, 2007; KAMINSKI, 2012).

É importante observar que boa parte das pesquisas avalia a maturação do arroz desde meses a um ano, mas o envelhecimento segue ocorrendo, durante os anos seguintes, o que pode levar a registros de redução da capacidade de absorção de água, e menores viscosidades de pasta (SOWBHAGYA & BHATTACHARYA, 2001).

A composição química dos grãos pouco se altera no armazenamento por 6 meses com relação aos minerais, compostos fenólicos, amilose e amido resistente. Sabor, odor e cor se alteram com o tempo (KAMINSKI, 2012).

As modificações das propriedades reológicas da pasta, medidas por termoviscosimetria e particularmente por amilografia, são indicativos sensíveis do processo de envelhecimento do arroz. As mudanças nas propriedades reológicas e na cocção ocorrem com mais intensidade nos arrozes de alta amilose, os quais apresentam consistência de gel mais duro do que no arroz ceroso (*waxy*) (PÉREZ & JULIANO, 1981). O *breakdown* (ou viscosidade de quebra) é considerado um parâmetro primário do viscoamilograma. Embora possa haver um aumento no *breakdown* nos primeiros meses de armazenamento do arroz (por rearranjo entre os constituintes dos grãos), ocorre posterior diminuição (principal tendência, ao longo do tempo) e estabilização deste parâmetro, pois os grânulos de amido do arroz armazenado tornam-se mais resistentes, organizados e estáveis à ruptura durante a gelatinização (SHOWBHAGYA & BATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2002a; ZHOU et al., 2003a; ZHOU et al., 2007). A retrogradação é um parâmetro tradicional da análise viscoamilográfica e tende a aumentar no arroz armazenado principalmente em maiores temperaturas e nas variedades com maior teor de amilose (SHOWBHAGYA & BATTACHARYA, 2001; KAMINSKI, 2012).



Tabela 15 – Mudanças na textura dos grãos de arroz cozido ao longo do armazenamento por 16 meses, a 4°C e 37°C, determinados por analisador de textura (texturômetro).

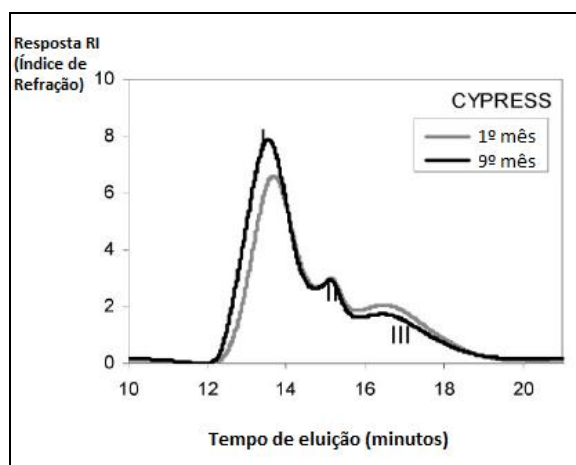
Variedade	Temperatura de armazenamento	Dureza (g)	Adesividade (g.s <sup>-1</sup> )	Coesividade
Koshihikari	4°C	373 ± 59	4,1 ± 2,0	0,37 ± 0,03
	37°C	891 ± 228	2,5 ± 1,4	0,47 ± 0,03
Kyeema	4°C	354 ± 67	4,0 ± 1,2	0,38 ± 0,06
	37°C	685 ± 114	2,9 ± 1,0	0,47 ± 0,02
Doongara	4°C	561 ± 97	1,7 ± 1,1	0,40 ± 0,07
	37°C	872 ± 153	1,0 ± 1,1	0,46 ± 0,03

Fonte: Adaptado de Zhou et al. (2007).

Outras técnicas de química podem ser usadas para diferenciar os grãos de arroz fresco do maturado ou envelhecido, com resultados mais consistentes do que a técnica sensorial, como o método que se baseia no indicador azul de bromotimol, que se altera em função do pH (leitura de escala de tons azuis) para avaliação da idade do arroz em indústrias, por ser barato, simples e rápido. Um segundo método de diferenciação baseia-se na determinação da atividade da peroxidase, que se reduz com o aumento do tempo de armazenamento do arroz (SRIKAE0 & PANYA, 2013).

A pronunciada alteração na viscosidade é um efeito do envelhecimento/maturação 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 (SOWBHAGYA & BHATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2003a; KAMINSKY et al., 2013a).

As cromatografia de alta performance de exclusão de tamanho e de troca aniônica foram utilizadas para caracterizar o tamanho molecular do amido e a distribuição do comprimento de cadeia da amilopectina, respectivamente por Patindol et al. (2005) em arroz armazenados a 21°C e 38°C por 9 meses. Alterações significativas na estrutura fina do amido foram observadas, principalmente em 38°C (Figura 6), e, em alguma medida, a 21°C.



Legendas: (I) amilopectina, (II) material intermediário e (III) amilose.

Figura 6 – Cromatogramas de exclusão de tamanho de alta performance de amostras de amidos nativos de arroz da cultivar americana Cypress, após 1 e 9 meses de armazenamento a 38°C do arroz em casca.

Fonte: Adaptado de Patindol et al. (2005).

Com o tempo (Tabela 16), há diminuição da razão amilose/amilopectina, do comprimento médio da cadeia de amilopectina e mudança na distribuição do comprimento de cadeia para cadeias de ramificações mais curtas sinalizando uma degradação do amido em nível molecular, que poderia ter sido causada por enzimas amilolíticas que atuam no interior endosperma do arroz, as quais parecem ter uma temperatura ideal mais elevada do que em outras partes do grão, podendo promover a hidrólise do amido, aumento de açúcares redutores e diminuição dos açúcares não-redutores e do amido, que também reduz seu peso molecular (PATINDOL et al., 2005).

Tabela 16 – Distribuição do comprimento de cadeia da amilopectina ao longo do período de armazenamento do arroz com casca da variedade Cypress.

Armazenamento		Arroz Cypress			
Temperatura (°C)	Duração (meses)	DP 6-12 (cadeia A)	DP 13-24 (cadeia B1)	DP 25-36 (cadeia B2)	DP 37+ (cadeia B3)
4	1	18,2 Ef	52,0 abc	15,6 ab	14,2 ab
	3	19,5 bcde	51,3 abc	15,0 abcde	14,2 ab
	5	19,9 bcd	51,9 abc	14,4 def	14,0 abc
	7	19,8 bcd	51,1 c	15,7 A	13,4 bcde
	9	20,0 abcd	52,9 ab	13,9 F	13,2 cde
21	1	17,9 F	53,3 a	15,1 abcd	14,0
	3	18,7 def	52,5 abc	15,5 abc	13,3
	5	19,9 abcd	53,2 a	14,0 ef	12,9
	7	20,3 abc	52,5 abc	14,0 ef	13,2
	9	20,7 Ab	52,9 ab	13,9 F	12,5
38	1	17,4 Ef	52,2 abc	14,8 bcdef	14,6 a
	3	19,0 cdef	52,0 abcd	15,0 abcd	14,2 ab
	5	19,0 bcde	52,0 abc	15,0 abcd	13,5 bcd
	7	20,0 abcd	52,2 abc	14,7 cdef	13,3 bcde
	9	21,2 ac	51,8 abc	14,0 ef	13,0 cde

As médias seguidas pelas mesmas letras em uma coluna não são diferentes significativamente ( $P < 0,05$ ).

Fonte: Dados adaptados de Patindol et al. (2005).

A tendência de redução da razão amilose/amilopectina sugere que a amilose poderia ser hidrolisada mais rápido do que a amilopectina em armazenamento a uma temperatura elevada, considerando que as moléculas de amilose estão geralmente confinadas nas camadas amorfas dos grânulos de amido, mais suscetíveis ao ataque enzimático e outras alterações químicas do que as camadas cristalinas, ricas em amilopectina (PATINDOL et al., 2005).

Os aumentos da temperatura de gelatinização e das entalpias estão associados às maiores quantidades de cadeias ramificadas longas de amilopectina, as quais podem aumentar a integridade da estrutura do amido, basicamente através da formação de hélices duplas, o que reforçaria a estrutura cristalina. No entanto, a temperatura de gelatinização e a entalpia no caso dos amidos preparados a partir de arroz mantidos a 38°C podem diminuir ao longo do tempo, devido à mudança observada na distribuição do comprimento de cadeia da amilopectina para cadeias ramificadas curtas (PATINDOL et al., 2005) e à ausência das proteínas e outros componentes removidos na extração.

Pode haver aumento da temperatura de gelatinização em arroz armazenado seco, também conforme a temperatura de armazenamento, tempo e cultivar, porém este acréscimo pode não ser observado aos 6 meses e se tornar mais evidente somente após 12 meses de armazenamento (DHALIWAL et al., 1991; ZHOU et al., 2010). O comportamento dos parâmetros de temperatura de pasta e o tempo de pico parecem ser devidos à presença, orientação e natureza dos lipídios e proteínas da superfície dos grânulos de amido, pois quando estes assumem uma forma mais organizada, requerem maior temperatura e tempo para gelatinização (SHOWBHAGYA e BATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2003a).

As modificações que ocorrem nas proteínas e nas paredes celulares parecem ser mais importantes para as mudanças reológicas observadas com o tempo do que as alterações no amido (ZHOU et al., 2002b).

As mudanças de textura do arroz na pós-colheita coincidem consideravelmente com a oxidação das proteínas (OHNO & OHISA, 2005).

Os possíveis mecanismos de influência das proteínas ao longo do armazenamento nas alterações de cocção do arroz vão desde a alteração na difusão de água no grânulo de amido (aumentando a necessidade de água e tempo de cocção com o tempo de armazenamento), ao retardamento da gelatinização do amido. Tem sido sugerido que a proteína associada ao grânulo de amido confere

resistência ao grânulo gelatinizado com redução da lixiviação das moléculas de amilose ou por segurar fisicamente o conjunto do grânulo de amido.

A oxidação das proteínas pode estar relacionada com as alterações texturais que são observadas no arroz envelhecido. Nos grãos de arroz novo, algumas proteínas solúveis em água e em solução salina, tal como as albuminas e globulinas, são dissolvidas em água quando os grãos são embebidos pela água do cozimento. É presumível que albuminas e globulinas apresentem alguma polimerização intermolecular de ligações dissulfeto por oxidação durante o armazenamento, dificultando sua dissolução depois disso (OHNO & OHISA, 2005; ELLEPOLA & MA, 2006).

As alterações nas propriedades texturais de arroz com o tempo, além de serem associadas com o teor de proteína (ZHOU et al., 2003b), também o são, particularmente, com a oxidação das proteínas nas camadas exteriores do grão (OHNO & OHISA, 2005). A temperatura de armazenamento mais elevada causa redução na quantidade de prolaminas e glutelinas extraíveis nas frações por propanol (ZHOU et al., 2003b).

Com o armazenamento, subunidades de peptídios de baixo peso molecular diminuem enquanto as subunidades de peptídios de elevado peso molecular aumentam. O peso molecular médio da orizenina (glutelina) aumenta durante o armazenamento devido ao estabelecimento de pontes de cistina e também por outras mudanças complexas na composição peptídica (CHRASTIL & ZARINS, 1992). Desta forma, ocorre uma reorganização estrutural do grânulo de amido e cadeias protéicas, aumentando interações intramoleculares e peso molecular (CHRASTIL, 1990, 1992; CHRASTIL & ZARINS, 1992; TEO et al., 2000; ZHOU et al., 2002a; TANANUWONG & MALILA, 2011).

A adição de orizenina ao amido de arroz resulta num comportamento reológico muito semelhante à de uma farinha arroz velho, provando a importância das proteínas no processo de maturação pós-colheita / envelhecimento do arroz (TEO et al., 2000; ZHOU et al., 2010).

A ruptura da estrutura da proteína permite que os grânulos de amido inchem em maior medida, resultando num aumento da quantidade de moléculas de amido lixiviadas, da penetração da água e gelatinização mais fácil (ZHOU et al., 2010). Uma explicação possível para estas observações é que a superfície dos grânulos de amido representa o principal obstáculo para processos tais como hidratação e ruptura durante a gelatinização. Assim, a gelatinização pode ser influenciada pela

presença, orientação e natureza dos lípidos e proteínas de superfície. Estas últimas parecem ser mais responsáveis pelas alterações das propriedades de superfície de grânulos de amido de arroz, durante o armazenamento. A desnaturação dos corpos protéicos ocorre durante o processo de envelhecimento do arroz e estaria associada com a exposição de grupos hidrófobos nas moléculas de proteína, o que levou a uma diminuição na capacidade de extração de proteínas de cada fração, conforme estudos anteriores (ZHOU et al., 2003a).

Como os corpos de proteína ocorrem em grânulos de amido e estão embutidos nas paredes celulares remanescentes, as mudanças dos corpos protéicos da estrutura dos grânulos contribuem para um aumento na hidrofobicidade que afetaria a hidratação e o inchamento dos grânulos de amido. Outra explicação para isto é que as interações entre os grânulos de amido e as moléculas de proteína fornecem ao grânulo uma rigidez ou força, devido ao reforço das pontes de dissulfeto e das intra/interligações cruzadas das moléculas de proteína nas amostras de arroz armazenadas (CHRASTIL & ZARINS, 1992; HAMAKER & GRIFFIN, 1990; ZHOU et al., 2010; SINGH & MATTA, 2011).

A formação de ligações dissulfeto durante o aquecimento é um fenômeno freqüentemente observado em muitas proteínas vegetais, onde servem para estabilizar os agregados (ELLEPOLA et al., 2006).

Hamaker e Griffin em 1993 já haviam relatado que a proteína com pontes dissulfeto em farinha de arroz restringia o inchamento do grânulo durante a gelatinização e fazia o grânulo inchado ser menos suscetível a ruptura por cisalhamento.

Muitos experimentos avaliaram como as proteínas afetavam as propriedades de pasta da farinha de arroz (curva de viscosidade) usando o RVA (Rapid Visco Analyser) e também o viscoamilógrafo de Brabender (LIMPISUT & JINDAL, 2002), e concluíram que as proteínas influenciavam a curva de viscosidade, primeiramente, através da ligação com a água (o que concentra as fases dispersas e viscosas do amido gelatinizado, e, através da rede ligada por pontes dissulfeto) (MARTIN & FITZGERALD, 2002; HAMAKER & GRIFFIN, 1990, 1993; DERYCKE et al., 2005).

A viscosidade diminui quando o arroz é tratado com protease, sugerindo a existência de uma barreira de proteína e a hidratação destas proteínas influenciaram juntas as curvas de viscosidade, o que poderia determinar a textura do arroz cozido (HAMAKER e GRIFFIN, 1990; MARTIN & FITZGERALD, 2002; DERYCKE et al., 2005).

Um estudo similar de Xie et al. (2008) comparou as alterações das propriedades de pasta e cocção de arroz ceroso e não-ceroso, depois da remoção de proteínas e rompimento da ligação dissulfeto em farinha de arroz. O resultado mostrou que o pico, quebra (breakdown) e consistência de viscosidade da farinha de arroz ceroso tratados com protease ou ditioneitol (DTT) diminuiu de forma significativa. Nas cultivares não-cerosas, as temperaturas de pasta da farinha tratada com protease aumentaram e houve diminuição da viscosidade ao longo de todos os pontos da curva. A adesividade do arroz cozido ceroso foi diminuída, enquanto que a do arroz não-ceroso não foi aumentada, mas a dureza de ambos arrozes diminuiu após a adição de DTT na água de cozimento (XIE et al., 2008).

Num efeito inverso ao envelhecimento, a clivagem de ligações dissulfeto (obtida pela adição de sulfato de sódio, cisteína ou ditioneitol na água de cocção) forma grupos sulfidrilas, o que resulta no aumento da extração de sólidos pela água e amacia os grãos (pelo espessamento da camada pastosa gelatinizada ao redor do grão cozido) (Figura 7), efeito muito desejado pelos consumidores japoneses, cuja preferência é pelo consumo de arroz novo (OHNO et al., 2007; LIKITWATTANASADE, 2009).

A microscopia de varredura laser confocal (*Confocal Laser Scanning Microscopy* ou CLSM) revelou uma rede de proteínas ordenada envolvendo a fração amido nos grãos cozidos, numa estrutura similar ao favo de mel (Figura 8). É possível, adicionalmente, que a ligação dissulfeto formada durante o processo de envelhecimento (natural ou acelerado) induza uma alteração da rede de proteínas formando uma barreira mais espessa em torno dos grânulos de amido. Isso pode retardar a absorção de água por grânulos e contribuiu para mais um grão de arroz cozido mais firme (LIKITWATTANASADE, 2009).

Experimentos recentes sugerem que as proteínas podem estar envolvidas em outras associações, além das ligações covalentes das pontes dissulfeto: especialmente a glicação com a extremidade redutora da amilose, através da reação de Maillard (LIKITWATTANASADE & HONGSPRABHAS, 2010).

Segundo Rehman (2006), 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 protéica e do amido.

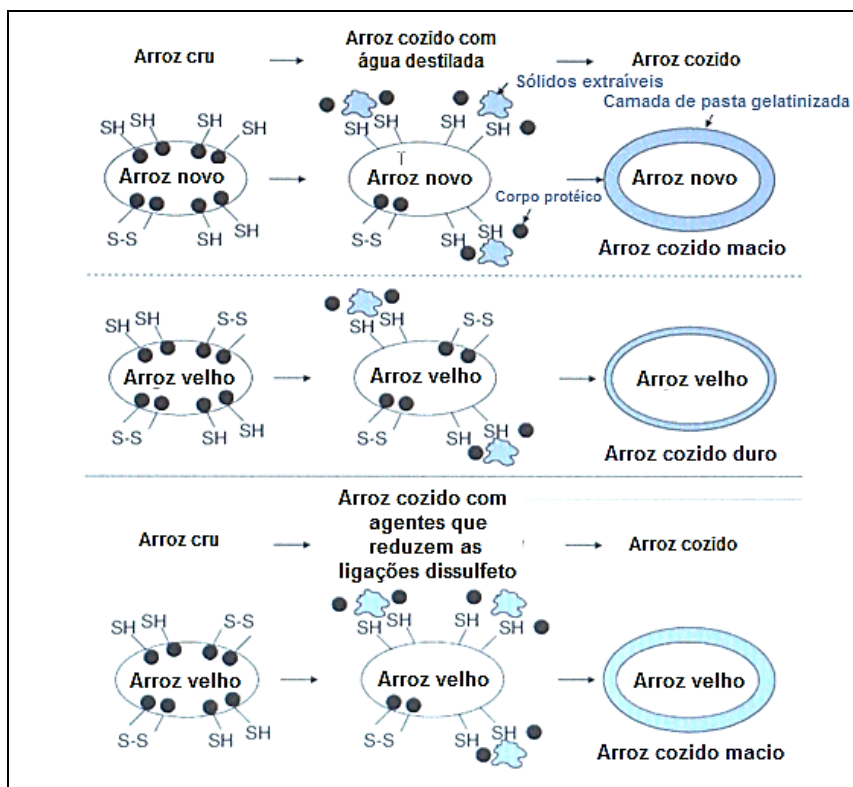
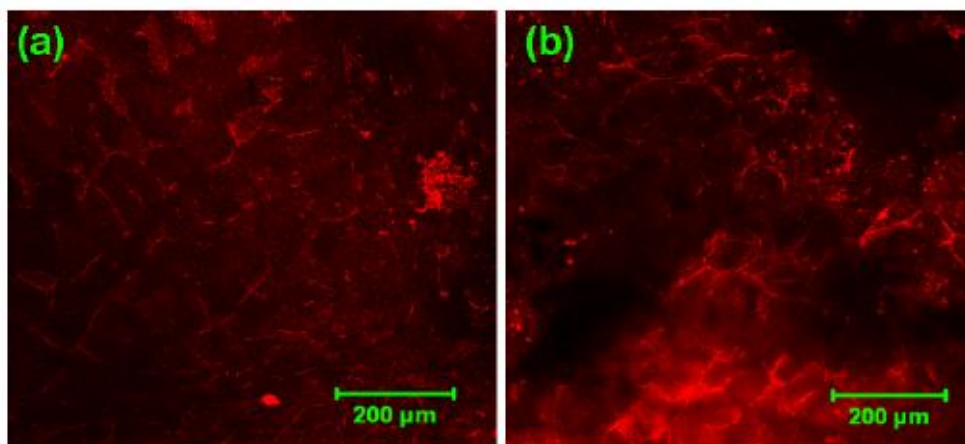


Figura 7 – Esquema representativo dos efeitos em arrozes novos e envelhecidos (velhos) cozidos com e sem agentes que reduzem as ligações de dissulfeto.

Fonte: Adaptado de Ohno et al. (2007).



Legendas: as proteínas apresentaram fluorescência vermelha sob CLSM, formando uma rede contínua com aspecto da estrutura de um favo de mel. Embora as proteínas do endosperma do arroz existam na forma de corpos protéicos, eles se desnaturaram por ação do calor do processo térmico e formaram redes tridimensionais. No arroz envelhecido, aparece uma estrutura periódica de áreas escuras (fase sem proteína) presente e a estrutura de favo de mel da rede de proteínas apresenta-se menos ordenada do que a de arroz novo. A área escura é provavelmente a fração de amido, que se concentrou aleatoriamente dentro da geometria do grão de arroz cozido devido à incompatibilidade termodinâmica das estruturas moleculares do amido e da proteína.

Figura 8 – Micrografia de varredura laser confocal de grãos de arroz cozido (a) novo e (b) após envelhecimento acelerado a 60°C por 5 dias.

Fonte: Likitwattanasade (2009).

As proteínas apresentam aumento no número de ligações pontes de dissulfeto entre as cadeias polipeptídicas, promovendo maior interação protéica, expressivo aumento no peso molecular, diminuição dos peptídios de baixo peso molecular, redução na solubilidade e amenização do aroma sulfuroso indesejável (quando presente, em arroz novo), com consequente alteração das forças de associação de amido-proteína e, portanto, do comportamento da pasta (CHRASTIL, 1990; CHRASTIL & ZARINS, 1992; ZHOU et al., 2002a; ZHOU et al., 2010; KAMINSKI et al., 2013a).

A oxidação das proteínas (por formação de ligações por grupos sulfidrilas), juntamente com um aumento na força de ligação micelar com o amido inibiria o inchamento dos grânulos de amido, afetando a textura do arroz cozido (SHOWBHAGYA & BHATTACHARYA, 2001).

Conforme Kaminski (2012), as condições de armazenamento mais favoráveis ao processo de envelhecimento/maturação pós-colheita 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., 2002a; KAMINSKI, 2012). 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 (ZHOU et al., 2002a; SODHI et al., 2003; KAMINSKI, 2012).

A extração de proteínas a partir de farinhas de arroz envelhecido é mais difícil do que de farinhas de arroz novo, provavelmente devido às interações entre os componentes do arroz, especialmente entre amido e proteína (LIKITWATTANASADE, 2009).



## 2.4 Fatores que modificam a velocidade das alterações pós-colheita do arroz

O envelhecimento / maturação pós-colheita é um processo complicado que envolve mudanças físicas, químicas e biológicas, sendo influenciado pelas condições de armazenamento (temperatura, umidade do grão, atmosfera (vácuo, ar, nitrogênio ou CO<sub>2</sub>) (ZHOU et al., 2002b).

As pesquisas demonstram que a manutenção da qualidade do arroz e o gerenciamento tecnológico do processo de envelhecimento / maturação podem ser otimizados através do controle rigoroso de algumas das condições pós-colheita como o armazenamento do arroz em casca, com destaque para o teor de umidade, temperatura de armazenamento e sua duração (MEULLENET et al., 2000; PARK et al., 2012).

O envelhecimento é acelerado pelo calor durante a secagem e no armazenamento, é reduzido pelo uso de frio (o que ajuda a preservar a coesividade dos grãos cozidos) e é levemente retardado por atmosfera de nitrogênio (PÉREZ & JULIANO, 1981; KAMINSKI et al., 2013a).

O armazenamento em maior temperatura produz grãos mais soltos após o cozimento (MEULLENET et al., 2000), o que, conforme a destinação industrial dos grãos de arroz, pode ser economicamente importante.

A temperatura tem se confirmado como variável de grande influência no processo de envelhecimento / maturação pós-colheita do arroz para conferir a desejada qualidade de consumo em menor tempo de armazenamento (PARK et al., 2012; KAMINSKI et al., 2013a).

O armazenamento longo e em maiores temperaturas parece também favorecer a presença de minerais no interior dos grãos de arroz, talvez relacionada com alguma migração destes compostos das camadas externas para o endosperma em decorrência da atividade das enzimas que os requerem como cofatores (KAMINSKI et al., 2013a). Porém pequenas diferenças na intensidade do polimento dos grãos podem se refletir no conteúdo resultante dos minerais analisados (TAVARES et al., 2013).

A secagem (para 12% de umidade) reduz as atividades das enzimas diastáticas ( $\alpha$  e  $\beta$ -amilases), das enzimas proteolíticas e das lipases, que atuam durante o período de armazenamento (arroz armazenados úmidos têm maiores

atividades destas enzimas). A atividade da enzima lipoxigenase não se altera com a secagem e aumenta sua atividade com o tempo.

Arrozes armazenados secos apresentam aumentos menores nos valores de aminoácidos livres e ácidos graxos livres, com o tempo, comparados com arrozes mais úmidos (DHALIWAL et al., 1991).

Os aminoácidos livres, principalmente das camadas externas do grão, servem de substratos para reações de Maillard (principalmente a lisina), ocasionando alterações de cor no arroz armazenado (e perdas neste aminoácido limitante) (DHALIWAL et al., 1991; ZHOU et al., 2002a; LAMBERTS et al., 2008).

Os picos de viscosidade também se alteram com o tempo (aumentam), com acréscimo na viscosidade de pasta, porém pode ocorrer uma diminuição no valor do breakdown (quebra), indicando que a ruptura dos grânulos de amido após o cozimento foi reduzida significativamente com o envelhecimento dos grânulos, houve aumento nos ácidos graxos livres e redução na atividade das amilases (DHALIWAL et al., 1991; PARK et al., 2012).

Kaminski (2012) sugeriu o armazenamento a 35°C combinado com baixas concentrações atmosféricas de O<sub>2</sub> para acelerar o processo de envelhecimento / maturação pós-colheita do arroz, melhorar a qualidade de cocção dos grãos e retardar ou inibir processos metabólicos, prevenindo alterações indesejáveis de cor e atividade enzimática, nos grãos (alterações estas ainda maiores em temperaturas e concentrações atmosféricas de O<sub>2</sub> elevadas).

Resultados recentes têm sugerido que 60 dias de armazenamento a 35°C são suficientes para melhorar as qualidades de consumo e promover níveis mais elevados de aceitação e preferência dos consumidores (KAMINSKI et al., 2013b). No entanto, segundo Rehman (2006), o armazenamento dos cereais (arroz, trigo e milho) deve ser realizado até 25°C, pois a qualidade nutricional destes grãos pode ser fortemente prejudicada pelo armazenamento em temperaturas elevadas. Sob armazenamento a 25°C e a 45°C durante 6 meses, o arroz teve suas digestibilidades de proteína e de amido diminuídas, apresentou redução do pH, aumento da acidez (por hidrólise dos triglicerídios, liberação de ácidos graxos e fosfatos) e também houve perdas significativas dos aminoácidos lisina (23,7% e 34,2%, respectivamente) e tiamina (16,7% e 29,2%). No armazenamento de arroz a 45°C, as perdas de açúcares solúveis foram observadas após 6 meses (REHMAN, 2006).

Ocorrem perdas de proteínas solúveis em água (mais presentes em grãos longos) no arroz polido com o tempo de armazenamento (DHALIWAL et al., 1991).

O uso de microondas pode aumentar a produção de radicais livres, aumentar a acidez de soluções aquosas de amido e afetar a estabilidade das ligações de hidrogênio inter e intramoleculares do amido, por novas associações e rearranjos, que variam conforme a fonte do amido, temperatura, tempo, umidade e propriedades dielétricas do amido (BRASOVEANU & NEMTANU, 2013).

Até o presente momento, nenhum componente químico ou estrutural do grão de arroz pode ser considerado como a causa exclusiva de os grãos se tornarem mais soltos após a cocção à medida que aumenta o tempo de armazenamento, como resultado de um processo envelhecimento gradual. Fatores combinados parecem influenciar no desempenho dos grãos, pois os arrozes cerosos (waxy) e também os parboilizados envelhecem (significando que a maturação via combinações da amilose ou por ação de lipases não são os únicos mecanismos envolvidos) (SOWBHAGYA & BHATTACHARYA, 2001).

As mudanças que ocorrem nas paredes celulares remanescentes e nas proteínas têm sido responsáveis por muitas das alterações nas propriedades térmicas de arroz, durante o armazenamento (ZHOU et al., 2010).

Resumidamente, os processos envolvidos no envelhecimento do arroz estão apresentados a seguir (Figura 9).

Substrato	Mudança no armazenamento	Efeito na cocção	Efeito sensorial
Amido	→ Aumento da força da ligação da micela	→ Inibição do inchamento do grânulo de amido	→ Textura
		↓ Complexo amilose-ácido graxo ↑	→ Textura
Lipídio	→ 1. Hidrólise	→ Oxidação dos complexos de ácidos graxos livres	
	→ 2. Oxidação	→ Hidroperóxidos, compostos carbonilas	→ Aroma
Proteína	→ Oxidação	→ -SH → S-S	→ Aroma
		↓ Inibição do inchamento do grânulo de amido	→ Textura

Figura 9 – Diagrama representativo dos processos envolvidos no envelhecimento do arroz.

Fonte: Adaptado de Zhou et al. (2002b) e Likitwattanasade (2009).

## **2.5 Principais parâmetros de avaliação da qualidade do arroz**

### **2.5.1 Parâmetros de qualidade industrial do arroz**

A qualidade industrial é influenciada fatores genéticos, mas também é influenciada pelo ambiente, produção e manejo no campo, pois o cultivo com estresses hídricos, sanitários e nutricionais, e/ou inadequação de manejo agrônômico podem acarretar em alta incidência de grãos quebrados, gessados, barriga branca e trincados, comprometendo características tecnológicas e o aspecto visual e qualidade geral (PITOMBEIRA, 2006; ISHIMARU et al., 2009; ALVES et al., 2009; MORAIS, 2012; KAMINSKI, 2012). Procedimentos inadequados de secagem, armazenagem e transporte, bem como equipamentos mal regulados e polimentos excessivos que causam danos térmicos e/ou mecânicos que geram desequilíbrios nas tensões internas nos grãos, também podem agravar o índice de grãos trincados e quebrados, diminuindo o valor dos grãos.

Limpeza insuficiente, alta umidade e temperatura dos grãos durante o armazenamento agravam os defeitos metabólicos, prejudicando a qualidade dos grãos e o seu valor.

Os parâmetros de qualidade industrial são fundamentais para a classificação e o direcionamento de um arroz dentro das indústrias e também para a definição do seu preço como matéria-prima, no processo de comercialização do arroz.

No Brasil, são valorizados os grãos com alto rendimento de inteiros e renda, translúcidos, de coloração clara, de aspecto visual uniforme, vítreo, com baixo teor de gessados e sem outros defeitos, todos parâmetros de qualidade industrial, que somados aos parâmetros de cocção e sensoriais, definem a qualidade desejada do arroz pelos consumidores.

As principais avaliações de qualidade industrial aplicáveis para arroz em casca (BRASIL, 2009a; ELIAS et al., 2012) são a renda do benefício, que representa a quantidade de arroz integral (esbramado) produzida; o rendimento de grão, soma dos percentuais de grãos inteiros e quebrados de arroz polido; o rendimento de grãos inteiros; a determinação das dimensões dos grãos, comprimento, largura e espessura; o teor de umidade; defeitos dos grãos (danificados, gessados, rajados, amarelos, mofados, picados, manchados ardidos e

pretos); o grau de polimento, brancura e transparência, também chamados de parâmetros branquimétricos; o peso de mil grãos.

Muitas destas avaliações estão contempladas nas Instruções Normativas IN nº6, de 16 de fevereiro de 2009 (BRASIL, 2009a), IN nº16, de 26 de maio de 2009 (BRASIL, 2009b), IN nº11, de 11 de março de 2011 (BRASIL, 2011) e IN nº 02, de 07 de fevereiro de 2012 (BRASIL, 2012), do Ministério da Agricultura e Pecuária do Brasil (MAPA), pois constituem os critérios oficiais para classificação e determinação de tipo do arroz em todo o país.

A secagem do arroz, conforme as temperaturas empregadas, pode afetar alguns dos parâmetros de qualidade industrial por alteração de propriedades após a temperagem do grão (período que segue a secagem, para dissipação das tensões), por ser atingida a faixa de temperatura correspondente à zona de transição vítrea, o que pode causar o aparecimento de trincas e aumentar a quantidade de grãos quebrados. Se a temperatura do arroz é menor que a de transição vítrea, o amido existirá no estado vítreo, seus grânulos serão compactos e a água associada ao amido estará relativamente imobilizada. Nesta região haverá menor difusão de umidade, resultando em baixa taxa de secagem e maior tempo para que seja atingido o equilíbrio de umidade (Figura 10). Se a temperatura da secagem do arroz for acima da temperatura de transição vítrea, o amido estará no estado elástico e as macromoléculas terão grande volume livre, com maior velocidade de difusão da água para a parte externa do grão (este gradiente de concentração de água pode causar estresses e levar a trincas e quebrados). Portanto, quando a temperatura do ar de secagem for maior do que a temperatura de transição vítrea, haverá maior razão constante de secagem. Quando a temperatura do ar de secagem for menor do que a temperatura de transição vítrea, a secagem será mais demorada, a superfície do grão se estenderá na região elástica e será a umidade relativa do ar o principal determinante da velocidade de secagem (CNOSSEN & SIBENMORGEN, 2000; LACERDA FILHO et al., 2010).



Legendas: os pontos 1, 2 e 3 no eixo x do gráfico correspondem, respectivamente, à superfície, ponto médio (entre a superfície e o centro), e o centro do grão; e, à direita: um esquema da relação de transição vítrea para o arroz Bengala.

Figura 10 – Diagramas de transição vítrea no arroz, sendo à esquerda: gráfico plotado em um grão de arroz, apresentando uma temperatura hipotética (T) e a distribuição do teor de umidade de (MC) dentro do um grão durante a secagem.

Fonte: Adaptado de Müller-Fischer (2013).

A temperatura de temperização deve ser bem avaliada, pois um ambiente mais frio pode ocasionar choques térmicos, que combinados com os gradientes de água entre as diferentes partes do grão, aumentam as tensões internas, resultando no aparecimento de mais grãos trincados e quebrados (Figura 11) (CNOSSEN & SIBENMORGEN, 2000; LACERDA FILHO et al., 2010).



Legenda: fissura capturada pelo sistema de imagens por microscopia de alta velocidade. O grão foi seco a 60°C, com ar a 20% de umidade relativa, durante 50 minutos e em seguida, foi deixado para esfriar naturalmente, em condições ambientais.

Figura 11 - Ocorrência e propagação em segundos de uma fissura entre duas fissuras pré-existentes dentro de um grão de arroz.

Fonte: Adaptado de Jia et al. (2002).

### 2.5.2 Avaliação do conteúdo de amilose

A quantificação da amilose é de grande importância para se entender o comportamento do amido. Apesar dessa importância, dentre as diversas metodologias existentes para a sua quantificação, nenhuma é totalmente aceita. Existem vários dados sobre as metodologias, mas com grandes variações nos

resultados o que gera dificuldades comparativas interlaboratoriais (PERONI, 2003; MATSUGUMA, 2006; FITZGERALD et al., 2009; FURLONG, 2012).

A amilose é normalmente quantificada por métodos que envolvem a reação com iodo, como potenciométricos, amperométricos, ou espectrofotométricos pela medida da absorbância do complexo de amilose-iodo, por sua maior praticidade, embora muitos outros métodos tenham sido desenvolvidos (NIR, DSC, SEC (cromatografia de exclusão de tamanho), AF4 e outros) (FITZGERALD et al., 2009).

Esses métodos se baseiam na capacidade que a estrutura helicoidal da amilose tem em formar complexos de inclusão com iodo, apresentando uma coloração azul característica, pela absorção máxima no comprimento de onda até 620 nm. Quanto maior a afinidade por iodo, maior será o teor de amilose do amido (MATSUGUMA, 2006).

A cor e a intensidade do complexo dependem do comprimento da cadeia de amilose: acima de 80 unidades, o comprimento de onda de máxima absorção de luz é da ordem de 620 a 720nm. O máximo de absorção muda para comprimentos de onda menores e a cor se altera para o vermelho para cadeias menores.

O valor azul (BV ou blue value) é definido como a absorbância lida (a 680nm ou 640 nm) de 1 mg de amido em 100 mL de uma mistura contendo 2mg de  $I_2$  e 20mg de KI. O *blue value* para amilose é  $1,01 \pm 1,63$ , enquanto para amilopectina é  $0,08 \pm 0,38$  (SANTOS, 2009).

Um dos métodos clássicos (WILLIAMS et al., 1958), media o teor de amilose do arroz utilizando uma curva padrão de amilose pura de batata, em comprimento de onda de 590nm (valor posteriormente alterado para 600nm (JULIANO, 1985), 620nm e 720nm (FITZGERALD et al., 2009), para reduzir a contribuição da absorbância do complexo amilopectina-iodo). Tão ou mais importante do que o comprimento de onda utilizado para gerar a curva padrão e melhorar a precisão e reprodutibilidade dos resultados nas análises de rotina, é o uso de misturas de amilose e amilopectina previamente determinadas, ou o uso de cultivares de arroz com conteúdo de amilose conhecido e calibrado, sendo estas (e também a pureza da fonte do padrão de amilose de amido de batata utilizado) as principais razões das variações encontradas nos resultados entre os laboratórios (FITZGERALD et al., 2009).

A concentração da fração amilose do amido é determinada por meio de técnica colorimétrica, utilizando amostra de arroz polido moído na granulometria de 100 mesh, e usando como indicador a solução iodo/iodeto de potássio. A

metodologia utilizada promove a complexação da amilose com o iodo, resultando em complexo de cor escura azul. Os reagentes utilizados são álcool etílico 96%; solução de hidróxido de sódio 1N e ácido acético glacial. O complexo formado é medido por espectrofotômetro no visível com leitura da absorbância a um comprimento de onda de 590nm, 620nm ou outro, até 720nm, conforme a metodologia escolhida, sendo posteriormente aplicado de um fator de conversão para determinar o percentual de amilose.

O teor de amilose apresentado em trabalhos científicos é geralmente expresso como teor de amilose aparente, isto devido à capacidade de algumas cadeias ramificadas externas de amilopectina interagirem com o iodo superestimando o teor de amilose (JANE et al., 1999; ZAVAREZE, 2009; WANI et al., 2012). O teor de amilose aparente também pode estar referido como sendo aquele obtido de amidos que não foram previamente desengordurados, pois a presença de lipídios no amido e o pH da solução interfere na afinidade com o iodo (MORRISON, 1995; ZAVAREZE, 2009; WANI et al., 2012).

Recentemente, Juliano et al. (2012) aprimoraram o método colorimétrico para avaliação de amilose baseado no iodo, por meio de uma solução tamponada em pH 9 de amônia ( $\text{NH}_4\text{Cl-KI}$ ), usando amilose de batata como padrão e leitura em 620nm, com resultados similares àqueles observados por DSC.

Novas metodologias como o fracionamento do campo de fluxo de fluxo assimétrico (AF4, ou *Asymmetrical Flow Field-Flow Fractionation*) têm sido aplicadas aos amidos (CHIARAMONTE et al., 2012). O AF4 é um dos poucos métodos de separação que são adequados para a separação e caracterização dos amidos, devido à elevada polidispersidade e grande tamanho das moléculas que o constituem (NILSSON, 2013).

### **2.5.3 Avaliação da temperatura de gelatinização**

A temperatura de gelatinização do arroz representa a medição da temperatura na qual 90% dos grânulos de amido do endosperma são gelatinizados ou inchados irreversivelmente em água quente. A temperatura de gelatinização pode variar aproximadamente de 55 a 79°C, conforme o arroz, também sendo afetada pela temperatura à qual a planta foi exposta na sua fase de maturação de grão (que altera a formação do amido e consequentemente, a temperatura de



gelatinização, a qual resulta mais alta em temperatura ambiental elevada) (PITOMBEIRA, 2006).

A determinação da temperatura de gelatinização do arroz pode ser feita por diversas metodologias (mencionadas no item 2.2.1.13.4), com destaque para a avaliação por Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC ou *Differential Scanning Calorimetry*). Segundo Zavareze, 2009, a gelatinização de amidos pode ser verificada por técnicas termoanalíticas (como a DSC), sendo esta determinação importante, uma vez que define proporcionalmente a energia requerida para o cozimento. O fluxo de calor associado à gelatinização do amido medido por DSC fornece medidas quantitativas onde os picos endotérmicos são indicativos de fusão (ZAVAREZE, 2009; VAMADEVAN et al., 2013).

Em escala industrial, os gastos energéticos dos processos devem ser cuidadosamente controlados, a exemplo do processo de parboilização do arroz, no qual o conhecimento da temperatura de gelatinização do grão é fundamental para a regulação da operação.

A temperatura de gelatinização do arroz também pode ser estimada através da determinação de ASV (Graus de Dispersão em Solução Alcalina ou *Alkali Spreading Value*).

#### **2.5.3.1 Avaliação da gelatinização por Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC ou *Differential Scanning Calorimetry*)**

No DSC, as propriedades térmicas (Figura 12) normalmente demonstradas são as temperaturas do início da gelatinização ( $T_0$  ou temperatura inicial), de pico da gelatinização ( $T_p$  ou temperatura de pico) e da sua conclusão ( $T_c$  ou temperatura de conclusão), o índice da altura do pico (PHI), a faixa de gelatinização (R) e a entalpia ( $\Delta H_g$ ). O DSC mede as temperaturas de transição de primeira ordem (fusão) e segunda ordem (transição vítrea), e as mudanças de fluxo de calor em materiais poliméricos, dando informações sobre os fenômenos de ordem e desordem dos grânulos de amido (WANI et al., 2012).

Os métodos em DSC têm a vantagem de ser independentes da birrefringência dos grânulos na detecção das fases de transição dos amidos, diferença importante quando a birrefringência se deve à orientação molecular nas regiões amorfas, ou está ausente, devido aos cristais serem pequenos ou

casualmente orientados, segundo Zavareze (2009). Variações de entalpia observadas por DSC geralmente são devidas à transição do tipo ordem-e-desordem dos cristais presentes em extensos arranjos ordenados internos e em regiões de menor ordem cristalina do grânulo (CEREDA et al., 2001; YU & CHRISTIE (2001); KARLSSON & ELIASSON (2003); ZAVAREZE, 2009; VAMADEVAN et al., 2013).

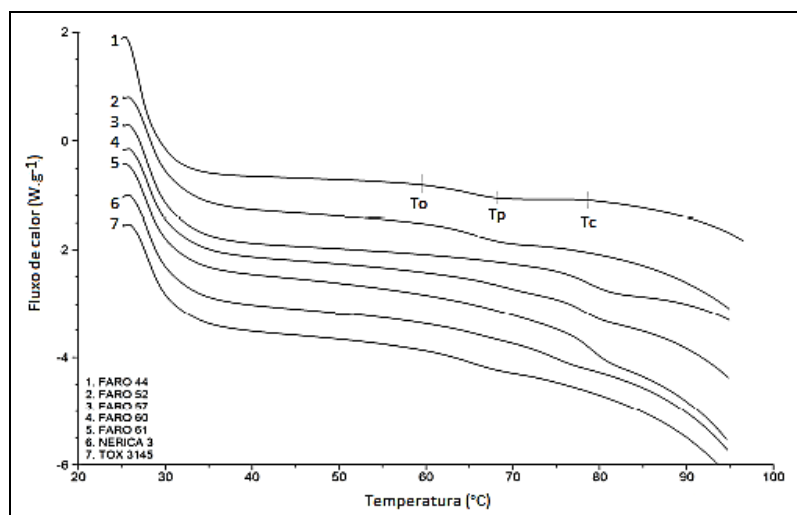


Figura 12 – Curvas de gelatinização endotérmica de sete variedades de arroz determinadas por DSC (*Differential Scanning Calorimetry*).

Fonte: Adaptado de Odenigbo et al. (2013).

### 2.5.3.2 Avaliação da gelatinização por ASV (Graus (ou Valor) de Dispersão em Solução Alcalina ou *Alkali Spreading Value*)

A determinação do ASV fornece uma estimativa da faixa de temperatura de gelatinização do arroz. A avaliação da temperatura de gelatinização pelo método ASV de Martínez & Cuevas (1989) é feita seguindo uma escala de leitura de graus de dispersão alcalina até 7 (Tabela 17), correspondente a determinadas faixas de temperaturas de gelatinização, através de procedimentos relativamente fáceis e de baixo custo, razões do seu uso consagrado (COSTA et al., 2010, 2013).

A Figura 13 apresenta o aspecto de grãos com temperaturas de gelatinização baixa, média e alta.

Tabela 17 – Classificação da Temperatura de Gelatinização

Grau de Dispersão	Temperatura de Gelatinização	Classificação
1, 2 e 3	74 a 80°C	Alta
4 e 5	69 a 73°C	Intermediária
6 e 7	63 a 68°C	Baixa

Fonte: Martínez & Cuevas (1989).

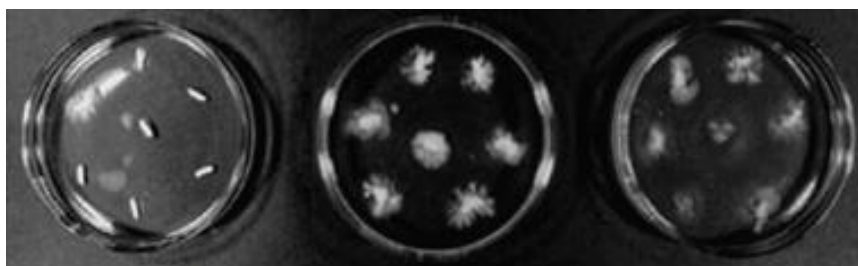


Figura 13 - Grãos com Temperatura de Gelatinização alta (na esquerda), média (ao centro) e baixa (na direita) em avaliação de ASV.

Fonte: Moraes (2012).

#### 2.5.4 Avaliação das propriedades reológicas ou de viscosidade de pasta

As propriedades de pasta do amido indicam seu comportamento durante o processamento térmico e determinam a sua utilização (WANI et al., 2012), conforme mencionado no item 2.2.1.14.

A característica de pasta mais importante de uma dispersão de grânulos de amido é a sua viscosidade. Pastas com elevada viscosidade sugerem adequação do amido como agente espessante em alimentos e como agente de acabamento nas indústrias têxteis e de papel (WANI et al., 2012).

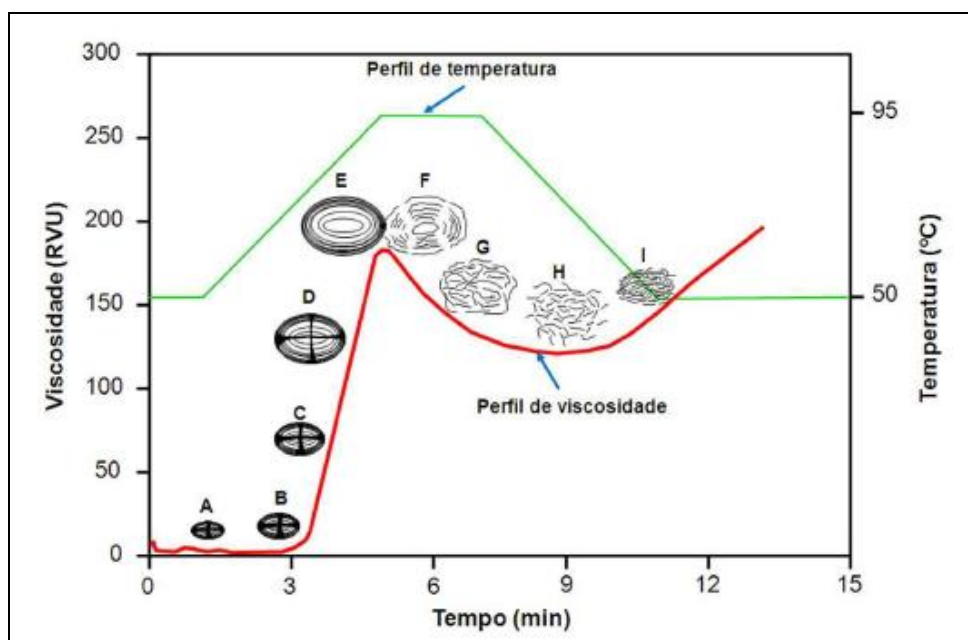
A variação da viscosidade durante o aquecimento e resfriamento das dispersões de amido é uma das principais medições aplicadas aos amidos e farinhas para verificar seu comportamento térmico, através do uso de equipamentos denominados viscoamilógrafos. As curvas de viscosidade aparente indicam a temperatura de início de formação de pasta, o pico de viscosidade, a resistência dos grânulos inchados à ação mecânica, e a influência do resfriamento sobre a viscosidade (retrogradação) (ZAVAREZE, 2009).

O equipamento Rapid Visco Analyser (RVA) tem sido amplamente utilizado para avaliar as qualidades de cocção e de consumo, uma vez que os parâmetros

reológicos gerados oferecem medidas associadas ao inchamento, à gelatinização e formação do gel de amido. As unidades de viscosidade medidas em RVA são denominadas RVU, porém podem ser convertidas para outras unidades como centipoises (cP) pelo próprio equipamento, conforme a programação escolhida, de forma a possibilitar comparações entre experimentos (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998; MEADOWS, 2002).

Outra tecnologia desenvolvida que pode ser um auxiliar na determinação das propriedades de pasta é a calorimetria de varredura diferencial (DSC), que mede a gelatinização do arroz (por determinação da temperatura de gelatinização, da energia necessária para a fusão dos cristais e o grau de gelatinização do amido). Ambas tecnologias (RVA e DSC) são métodos sensíveis, diretos e confiáveis para a avaliação da qualidade do arroz (CAI et al., 2011).

Durante a fase inicial de aquecimento da suspensão aquosa de amido, ocorre um aumento na viscosidade, registrado pelo amilógrafo como Temperatura de Pasta (Figura 14), quando os grânulos começam a intumescer e os polímeros com baixo peso molecular, principalmente a amilose, começam a ser lixiviados dos grânulos.



Legendas: (A) grânulo de amido ainda normal, não hidratado; (B) grânulo de amido começando a intumescer e a gelatinizar devido à hidratação e ao aquecimento; (C e D) grânulo de amido intumescendo e gelatinizando devido ao aumento da hidratação e do aquecimento; (E) grânulo de amido no máximo do seu intumescimento sem ruptura; (F) ruptura do grânulo de amido; (G) dispersão das moléculas de amilose e amilopectina; (H) reorganização das moléculas de amilose e amilopectina; (I) retrogradação do amido.

**Figura 14 - Comportamento típico dos grânulos de amido ao longo da análise de viscosidade no equipamento analisador rápido de viscosidade (RVA).**

Fonte: Adaptado de Delcour & Hosney (2010) por Rutz (2012).

Quando a maioria dos grânulos está totalmente intumescida, com grânulos intactos, e o alinhamento molecular de qualquer polímero solubilizado ainda não ocorreu dentro do campo de atrito do instrumento, ocorre um pico na viscosidade da pasta, registrado como Viscosidade Máxima ou de Pico (TSAI et al., 1997; MATSUGUMA, 2006; ZAVAREZE, 2009).

Durante a fase de temperatura constante (95°C) os grânulos começam a se romper e continua a solubilização dos polímeros: neste ponto ocorre uma quebra (queda acentuada) na viscosidade, registrada pelo equipamento como Quebra ou *Breakdown*. No ponto de viscosidade mínima, também chamada de viscosidade da pasta quente, força pendente ou *Trough*, o equipamento marca o fim da fase de exploração, na temperatura máxima do ensaio RVA (MATSUGUMA, 2006; WANI et al., 2012).

Durante a fase seguinte, de resfriamento, as moléculas de amilose e amilopectina solubilizadas começam a se reassociar em uma estrutura ordenada, especialmente a amilose, ocorrendo outro aumento na viscosidade. Esta segunda elevação da viscosidade é conhecida como a tendência à retrogradação, sendo denominada Retrogradação, Reversão ou *Setback* (MATSUGUMA, 2006; ZAVAREZE, 2009; WANI et al., 2012). O *Setback* é um indicador da textura do produto final e está ligada à sinérese (liberação de água pelo gel), durante os ciclos de congelamento e descongelamento.

A viscosidade normalmente se estabiliza numa viscosidade final (chamada de viscosidade da pasta fria), que se relaciona com a capacidade do amido para formar uma pasta ou gel viscoso após cozimento e arrefecimento (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998; WANI et al., 2012).

Os parâmetros de viscosidade normalmente determinados para interpretação das propriedades de pasta (THOMAS & ATWELL, 1999; MATSUGUMA, 2006; COPELAND et al., 2009; SCHEUER, 2009; RUTZ, 2012) estão apresentados nas curvas de empastamento a seguir (Figuras 15 e 16).

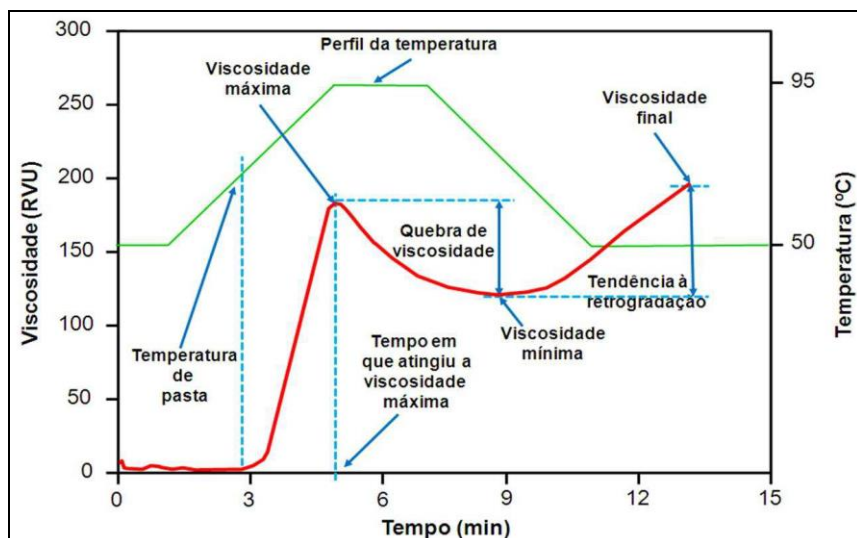


Figura 15 - Variáveis de resposta obtidas no equipamento RVA e sua identificação no viscoamilograma.

Fonte: Adaptado de Kaur et al. (2009) por Rutz (2012).

Resultados sugerem que o pico de viscosidade e a viscosidade mínima (ou *trough*) são parâmetros mais fáceis e menos dispendiosos para classificar a qualidade sensorial dos arroz de médio e alto teor de amilose (Figura 16). Arroz de baixa amilose são mais fortemente influenciados por outros fatores e requerem o desenvolvimento de melhores métodos para a sua classificação (SUWANNAPORN et al., 2007).

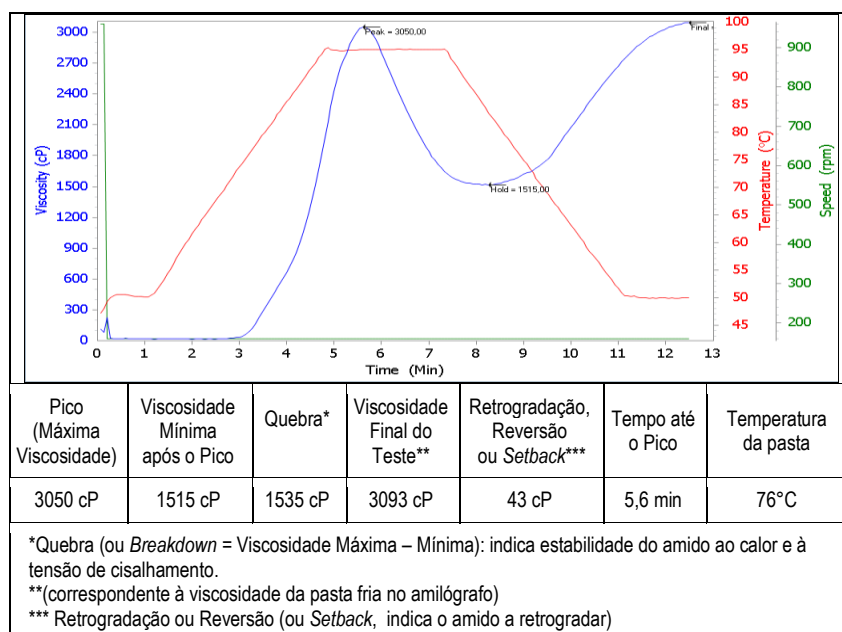


Figura 16 – Amilograma de arroz de médio teor de amilose (24,2%) obtido em equipamento RVA (*Rapid Visco Analyser*, marca Newport).

Fonte: COSTA et al., 2010.

### 2.5.5 Avaliação da qualidade de cocção do arroz por análise texturométrica

A Organização Internacional de Padronização (ISO) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) definem a textura de um alimento por conceitos quase idênticos, sendo a definição da ISO: “todos os atributos reológicos e estruturais (geométrica e superficial) perceptíveis de um produto por meio mecânico, tátil, e, onde apropriado, recepção visual e auditiva” (ISO, 1992; ABNT, 1993, 1994; QUEIROZ & TREPTOW, 2006).

Meilgaard, Civille e Carr (2007) a partir dos conceitos de Szczesniak (1963), definiram a textura como a manifestação sensorial da estrutura interna dos produtos em termos de reação ao estresse: medida como propriedade mecânica (firmeza, adesividade, coesividade, gomosidade, viscosidade) pelo sentido cinestésico nos músculos da mão, dedos, língua, maxilar ou lábios; propriedades relativas a sensações táteis, medidas como partículas geométricas (granulosidade, arenosidade, cristalinidade, floculação) ou propriedades de suculência (umidade, oleosidade, secura) pelos nervos táteis da superfície da pele, das mãos, lábios e língua (GULARTE, 2012).

Apesar de a textura ser uma propriedade sensorial, pode ser estudada também por métodos objetivos instrumentais, submetendo-se a amostra a uma força e avaliando-se a extensão da deformação ou resistência da amostra a essa força (BARBOSA, 2013).

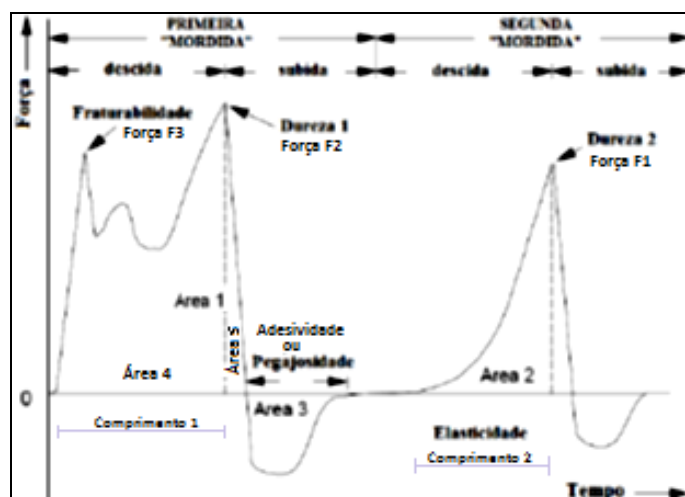
A textura além de poder ser medida diretamente por instrumentos como um analisador de textura (texturômetro), também pode ser avaliada indiretamente por propriedades físico-químicas (PATINDOL et al., 2010).

Segundo Santos (2012), os métodos instrumentais para medição de parâmetros de textura são divididos em três classes de testes: fundamentais, empíricos e de imitação. Os testes fundamentais: medem propriedades como os módulos de Young, de cisalhamento e de carga, que apresentam pouca correlação com avaliação sensorial. Os testes empíricos: englobam uma variedade de testes tais como perfuração, cisalhamento e extrusão, de resultados imprecisos, porém se correlacionam por experiência prática da qualidade de textura. Os testes de imitação: são testes que tentam imitar com instrumentos as condições nas quais o alimento é submetido na boca ou no prato. Dentro deste grupo está a Análise de

Perfil de Textura (ATP), realizada no equipamento analisador de textura, o texturômetro.

A avaliação por texturômetro busca minimizar o efeito de respostas subjetivas das análises sensoriais relativas à textura, com relação às dificuldades de interpretação e variação dos resultados (BARBOSA, 2013), no caso do arroz, através da quantificação numérica de características associadas com a mastigação e a soltabilidade dos grãos, entre outras (ROCHA, 2010; SCHIAVON, 2010; PAIVA, 2011, MORAIS, 2012).

O texturômetro possui sondas (ou *probes*) variadas, específicas para cada tipo de alimento ou parâmetro de textura a ser avaliado, e os ensaios podem ser de compressão ou de cisalhamento. Os ensaios de compressão procuram representar o movimento das mandíbulas durante a mastigação e podem ser feitos em dois ciclos, denominando-se ensaios de dupla compressão (SANTOS, 2012). Essa simulação é convertida em um gráfico de força x tempo (Figura 17) (BOURNE, 2002; BARBOSA, 2013), cujos principais parâmetros (dureza, coesividade, elasticidade e adesividade, considerados primários) são apresentados a seguir.



Legendas: Fraturabilidade (*Fracturability*) = força no primeiro pico (F3), Dureza (*Dureza 1* ou *Hardness*) = força máxima na primeira penetração (F2), Elasticidade (*Springness*) = comprimento 2 / comprimento 1, Resiliência (*Resilience*) = Área 5 / Área 4, Adesividade ou Pegajosidade (*Stickiness* ou *Stringiness*) = Área 3, Coesividade (*Cohesiviness*) = (Área 2 / Área 1), Gomosidade (*Gumminess*) = Coesividade = (Área 2 / Área 1) x Dureza (= F2), Mastigabilidade (*Chewiness*) = Gomosidade x Elasticidade.

Figura 17 - Curva característica do perfil de textura obtida por texturômetro universal Instron. Fonte: Adaptado de Bourne et al. (1978), Steffe (1996), Bourne (2002) e Barbosa (2013).



A dureza é definida como a força máxima (F2, na Figura 17, expressa em Newtons) que ocorre em qualquer altura durante o primeiro ciclo de compressão do equipamento. Após o primeiro ciclo de compressão, a força é removida da amostra, assim a sonda (probe) se move de volta para a sua posição original. Na análise sensorial, a dureza está relacionada à força dentro da boca requerida para comprimir uma substância entre os dentes molares ou entre a língua e o palato, e relacionada com palavras descritivas de maciez e firmeza (BOURNE, 1978; BOURNE, 2002; QUEIROZ & TREPTOW, 2006; ZHOU et al., 2007; SANTOS, 2012).

A coesividade ou coesão é medida tomando o trabalho total realizado sobre a amostra durante o segundo ciclo e dividindo-o pelo trabalho feito durante o primeiro ciclo (parâmetro adimensional), representando como o produto resiste a uma segunda deformação relativa depois de já ter sofrido uma primeira. O trabalho é medido como a área sob as respectivas curvas (Área 2 / Área 1, na Figura 17) (BOURNE, 2002; ZHOU et al., 2007). A coesividade reflete a resistência das ligações internas que compõem o corpo do produto, ou seja, é a extensão até a qual o material pode ser distendido antes de romper irreversivelmente. Sensorialmente, a coesividade corresponde à extensão que o alimento pode ser deformado ao ser comprimido pelos dentes, antes de se romper (BOURNE, 1978; QUEIROZ & TREPTOW, 2006; SANTOS, 2012; BARBOSA, 2013).

A adesividade ou pegajosidade corresponde à área do pico negativo (Área 3, da Figura 17, expressa em Joules) (ZHOU et al., 2007). Adesividade é a quantidade de força requerida para simular o trabalho necessário que sobreponha as forças de atração entre a superfície do alimento e a superfície em contato com este. A adesividade, sensorialmente, é a força requerida para remover o material que adere ao palato durante a mastigação (BOURNE, 1978; QUEIROZ & TREPTOW, 2006; SANTOS, 2012; BARBOSA, 2013).

A elasticidade é como um produto salta fisicamente de volta depois de ter sido deformado durante a primeira compressão. O retorno elástico é medido no curso descendente da segunda compressão, de modo que o tempo de espera entre dois golpes podem ser relativamente importante. Em alguns casos, um tempo de espera excessivamente longo permitirá um produto se apresentar mais elástico do que poderia com as condições de uso normal sendo pesquisadas (por exemplo, não se esperam 60 segundos entre as mastigações). A elasticidade (parâmetro

adimensional) é medida de várias maneiras, mais tipicamente, pela distância da altura detectada do produto na segunda compressão (Comprimento 2 no gráfico, na Figura 17), dividida pela distância de compressão inicial (Comprimento 1). Ao expressar a elasticidade como uma razão da sua altura original, podem ser feitas comparações entre um conjunto mais amplo de amostras e produtos (BOURNE, 2002). Sensorialmente, a elasticidade está relacionada com a capacidade de um alimento retomar sua forma original após a mordida (BOURNE, 1978; QUEIROZ & TREPTOW, 2006; SANTOS, 2012; BARBOSA, 2013).

A viscosidade (velocidade de fluxo por unidade de força) também é considerado um parâmetro primário de textura e sensorial, pois representa sensorialmente a força necessária para puxar um líquido da colher para a língua (QUEIROZ & TREPTOW, 2006), porém não é avaliada pelo texturômetro e sim por outras metodologias mais apropriadas.

Como propriedades secundárias de texturas, têm-se a fraturabilidade, a mastigabilidade e gomosidade (QUEIROZ & TREPTOW, 2006).

Fraturabilidade é a força necessária (expressa em Newtons) para o material fraturar, ou seja, é a força na ruptura observada no primeiro ciclo (produto com alto grau de dureza e baixo grau de coesividade). Nem todos os produtos se partem quando comprimidos, mas quando a fratura ocorre, o ponto de fraturabilidade é observado onde a curva tem o seu primeiro pico significativo durante a primeira compressão (Figura 17) (BOURNE, 2002). Sensorialmente é a força pela qual uma amostra esmigalha, racha ou quebra em pedaços (QUEIROZ & TREPTOW, 2006).

A gomosidade só se aplica aos produtos semissólidos e é calculada como o produto da dureza x coesão (expressa em Newtons). Gomosidade é mutuamente exclusiva com a mastigabilidade, desde que o produto final não seja sólido e semi-sólido ao mesmo tempo (BOURNE, 2002). A gomosidade sensorialmente é a densidade que persiste durante a mastigação, a energia requerida para desintegrar um alimento semissólido ao ponto ideal para deglutí-lo (QUEIROZ & TREPTOW, 2006).

A mastigabilidade só se aplica para os produtos sólidos e é calculada como o produto da gomosidade pela elasticidade (expressa em N). A mastigabilidade é mutuamente exclusiva com a gomosidade, desde que o produto final não seja sólido e semissólido ao mesmo tempo (BOURNE, 2002). Portanto, uma amostra de um produto não deveria exibir mastigabilidade e gomosidade, pois a mastigabilidade se

refere a alimentos sólidos e a gomosidade a alimentos semissólidos (MARFIL, 2010; BARBOSA, 2013), salvo o alimento tenha ambas características. Sensorialmente, a mastigabilidade corresponde ao tempo ou ao número de mastigações necessárias para reduzir o alimento a uma consistência adequada para a deglutição (BOURNE, 1978; QUEIROZ & TREPTOW, 2006; SANTOS, 2012).

A resiliência é a forma como um produto "luta para recuperar sua posição original", similar a uma elasticidade instantânea, uma vez que é medida sobre a retirada da primeira penetração, antes que o período de espera inicie. A resiliência é calculada pela área durante a retirada da sonda na primeira compressão, dividida pela área durante a descida na primeira compressão ( $\text{Área 5} / \text{Área 4}$ ). A resiliência nem sempre é medida, nem fazia parte das técnicas originais. A resiliência pode ser medida com uma única compressão, desde que a velocidade de retirada seja a mesma que a velocidade de compressão (BOURNE, 2002).

No arroz, dos parâmetros texturométricos medidos, a dureza e a adesividade fornecidas pelo texturômetro se correlacionam bem com as avaliações de firmeza e coesividade provenientes das avaliações sensoriais (JULIANO et al., 1981; KOHYAMA et al., 1998).

O grau de polimento e o método de cozimento do arroz afetam a textura de arroz cozido, os sólidos lixiviados e a absorção de água. As alterações na dureza do arroz cozido também podem ser relacionadas com a hidratação do núcleo do grão de arroz durante a cocção. Arroz menos polido absorve menos água durante o cozimento, podendo ficar mais duro. Cozimento prolongado possibilita uma maior absorção de água, produzindo grãos mais moles (SALEH & MEULLENET, 2007).

As propriedades de textura do arroz também são afetadas pelo método de cozimento. Os dois métodos mais comuns são a cocção em excesso de água fervente e a cocção com água numa proporção ótima definida em relação ao arroz (JULIANO & PEREZ, 1984). Quando preparados com nível de água ótimo, os grãos de arroz absorvem água, incham em grande medida, alguns materiais lixiviam para dentro da água de cozimento, até que, com a evaporação da água, os materiais lixiviados se depositam sobre a superfície dos grãos cozidos (PATINDOL et al., 2010).

O teor de amilose do arroz é considerado o determinante mais importante da textura do arroz cozido (PATINDOL et al., 2010).

Hanashiro et al. (2004) verificaram que o arroz pegajoso tende a lixiviar menos amilose menos do que o arroz mais solto.

Amilose e amilopectina lixiviam durante o cozimento. Uma maior quantidade de amilose lixiviada foi associada a uma maior dureza arroz cozido e menor adesividade (ONG & BLANCHARD, 1995; MIZUKAMI & TAKEDA, 2000; CAMERON & WANG, 2005; HANASHIRO et al., 2004; PATINDOL et al., 2007; 2010).

Os dados indicam que a dureza do arroz cozido é função da amilose, enquanto a adesividade (empapamento) dos grãos é atribuível à amilopectina.

As diferenças do comportamento de lixiviação das cultivares são afetadas pelo conteúdo de grãos inteiros, de proteína total, pela distribuição do comprimento de cadeia da amilopectina e, particularmente, pela proporção relativa entre as cadeias ramificadas longas e curtas (PATINDOL et al., 2010).

Num estudo de arroz cozido utilizando medições de eletromiografia e de texturômetro, Kohyama et al. (1998) observaram resultados interessantes: o arroz cozido com um elevado teor de amilose foi mastigado por mais tempo, ou seja, com um maior número e tempo de mastigações, com mais atividades musculares, do que o arroz com menos amilose. Estes parâmetros de mastigação foram negativamente correlacionados com a adesividade na medição de textura. A atividade músculo masseter aumentou no arroz com alto teor de amilose, que apresentou um valor de dureza elevada e valores baixos de adesividade. A relação entre a atividade dos músculos de abertura e fechamento maxilar/mandíbula foi negativamente correlacionada com o teor de amilose do arroz. Estes dois últimos resultados foram observados apenas em um estágio inicial de mastigação, pois as diferenças entre as variedades de arroz diminuíram durante a mastigação (KOHYAMA et al., 1998).

Há poucos estudos avaliando as características físico-químicas e sensoriais de híbridos ou de seus parentais (KUMAR et al., 1994; ZAMAN et al., 2003).

### **2.5.6 Avaliação da qualidade de consumo**

A qualidade de consumo também envolve a medida de parâmetros de cocção como tempo de cozimento, rendimento volumétrico, rendimento gravimétrico e também atributos sensoriais próprios das cultivares de arroz (BASSINELLO et al., 2004).

Estes parâmetros necessitam a padronização do método de cocção e das amostras de arroz a serem analisadas, pois a proporção de água, a temperatura da água, a forma de preparo, a quantidade de grãos quebrados e o grau de polimento do arroz influem, entre outros, nos resultados.

O tempo de cocção é o tempo que o arroz leva para cozinhar, medido por cronômetro.

O rendimento volumétrico está relacionado com a densidade aparente (pois depende do espaço de ar entre os grãos), e representa o aumento do volume ocupado pelos grãos com o cozimento. O rendimento volumétrico é considerado um parâmetro importante, pois reflete indiretamente a característica de soltabilidade desejada para o arroz polido pelos consumidores brasileiros. O valor do rendimento volumétrico é obtido através da divisão do volume ao final da cocção ocupado pelos grãos cozidos, pelo volume inicial do arroz cru.

O rendimento gravimétrico de cocção corresponde à absorção de água pelos grãos durante o cozimento, é calculado pela diferença percentual entre os pesos do arroz cozido e da amostra crua (MARTÍNEZ & CUEVAS, 1989; SCHIAVON, 2010).

Os atributos sensoriais considerados mais importantes pelos consumidores de arroz são a aparência, a soltabilidade, a textura, a cor, o odor e o sabor.

Aroma e sabor são considerados critérios muito importantes na definição da preferência entre os consumidores de arroz (JULIANO, 1994), sendo influenciados pela variedade do arroz (fatores genéticos), manejo da lavoura, umidade dos grãos, tempo de armazenamento, temperatura e condições de secagem, ocorrência de oxidação dos lipídios do farelo, grau de polimento, modo de preparo e temperatura do arroz ao ser servido, entre outros (CHAMPAGNE, 2008; FITZGERALD; McCOUCH & HALL, 2009).

As quantidades de proteínas e lipídios também afetam as propriedades sensoriais do arroz, mas a amilose é considerada a influência mais importante na qualidade sensorial dos arrozes, por sua relação direta com a absorção de água, expansão de volume, maciez e soltabilidade dos grãos cozidos (FITZGERALD; McCOUCH & HALL, 2009). Após um ano de armazenamento, a absorção de água pode diminuir (ZHOU et al., 2002b) e alterar o efeito sensorial.

O tempo de armazenamento influi no resultado sensorial. Uma diminuição da palatabilidade do arroz também pode ocorrer com o tempo de armazenamento, como resultado de uma maior atividade de enzimas lipases e lipoxigenases, ocorrendo modificações no teor de ácidos graxos e esteróis (YOON et al., 2012).

Muitos estudos têm buscado entender como os fatores genéticos, de pré-colheita e pós-colheita afetam o aroma e o sabor do arroz cozido, bem como os compostos voláteis a eles relacionados. Mais de 20 sabores e aromas já foram

descritos para o arroz, enquanto acima de 200 compostos voláteis já foram identificados, com destaque para o composto 2-acetil-1-pirrolina (CHAMPAGNE, 2008; ASGHAR et al., 2012).

A análise sensorial constitui uma importante ferramenta para avaliação das características das cultivares de arroz, sendo valiosa para validar novas tecnologias, desenvolvimento de novos produtos, melhoramento de produtos existentes e alterações de processos, entre outros (SANTOS, 2012).

Segundo a NBR 12806 de 1993, a análise sensorial é definida como uma ciência utilizada para analisar e interpretar sensações das características dos alimentos percebidas pelos cinco sentidos (ABNT, 1993). A qualidade sensorial, portanto, abrange todas as características que um produto possui e que impressionam os sentidos humanos (QUEIROZ & TREPTOW, 2006), enquanto a análise sensorial tem por objetivo detectar as diferenças perceptíveis de acordo com a intensidade dos atributos (FERREIRA et al., 2000; SANTOS, 2012).

O círculo de Kramer, criado em 1979, relacionou os atributos de qualidade sensorial em primários (aparência, sabor e cinestésicos) e secundários. Assim, a aparência está relacionada com cor, tamanho e forma; o sabor com gosto e odor; e os atributos cinestésicos se relacionam com a mastigação e tato: consistência, viscosidade, textura e sensação oral, havendo influência intercruzada de atributos secundários em outros primários (QUEIROZ & TREPTOW, 2006).

Testes sensoriais podem ser descritos ou classificados de várias formas. De acordo com o tipo de dados obtidos a partir do teste, podem ser chamados de testes paramétricos ou não-paramétricos, e conforme a finalidade do teste, em testes afetivos (orientados para o consumidor, caso de avaliações de preferência, de aceitação e testes hedônicos) ou analíticos (orientados para o produto, como aqueles utilizados para determinar as diferenças entre os produtos ou para medir as características sensoriais (WATTS et al., 1989, QUEIROZ & TREPTOW, 2006).

Para efeito de padronização dos testes, a NBR 12994 (ABNT, 1993), classificou os métodos de análises sensoriais em métodos discriminativos, descritivos e subjetivos.

Os testes discriminativos são considerados métodos objetivos, pois medem atributos específicos pela discriminação simples, indicando por comparação a existência ou não de diferenças qualitativas e/ou quantitativas, estatisticamente

significativas entre as amostras, e a sensibilidade (limites de percepção dos estímulos) (QUEIROZ & TREPTOW, 2006; DUTCOSKY, 2007).

Dentre os métodos discriminativos os principais são os triangular, duo-trio, comparação pareada, comparação múltipla ou diferença de controle. Os testes descritivos descrevem componentes ou parâmetros sensoriais e medem a intensidade que são percebidos (SANTOS, 2012).

Os métodos descritivos descrevem as amostras quali e/ou quantitativamente. Podem ser testes de avaliação de atributos (por meio de escalas de atributos e de proporção), descrição do perfil de sabor, odor, aparência, perfil de textura, análise descritiva quantitativa (ADQ) e teste de tempo x intensidade (ABNT, 1993).

Os testes subjetivos (ou afetivos) expressam a opinião pessoal do consumidor quanto às preferências, gostos ou opiniões, e consideram o estado emocional ou reação afetiva ao escolher um produto ou outro, medindo esta opinião. Os instrumentos mais utilizados são os testes de comparação pareada, ordenação, as escalas hedônicas, de intensidade, de atitude ou intenção de compra (QUEIROZ & TREPTOW, 2006; DUTCOSKY, 2007; SANTOS, 2012).

As escalas sensoriais são roteiros de avaliação utilizados para quantificar as informações sensoriais percebidas pelos provadores (BASSINELLO et al., 2004; QUEIROZ & TREPTOW, 2006). O tipo de escala utilizada deve estar de acordo com os objetivos do estudo e também define a análise estatística a ser empregada, quando for o caso (WATTS et al., 1989).

As escalas sensoriais são classificadas em quatro tipos: nominal (verbal), ordinal (numérica), de intervalo e de proporção, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 14141 de 1998 (ABNT, 1998).

Nas escalas nominais, o número apenas representa uma categoria de um alimento, por exemplo: 1 = salgado, 2 = neutro, 3 = doce, ou é utilizado diretamente um termo verbal (QUEIROZ & TREPTOW, 2006).

Nas escalas ordinais ou numéricas, os números representam uma intensidade ou magnitude sendo avaliada, especificando as categorias em uma série ordenada, podendo medir diferenças ou preferências, como por exemplo: 1 = não gostei nem compraria, a 5 = gostei muito e compraria (QUEIROZ & TREPTOW, 2006; MORAIS, 2012).

As escalas de intervalo podem ser estruturadas e não estruturadas e quanto à polaridade, serem unipolares e bipolares.

A escala de intervalo unipolar possui o zero na sua extremidade esquerda, correspondente à ausência do estímulo enquanto o lado direito representa a grande quantidade ou estímulo muito forte. Os comprimentos mais utilizados são 9 e 15 cm (BASSINELLO et al., 2004).

A escala de intervalo bipolar possui descrições opostas nas duas extremidades conforme a NBR 14141 (ABNT, 1998), sendo a escala hedônica seu exemplo clássico (gostar – desgostar) (QUEIROZ & TREPTOW, 2006).

Nas escalas de intervalo podem ser questionados vários atributos (em geral de 5 a 9) e o julgador no modelo não estruturado, por exemplo, faz uma marcação sobre uma reta de 5 a 15cm (cuja distância entre extremidade e marcação é medida posteriormente) no ponto que representa a intensidade ou a preferência do item avaliado. A escala de intervalo não-estruturada é usada em testes de perfil de textura e análise descritiva quantitativa (BASSINELLO et al., 2004; QUEIROZ & TREPTOW, 2006).

Na escala de intervalo de modelo estruturado, a escala apresenta números (de 5 a 15 pontos) ou termos definidos previamente para serem marcados pelo provador. Desenhos de faces com expressões também podem ser usados (BASSINELLO et al., 2004; QUEIROZ & TREPTOW, 2006).

Nas escalas de intervalo, os testes de pontuação medem a quantidade de diferença entre as amostras, e também permitem definir quais são as amostras que aumentam ou diminuem sua intensidade de uma característica (WATTS, 1989).

Escalas muito pequenas oferecem pouco poder de discriminação e as muito longas aumentam a variabilidade entre os provadores, aumentando o erro experimental (BASSINELLO et al., 2004).

Nas escalas de proporção os resultados são comparativos a uma determinada amostra de referência, e os próprios julgadores constroem a sua escala para expressar as proporções entre as intensidades sensoriais das amostras em relação à referência (QUEIROZ & TREPTOW, 2006).

O perfil de sabor é um teste da análise descritiva que descreve qualitativamente os atributos de sabor de um produto, sendo muito útil no desenvolvimento, modificação e melhoramento de produtos, controle de qualidade e estudo da estabilidade durante o armazenamento (QUEIROZ & TREPTOW, 2006).



### **3 MATERIAL e MÉTODOS**

#### **3.1 Material**

Foram utilizados quatro genótipos de arroz (*Oryza sativa*, L.), de grãos da mesma classe (longo fino), e que foram produzidos em sistema irrigado no município de Glorinha, do Rio Grande do Sul. Para minimizar influências climáticas, de solo e de manejo, as cultivares de arroz foram semeadas na mesma área, com a mesma adubação, o mesmo manejo de irrigação e idêntica forma de colheita. A secagem e o armazenamento das quatro cultivares também ocorreram nas mesmas condições.

Ao serem colhidos, os grãos foram imediatamente limpos, secos e armazenados em casca em ambiente com controle tecnológico de armazenamento, conforme recomendações oficiais da pesquisa (SOSBAI, 2010).

O trabalho teve duas etapas principais: Planejamento Experimental Analítico e Preparo das Amostras.

##### **3.1.1 Planejamento experimental analítico**

O experimento foi planejado de modo de responder a muitos questionamentos, que vão desde as diferenças de comportamento e composição entre variedades e híbridos, até diferenças entre suas alterações com o passar do tempo.

Assim, com relação à influência do tempo de armazenamento na modificação do comportamento dos grãos após a cocção, fez-se fazer a seguinte pergunta:

- As avaliações texturométricas e reológicas refletem os resultados da análise sensorial e da aceitação do produto dos grãos após a cocção, feita tão logo ocorra a colheita, como após um período de armazenamento?

Com relação às diferenças da fração protéica do endosperma entre variedades e híbridos de arroz, perguntas ainda não estão respondidas, como:

- Os híbridos de arroz têm conteúdo protéico e perfil de aminoácidos do seu endosperma diferentes das variedades de arroz?
- Ocorrem alterações relevantes no conteúdo protéico e no perfil de aminoácidos do endosperma com o tempo de armazenamento?

- Um conteúdo mais elevado de proteínas totais do endosperma do arroz pode estar relacionado com a característica de maior soltabilidade (ou menor empapamento) dos grãos ou atributos de preferência pelo arroz quando da cocção?

- Grãos com maior conteúdo (absoluto e/ou relativo) ou com maior variação de aminoácidos sulfurados no endosperma após 6 meses apresentam grãos mais soltos após a cocção?

Outros parâmetros de qualidade relacionados com o processamento também são importantes para a destinação industrial do arroz, independentemente se for variedade ou híbrido. Com relação à influência do tempo de armazenamento nestes parâmetros, questionamentos seguem sendo discutidos, tais como:

- O tempo de armazenamento e as condições de armazenamento modificam as características de qualidade industrial, como renda total, quantidade de grãos inteiros, grau de polimento, brancura e transparência do arroz polido de forma expressiva?

- O teor de amilose se altera com o tempo de armazenamento?

- O resultado do teste de ASV (que avalia indiretamente a temperatura de gelatinização do amido do arroz) se modifica neste tempo de armazenamento?

- Os materiais híbridos têm comportamento diferente das variedades para algum dos parâmetros anteriormente questionados?

As cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) escolhidas para serem avaliadas foram as variedades V1 e V2, por serem representantes típicas dos padrões de referência de qualidade de cocção (V1) e boa qualidade industrial (V2). Os grãos de arroz das cultivares híbridas avaliados foram H1 e H2, materiais escolhidos respectivamente por apresentar pouca melhoria da performance de cocção, mesmo com longo tempo de armazenamento (H1) e resultados de cocção mais aceitáveis com o armazenamento (H2).

O delineamento utilizado no experimento foi o completamente casualizado, num esquema fatorial 4X2 (4 cultivares X 2 tempos de armazenamento), com 9 repetições para cada cultivar.

A semeadura dos genótipos foi realizado em dezembro de 2010, tardiamente, em função de condições climáticas, na estação experimental da RiceTec Sementes Ltda., em Glorinha, RS, em áreas de tamanho 1,6m x 7m (faixas de 11,2m<sup>2</sup>), em triplicata. A colheita dos grãos ocorreu no final de abril de 2011.

Os grãos produzidos foram suficientes as para duas etapas de análises: logo após a colheita e 6 meses depois. As quantidades produzidas não permitiram que fosse efetuada uma etapa intermediária de avaliação para algumas das análises entre os dois extremos do tempo previsto de armazenamento, por exemplo, após 3 meses. A semeadura tardia prejudicou a plenitude do potencial de desenvolvimento produtivo das cultivares. Também houve acamamento em alguns quadros (parcelas ou *plots*) e o ataque do fungo *Pyricularia* (causador da doença brusone) às cultivares, o qual foi combatido com fungicida adequado. As dificuldades ocorridas não prejudicaram as avaliações de forma diferente do que ocorre em lavouras comerciais, igualmente sujeitas a atrasos de plantio, ventos fortes, excesso de chuvas ou secas e ataques de pragas.

### **3.1.2 Preparo das amostras**

As amostras com casca foram secas logo após serem colhidas, para evitar reações sequenciais oriundas de processos metabólicos ativados por calor e umidade (principalmente reações enzimáticas e desenvolvimento microbiano) que ocasionam o aparecimento de defeitos nos grãos.

A secagem foi realizada em secador estacionário com ar quente, em processo lento, mantendo-se a temperatura da massa de grãos inferior a 40°C (preferentemente entre 37-38°C, parâmetros também utilizados para sementes), a temperatura do ar de no máximo 45°C, e altura de camada de grãos em torno de 50cm (ELIAS et al., 2010a; 2010b), até os níveis de umidade se reduzirem para 12-12,5%, em condições suaves de secagem, para se evitarem fissuras nos grãos (que ocorrem em gradientes grãos-ar superiores a 13°C) e consequentemente interferências alheias aos resultados inerentes dos materiais testados.

Para equalização das tensões internas geradas pela secagem (temperagem) e também para padronização dos procedimentos, preparo e envio das amostras, foi utilizado um período de 15 dias de espera para o início das avaliações. Os arrozess com casca também foram expurgados com fosfina, para eliminar pragas e garantir a qualidade. O armazenamento dos grãos com casca, limpos e identificados, foi feito em potes plásticos individuais, em sala mantida à temperatura média de 20°C, de maio a outubro de 2011, perfazendo 6 meses.

Para cada etapa dos testes, a quantidade de arroz em casca foi descascada e polida de modo padronizado, de modo a remover a interferência do farelo nos resultados. Cada 100g de arroz com casca foi colocada no engenho de provas Zaccaria, modelo PAZ/1-DTA em um tempo de queda e retirada da casca de 20 segundos, e demais tempos de acordo com os parâmetros de aferição da amostra-padrão (tempo de polimento dos grãos de 35 segundos  $\pm$  5 segundos). Foram utilizados nos testes somente grãos inteiros de arroz, de modo a eliminar diferenças causadas pela presença de grãos quebrados, que poderiam interferir nos resultados.

### **3.2. Métodos**

#### **3.2.1 Umidade**

Realizada em estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , com circulação natural de ar, por 24 horas, de acordo com o método oficial de análises de sementes preconizado pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009c).

#### **3.2.2 Perfil de aminoácidos**

A análise foi realizada de acordo com White et al. (1986), Hagen et al. (1989) e Sarwar et al. (1989), utilizando a digestão ácida com ácido clorídrico 6N, durante 24 horas. Os aminoácidos liberados na hidrólise ácida reagem com fenilisotilcianato (PITC), são separados por HPLC (Cromatografia Líquida de Alta Performance) em fase reversa e detectados por detector de U.V. (ultravioleta) a 254nm. A quantificação é feita por calibração interna multinível, com auxílio do ácido alfa-aminobutírico (AAAB) como padrão interno. O conteúdo do aminoácido cisteína foi analisado também por HPLC e procedimento aproximado do anterior, porém com passos específicos para cisteína, conforme o método de MacDONALD et al. (1985), tendo sido realizado pelo Laboratório Adisseo, em Carat, França.

#### **3.2.3 Conteúdo protéico**

O conteúdo protéico total foi obtido a partir da soma de todos os 18 aminoácidos encontrados após digestão ácida e HPLC (Cromatografia Líquida de Alta Performance), conforme procedimento utilizado por Ning et al. (2010).

### 3.2.4 Amilose

A amilose foi determinada por método colorimétrico adaptado por Martínez & Cuevas (1989), a partir da metodologia de Williams et al. (1958), por medida da absorbância do complexo amilose-iodo em Espectrofotômetro Femto, modelo 600 Plus. A amostra de 10g de arroz polido foi moída para produzir grãos moídos de arroz com dimensões abaixo de 100 mesh. Para cada bateria de amostras, colocou-se como testemunhas amostras das cultivares IRGA 417, Sasanishiki e Arbório, para conferência dos resultados esperados. As amostras foram feitas em duplicata. Foram colocados 100mg de farinha em balões volumétricos de vidro de 100mL previamente identificados. Agregou-se 1mL de álcool etílico 96%, com agitação suave do balão para dissolver a farinha, e depois, 9ml de solução de hidróxido de sódio 1N. Colocaram-se então os balões em água fervente (100°C) em banho-maria por 9 minutos, para gelatinizar o amido, com posterior repouso durante 30 minutos para esfriar a solução. As paredes do balão foram lavadas com água destilada até completar o volume de 100mL. Os balões foram fechados e agitados. Foram retirados 5mL de cada balão e transferidos para balões de 100mL igualmente identificados, onde também receberam 1ml de ácido acético glacial 1N, e em seguida, 2ml de solução de iodo preparada três horas antes da análise, para formação do complexo de cor azul da amilose com o amido. Completou-se o volume do balão com água destilada. Os balões foram tapados, agitados e deixados em repouso por 30 minutos, sem agitação posterior. A leitura da absorbância foi realizada em 590nm, conforme Williams et al. (1958).

### 3.2.5 Parâmetro de gelatinização – ASV

A determinação do ASV (Graus de Dispersão Alcalina ou *Alkali Spreading Value*) fornece uma estimativa da faixa de temperatura de gelatinização do arroz e foi determinada conforme Martínez & Cuevas (1989), com solução alcalina de hidróxido de potássio (KOH a 1,7%).

### 3.2.6 Parâmetros de viscosidade - em RVA

As propriedades viscoamilográficas (reológicas ou de pasta) dos arrozes foram avaliadas pelo RVA (*Rapid Visco Analyser*, da Newport Scientific, modelo RVA4), através do perfil *Standard Analysis 1* do equipamento, utilizando-se 3,0g de amostra corrigida para 14% de umidade (ZAVAREZE, 2009; SCHIAVON, 2012).

Foram medidos os parâmetros:

- Temperatura de pasta (ou *pasting temperature*): temperatura em °C, calculada com base no tempo de funcionamento do RVA (6°C/min); correspondente ao ponto onde se inicia a formação da curva no gráfico, devido ao início do inchamento dos grânulos de amido;
- Tempo de pico (ou *peak time*): tempo de aquecimento no qual ocorre a viscosidade máxima da pasta;
- Viscosidade de pico, viscosidade máxima (ou *peak viscosity*): valor de máxima viscosidade do amido desenvolvida durante o ciclo de aquecimento, antecedendo a ruptura dos grânulos de amido;
- A viscosidade mínima (*trough viscosity*) – menor valor da viscosidade, após ter sido atingida a temperatura constante de 95°C, momento em que há a maior dissolução dos grânulos de amido;
- Quebra ou breakdown (*breakdown viscosity*): diferença de viscosidade entre o pico máximo e a viscosidade mínima a 95°C;
- Viscosidade Final: valor da viscosidade no final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50°C;
- Retrogradação, reversão ou *setback*: diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade (viscosidade mínima) a 95°. Corresponde à tendência à retrogradação do amido, ou seja, ao processo em que as cadeias de amilose e amilopectina se reassociam em uma estrutura ordenada favorecendo a recristalização do amido (THOMAS & ATWELL, 1999; MATSUGUMA, 2006; COPELAND et al., 2009; SCHEUER, 2009; RUTZ, 2012).

### **3.2.7 Parâmetros de qualidade industrial**

Os parâmetros de qualidade industrial utilizaram os procedimentos baseados na Instrução Normativa nº 06, de 16 de fevereiro de 2009 e a Instrução Normativa nº 16, de 26 de maio de 2009, e a Instrução Normativa nº 11, de 11 de março de 2011 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (BRASIL, 2009a; 2009b, 2011).

#### **3.2.7.1 Rendimento de grãos e rendimento de inteiros**

Os valores percentuais de rendimento de grãos (inteiros + quebrados) e do rendimento de grãos inteiros foram obtidos após o descasque e remoção do farelo do grão (polimento) de amostras de 100g de grãos de arroz em casca, limpo e seco. Para estas determinações foram utilizados os equipamentos Engenho de Provas Zaccaria, modelo PAZ/1-DTA e Analisador de Imagens S21 Isuzuki, ambos previamente regulados e calibrados.

#### **3.2.7.2 Dimensões**

Foram analisados comprimento, largura, a relação comprimento/largura e a espessura.

#### **3.2.7.3 Parâmetros branquimétricos**

A medida do grau de polimento, brancura e transparência foram determinados por branquímetro (*Milling Meter* Satake, modelo MM1C), com base na medição da luz refletida e absorvida após projeção de luz sobre os grãos inteiros de arroz, em escala própria do equipamento e procedimentos indicados pelo fabricante.

Foram realizadas 3 leituras para cada amostra de 30g de grãos polidos inteiros, sendo anotado o resultado da média das 3 leituras, fornecido pelo próprio equipamento.

O grau de polimento expressa a maior ou menor intensidade de remoção do germe e das camadas periféricas do grão, sendo expresso em unidades branquimétricas.

### **3.2.8 Parâmetros de cocção**

As características de cocção foram avaliadas das amostras de arroz polido compostas somente por grãos inteiros sem defeitos (BRASIL, 2009a), de modo evitar influências principalmente no rendimento volumétrico, por efeito da presença de grãos quebrados (que o reduzem) (AMATO, 2010).

A cocção das amostras foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Martinez e Cuevas (1989), com adaptações feitas por Gularte (2005) (SCHIAVON, 2010; 2012; ROCHA, 2010).

Foram avaliados os parâmetros: rendimento volumétrico (medida do aumento de volume, em %) e o rendimento gravimétrico (medida do aumento da massa, em %, que reflete a absorção de água pela amostra), através da metodologia calibrada no Laboratório de Grãos (LabGrãos) da UFPel.

As amostras de arroz foram cozidas simultaneamente em chapa de ferro aquecida por energia elétrica, em panelas apropriadamente desenvolvidas para o LabGrãos. No experimento eram colocadas 30g de arroz, sendo adicionada água com temperatura a 95°C, medida com auxílio de proveta, para serem determinadas as diferentes proporções de água conforme o processo de beneficiamento do arroz (neste caso, beneficiamento convencional, de arroz polido) (SCHIAVON, 2010; 2012).

Estes testes preliminares confirmaram a proporção de água:arroz esperada para uso, que foi de 2:1 em volume, típica de cozimento de arroz branco polido. A proporção esperada, caso as amostras fossem de arroz parboilizado, seria em torno de 2,6:1 (SCHIAVON, 2010; 2012).

Após a adição da água, as panelas foram tampadas, mantendo-se o controle da temperatura com termômetro. A cocção foi considerada completa quando a água da panela fosse totalmente absorvida pelos grãos ou o fundo da panela estivesse seco. O tempo de cocção variou de 15 a 18 minutos para todas as amostras.

#### **3.2.8.1 Rendimento Volumétrico**

O volume inicial do arroz cru e o volume final do arroz cozido foram determinados através de medição, com paquímetro, das dimensões da massa de grãos contida na panela (ROCHA, 2010; SCHIAVON, 2010; 2012).



### 3.2.8.2 Rendimento Gravimétrico

O rendimento gravimétrico de cocção, que corresponde à absorção de água pelos grãos durante o cozimento, foi calculado pela divisão do peso do arroz cozido ( $P_f$ ) (da mesma amostra cozida utilizada para a determinação do rendimento volumétrico, cuja proporção água:arroz foi de 2:1) pelo peso da amostra crua ( $P_i$ ), ou seja  $P_f / P_i$ , expressando-se o resultado em % (ROCHA, 2010; SCHIAVON, 2010; 2012).

### 3.2.9 Parâmetros texturométricos

Os parâmetros do perfil texturométrico dos grãos de arroz cozido foram obtidos utilizando-se o equipamento texturômetro modelo Texture Analyser modelo TA.XTplus, da Stable Micro Systems.

Por ensaios preliminares foram adaptadas as metodologias propostas por Champagne et al. (1998) e Lyon et al. (2000), de forma a permitir operar com o texturômetro já programado e calibrado, em testes preliminares (SCHIAVON, 2010; 2012).

O perfil texturométrico foi avaliado logo após a medição dos parâmetros de cocção. As amostras submetidas à determinação do perfil texturométrico foram aquelas selecionadas pelo critério de melhor desempenho no rendimento volumétrico de cocção, independentemente da temperatura de cocção e da proporção de água a que foram submetidas.

As amostras cozidas foram mantidas nos recipientes de cocção, enquanto se aguardava a estabilização da sua temperatura.

Utilizando Placa de Petri, de vidro, em formato cilíndrico, com 50 milímetros de diâmetro e 10 milímetros de altura, 10g de amostra de arroz cozido foram cuidadosamente acondicionados à placa.

Foi utilizada instrumentação flexível e não contundente para a transferência das amostras, do recipiente de cocção para a placa, com o intuito de evitar deformações nos grãos.

Em movimentos leves e horizontais a amostra foi nivelada na placa, permitindo que o *probe* (ou sonda) utilizado na compressão das amostras, em formato cilíndrico, com 45mm de diâmetro, tivesse a maior área de contato possível

com a amostra, minimizando as diferenças de alturas no contato com os grãos, quando arranjados de forma aleatória.

O texturômetro foi configurado para comprimir a amostra de 10g de arroz cozido a 60% do seu tamanho original, com velocidade de teste de  $1\text{mm.s}^{-1}$  e tempo entre as compressões de 3 segundos (ROCHA, 2010; SCHIAVON, 2010; 2012).

As propriedades avaliadas no perfil texturométrico (e suas unidades de medida) foram a dureza (N), a mastigabilidade (N.mm), a gomosidade (N), a elasticidade (parâmetro adimensional) e a adesividade (J). A medida da fraturabilidade (N) não se aplica ao arroz cozido, pois é uma medição feita em alimentos sólidos que se esmigalham sob aplicação de uma força. A resiliência (parâmetro adimensional) não é usualmente mensurada (BOURNE, 2002; SCHIAVON, 2012).

Para amostras de arroz cozido, os parâmetros de textura mais importantes são a dureza, a adesividade e a coesividade. No arroz, dos parâmetros texturométricos medidos, a dureza e a adesividade fornecidas pelo texturômetro são os que melhor se correlacionam com as avaliações de dureza e coesividade provenientes das avaliações sensoriais (JULIANO et al., 1981; KOHYAMA et al., 1998).

### **3.2.10 Atributos sensoriais**

A análise sensorial foi realizada pela equipe do LabGrãos da UFPel, em Pelotas, RS, utilizando metodologias e fichas de avaliação rotineiramente empregadas (GULARTE, 2005).

Na análise sensorial foram avaliados os atributos de cor, sabor, odor, brilho firmeza e a soltabilidade. A aceitação do arroz cozido e a intenção de compra do produto também foram avaliadas.

As amostras de 100g de grãos crus, polidos, inteiros e sem defeitos (BRASIL, 2009a) foram cozidas em água fervente (previamente aquecida), adicionada com auxílio de proveta, na proporção de água:arroz de 2:1 em volume (oriunda do melhor resultado de rendimento volumétrico), típica para cozimento de arroz branco polido (SCHIAVON, 2010; 2012).

As amostras foram cozidas em panelas de alumínio, em chapa elétrica aquecida a  $300^{\circ}\text{C}$ , no tempo de cocção necessário para a absorção da água e cozimento completo dos grãos, sem água residual no fundo da panela (15 a 18 minutos).

As amostras de arroz cozido foram codificadas com números de 03 (três) dígitos aleatoriamente distribuídos. As amostras foram apresentadas individual e inteiramente ao acaso a uma equipe de 12 julgadores treinados. Para cada julgador foram oferecidas 10g de cada amostra de arroz cozido, com temperatura de 60°C, que avaliaram a amostra usando a ficha de avaliação apresentada na Figura 18. Os julgadores avaliaram as amostras de acordo com as características valorizadas pelo mercado brasileiro.

Avaliação Sensorial de Arroz						
Nome: _____	Data: ____/____/20____					
<b>Instruções:</b> avalie da esquerda para a direita os atributos solicitados, registrando com um traço onde represente a intensidade de cada atributo.						
<b>Cor</b>	Branco acinzentado	Branco pouco intenso	Típica de Branco	Branco Amarelado	Amarelo	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<b>Brilho</b>	Opaco	Pouco brilhoso	Típico de Branco	Muito Brilhoso	Brilho Intenso	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<b>Odor</b>	Completamente neutro	Pouco perceptível	Típico de Branco	Forte	Muito Forte	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<b>Soltabilidade</b>	Grudado	Pouco Solto	Típica de Branco	Solto acentuado	Completamente solto	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<b>Sabor</b>	Completamente neutro	Pouco perceptível	Típico de Branco	Forte	Muito Forte	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<b>Firmeza</b>	Grãos muito moles	Grãos moles	Típica de Branco	Grãos firmes mastigáveis	Grãos duros	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<b>Intenção de Compra</b>	Certamente não compraria	Provavelmente não compraria	Tenho dúvidas se compraria	Provavelmente compraria	Certamente compraria	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<b>Aceitação</b>	Desgostei muito	Desgostei ligeiramente	Desgostei	Indiferente	Gostei ligeiramente	Gostei muito
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figura 18. Ficha de avaliação sensorial e intenção de compra de arroz cozido.

Fonte: Adaptada de Gularte (2005).

Na avaliação sensorial foi utilizado o método proposto por Gularte (2005), com adaptações, com uso de um teste contendo uma escala não estruturada de 9 centímetros, com termos descritivos para caracterização baseados nos principais atributos esperados no consumo de arroz cozido. Para cor, brilho, odor, sabor e firmeza os valores centrais correspondem à escala do ideal de performance do produto, e para soltabilidade, aceitação e intenção de compra, os valores mais elevados correspondem às melhores performances (Tabelas 18 e 19) (GULARTE 2005; NORONHA et al., 2005; MININ, 2010; MAGALHÃES JÚNIOR & AGUIAR, 2012; GULARTE, 2012).

**Tabela 18 - Atributos sensoriais, descrição dos atributos e escala de valores correspondentes**

Escala de valores	Atributo e descrição						
	Cor	Brilho	Odor	Sabor	Firmeza	Soltabilidade	Intenção de compra
0 a <1,125	Branco acinzentado	Opaco	Completamente neutro	Completamente neutro	Grãos muito moles	Grudado	Certamente não compraria
1,125 a <3,375	Branco pouco intenso	Pouco brilhoso	Pouco perceptível	Pouco perceptível	Grãos moles	Pouco Solto	Provavelmente não compraria
3,375 a <5,625	Típica de Branco	Típico de Branco	Típico de Branco	Típico de Branco	Típica de Branco	Típica de Branco	Tenho dúvidas se compraria
5,625 a <7,875	Branco Amarelado	Muito Brilhoso	Forte	Forte	Grãos firmes mastigáveis	Solto acentuado	Provavelmente compraria
7,875 a <9	Amarelo	Brilho Intenso	Muito Forte	Muito Forte	Grãos duros	Completamente solto	Certamente compraria

Fonte: Adaptado de Gularte (2005).

**Tabela 19 – Aceitação do arroz cozido: escala de valores e descrição correspondente**

Escala de valores para aceitação	Descrição do atributo aceitação do arroz cozido
0,00 a <0,75	Desgostei muito
0,75 a <2,25	Desgostei
2,25 a <3,75	Desgostei ligeiramente
3,75 a <5,25	Indiferente
5,25 a <6,75	Gostei ligeiramente
6,75 a <8,25	Gostei
8,25 a <9,00	Gostei muito

Fonte: Adaptado de Gularte (2005).

### 3.2.11 Análise estatística

Foram realizadas as análises de variância (ANOVA) e comparações de médias pelo teste de Tukey, utilizando-se o nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Aminoácidos e conteúdo protéico

Para cada amostra avaliada foi gerado um aminograma como o da Figura 19.

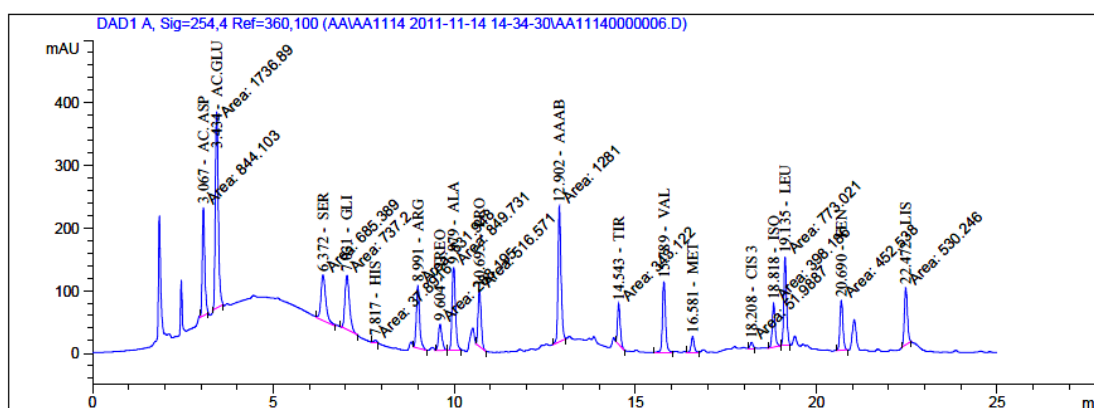


Figura 19 – Aminograma de amostra de arroz polido (código 10GL999005).

Fonte: Imagem cedida por Laboratório LAMIC (UFMS) / CEAN / ADISSEO.

Os valores encontrados para os aminoácidos e o conteúdo protéico total (obtido pela soma dos aminoácidos) de 100g de arroz polido, obtidos logo após a colheita (etapa 1) e depois de 6 meses de armazenamento a 20°C (etapa 2) estão apresentados na Tabela 20 com a denominação de valores absolutos, em ordem alfabética.

A Tabela 21 apresenta o perfil de aminoácidos com relação a 100g do conteúdo total de proteínas, tendo sido estes resultados denominados valores relativos, de forma a proporcionar uma equiparação entre a fração protéica de cada cultivar.

Os conteúdos de proteínas encontrados para as cultivares analisadas estão de acordo com a faixa de resultados de Juliano & Villareal (1993), Kennedy & Burlingame (2003) e Likitwattanasade (2009), sendo próximos daqueles encontrados por Becker et al. (2013), Kaminski et al. (2013a) e Costa et al. (2010, 2013).

Tabela 20 – Perfil de aminoácidos (valores absolutos) , proteínas totais em 100g de arroz polido logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento dos grãos em casca a 20°C (valores em g.100g<sup>-1</sup>) e sua variação (em %)

Composição	Mês	Cultivar H1		Cultivar H2		Cultivar V1		Cultivar V2	
Ácido	0	0,936 <sup>aA</sup>	±0,060	0,934 <sup>aA</sup>	±0,063	0,948 <sup>aA</sup>	±0,063	0,956 <sup>aA</sup>	±0,076
Aspártico	6	0,788 <sup>aB</sup>	±0,121	0,829 <sup>aB</sup>	±0,115	0,830 <sup>aB</sup>	±0,095	0,788 <sup>aB</sup>	±0,050
	Variação	-15,839	±8,557	-11,198	±11,214	-12,435	±8,916	-17,577	±5,609
Ácido	0	2,023 <sup>aA</sup>	±0,186	1,987 <sup>aA</sup>	±0,172	2,159 <sup>aA</sup>	±0,171	2,092 <sup>aA</sup>	±0,198
Glutâmico	6	1,685 <sup>aB</sup>	±0,143	1,697 <sup>aB</sup>	±0,147	1,697 <sup>aB</sup>	±0,115	1,707 <sup>aB</sup>	±0,086
	Variação	-16,711	±6,547	-14,597	±7,516	-21,408	±5,951	-18,381	±5,640
Alanina	0	0,537 <sup>aA</sup>	±0,057	0,537 <sup>aA</sup>	±0,053	0,568 <sup>aA</sup>	±0,031	0,555 <sup>aA</sup>	±0,033
	6	0,477 <sup>aB</sup>	±0,030	0,508 <sup>aA</sup>	±0,069	0,489 <sup>aB</sup>	±0,027	0,490 <sup>aB</sup>	±0,030
	Variação	-11,165	±11,476	-5,441	±14,005	-13,930	±4,346	-11,763	±5,191
Arginina	0	0,855 <sup>aA</sup>	±0,034	0,891 <sup>aA</sup>	±0,059	0,870 <sup>aA</sup>	±0,145	0,900 <sup>aA</sup>	±0,065
	6	0,756 <sup>abB</sup>	±0,048	0,726 <sup>abB</sup>	±0,072	0,777 <sup>aB</sup>	±0,023	0,673 <sup>bb</sup>	±0,127
	Variação	-11,521	±6,577	-18,541	±11,350	-10,679	±22,875	-25,197	±16,399
Cisteína	0	0,197 <sup>aA</sup>	±0,009	0,211 <sup>aA</sup>	±0,008	0,227 <sup>aA</sup>	±0,007	0,226 <sup>aA</sup>	±0,009
	6	0,191 <sup>bA</sup>	±0,011	0,199 <sup>bb</sup>	±0,007	0,212 <sup>aB</sup>	±0,008	0,219 <sup>aA</sup>	±0,009
	Variação	-3,318	±4,231	-5,871	±3,056	-6,311	±5,470	-3,036	±4,990
Cistina	0	0,123 <sup>aA</sup>	±0,016	0,134 <sup>aA</sup>	±0,031	0,122 <sup>aA</sup>	±0,010	0,129 <sup>aA</sup>	±0,014
	6	0,098 <sup>aB</sup>	±0,005	0,103 <sup>aB</sup>	±0,004	0,109 <sup>aA</sup>	±0,005	0,111 <sup>aB</sup>	±0,005
	Variação	-20,814	±13,279	-23,019	±14,289	-10,880	±8,005	-13,951	±11,257
Fenilalanina	0	0,610 <sup>aA</sup>	±0,068	0,572 <sup>aA</sup>	±0,038	0,590 <sup>aA</sup>	±0,049	0,601 <sup>aA</sup>	±0,044
	6	0,413 <sup>aB</sup>	±0,052	0,415 <sup>aB</sup>	±0,040	0,419 <sup>aB</sup>	±0,057	0,425 <sup>aB</sup>	±0,055
	Variação	-32,273	±14,091	-27,520	±8,662	-28,991	±9,074	-29,304	±12,949
Glicina	0	0,439 <sup>aA</sup>	±0,019	0,453 <sup>aA</sup>	±0,030	0,462 <sup>aA</sup>	±0,020	0,458 <sup>aA</sup>	±0,020
	6	0,357 <sup>aB</sup>	±0,053	0,374 <sup>aB</sup>	±0,050	0,372 <sup>aB</sup>	±0,067	0,403 <sup>aB</sup>	±0,056
	Variação	-18,582	±11,224	-17,377	±10,668	-19,553	±13,965	-12,033	±13,637
Histidina	0	0,116 <sup>aB</sup>	±0,015	0,113 <sup>aB</sup>	±0,025	0,112 <sup>aB</sup>	±0,020	0,110 <sup>aB</sup>	±0,006
	6	0,188 <sup>aA</sup>	±0,020	0,178 <sup>aA</sup>	±0,013	0,175 <sup>aA</sup>	±0,019	0,195 <sup>aA</sup>	±0,021
	Variação	62,327	±24,664	56,427	±34,589	56,235	±37,635	77,481	±20,992
Isoleucina	0	0,319 <sup>aA</sup>	±0,048	0,306 <sup>aA</sup>	±0,053	0,318 <sup>aA</sup>	±0,066	0,318 <sup>aA</sup>	±0,029
	6	0,292 <sup>aA</sup>	±0,027	0,299 <sup>aA</sup>	±0,025	0,303 <sup>aA</sup>	±0,035	0,292 <sup>aA</sup>	±0,031
	Variação	-8,400	±13,604	-2,265	±20,148	-4,476	±29,870	-8,189	±11,597
Leucina	0	0,651 <sup>aA</sup>	±0,078	0,625 <sup>aA</sup>	±0,082	0,622 <sup>aA</sup>	±0,092	0,635 <sup>aA</sup>	±0,068
	6	0,619 <sup>aA</sup>	±0,082	0,603 <sup>aA</sup>	±0,071	0,613 <sup>aA</sup>	±0,088	0,613 <sup>aA</sup>	±0,077
	Variação	-4,922	±5,733	-3,457	±17,673	-1,309	±19,556	-3,597	±9,273
Lisina	0	0,284 <sup>aA</sup>	±0,018	0,306 <sup>aA</sup>	±0,029	0,304 <sup>aA</sup>	±0,043	0,319 <sup>aA</sup>	±0,009
	6	0,269 <sup>aA</sup>	±0,015	0,273 <sup>aA</sup>	±0,055	0,292 <sup>aA</sup>	±0,048	0,297 <sup>aA</sup>	±0,074
	Variação	-5,053	±4,646	-10,686	±13,325	-3,904	±29,917	-6,722	±21,838
Metionina	0	0,141 <sup>aB</sup>	±0,050	0,148 <sup>aB</sup>	±0,031	0,165 <sup>aB</sup>	±0,048	0,139 <sup>aB</sup>	±0,042
	6	0,205 <sup>aA</sup>	±0,038	0,199 <sup>aA</sup>	±0,039	0,213 <sup>aA</sup>	±0,037	0,179 <sup>aA</sup>	±0,039
	Variação	45,312	±55,865	34,610	±52,193	29,346	±48,027	28,921	±64,699
Prolina	0	0,431 <sup>aA</sup>	±0,046	0,450 <sup>aA</sup>	±0,038	0,473 <sup>aA</sup>	±0,033	0,458 <sup>aA</sup>	±0,028
	6	0,439 <sup>aA</sup>	±0,073	0,474 <sup>aA</sup>	±0,104	0,465 <sup>aA</sup>	±0,081	0,472 <sup>aA</sup>	±0,088
	Variação	1,905	±16,374	5,487	±22,226	-1,804	±17,293	3,106	±20,227
Serina	0	0,483 <sup>aA</sup>	±0,053	0,490 <sup>aA</sup>	±0,091	0,522 <sup>aA</sup>	±0,089	0,516 <sup>aA</sup>	±0,062
	6	0,418 <sup>aB</sup>	±0,057	0,438 <sup>aA</sup>	±0,006	0,435 <sup>aB</sup>	±0,025	0,457 <sup>aA</sup>	±0,084
	Variação	-13,538	±18,942	-10,550	±20,269	-16,564	±12,193	-11,522	±21,955
Tirosina	0	0,385 <sup>aA</sup>	±0,030	0,415 <sup>aA</sup>	±0,032	0,439 <sup>aA</sup>	±0,027	0,407 <sup>aA</sup>	±0,041
	6	0,378 <sup>aA</sup>	±0,033	0,447 <sup>aA</sup>	±0,088	0,403 <sup>abA</sup>	±0,080	0,356 <sup>bb</sup>	±0,047
	Variação	-1,664	±8,029	7,862	±17,508	-8,100	±16,092	-12,579	±9,683
Treonina	0	0,306 <sup>aA</sup>	±0,050	0,297 <sup>aA</sup>	±0,043	0,319 <sup>aA</sup>	±0,045	0,323 <sup>aA</sup>	±0,059
	6	0,239 <sup>aB</sup>	±0,043	0,218 <sup>aB</sup>	±0,046	0,241 <sup>aB</sup>	±0,054	0,229 <sup>aB</sup>	±0,074
	Variação	-21,874	±23,904	-26,526	±21,673	-24,210	±23,777	-29,004	±29,736
Valina	0	0,508 <sup>aA</sup>	±0,079	0,492 <sup>aA</sup>	±0,071	0,511 <sup>aA</sup>	±0,077	0,511 <sup>aA</sup>	±0,055
	6	0,454 <sup>aA</sup>	±0,032	0,446 <sup>aA</sup>	±0,051	0,473 <sup>aA</sup>	±0,040	0,492 <sup>aA</sup>	±0,056
	Variação	-10,773	±18,986	-9,405	±20,004	-7,359	±16,762	-3,571	±10,326
Proteínas totais	0	9,344 <sup>aA</sup>	±0,415	9,360 <sup>aA</sup>	±0,314	9,729 <sup>aA</sup>	±0,291	9,653 <sup>aA</sup>	±0,430
	6	8,266 <sup>aB</sup>	±0,398	8,426 <sup>aB</sup>	±0,327	8,520 <sup>aB</sup>	±0,309	8,399 <sup>aB</sup>	±0,303
(por soma)	Variação	-11,535	±3,746	-9,977	±2,512	-12,428	±3,780	-12,991	±5,103

Os valores estão em base úmida, ajustados para 12% em todas as amostras. Cada média representa o resultado encontrado para 9 repetições. As letras que seguem as médias indicam as sua igualdade/diferença estatística ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas diferentes na mesma linha de cada aminoácido indicam médias significativamente diferentes daquela cultivar com relação às outras. Letras maiúsculas diferentes na coluna de cada cultivar indicam médias com diferença significativa para o resultado do aminoácido logo após a colheita e depois do armazenamento por 6 meses. O desvio padrão encontrado para cada média está apresentado na sua direita, após o sinal de  $\pm$ . Também foi calculada a variação média que ocorreu no teor de cada aminoácido e em cada cultivar após os 6 meses de armazenamento. O desvio padrão de cada variação média está apresentado a sua direita, após o sinal de  $\pm$ . O conteúdo protéico total foi obtido pela soma de todos os aminoácidos analisados.

Tabela 21 – Perfil de aminoácidos (valores relativos) em 100g de proteínas de arroz polido, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento dos grãos em casca a 20°C (valores em g.100g<sup>-1</sup>) e sua variação (em %)

Composição	Mês	Cultivar H1		Cultivar H2		Cultivar V1		Cultivar V2	
Ácido Aspártico	0	10,024 <sup>aA</sup>	±0,503	9,970 <sup>aA</sup>	±0,407	9,744 <sup>aA</sup>	±0,590	9,895 <sup>aA</sup>	±0,461
	6	9,525 <sup>aA</sup>	±1,305	9,818 <sup>aA</sup>	±1,076	9,742 <sup>aA</sup>	±1,049	9,390 <sup>aA</sup>	±0,674
	Variação	-4,974	±11,189	-1,525	±10,210	-0,024	±7,526	-5,097	±5,801
Ácido Glutâmico	0	21,640 <sup>aA</sup>	±1,550	21,215 <sup>aA</sup>	±1,468	22,201 <sup>aA</sup>	±1,681	21,633 <sup>aA</sup>	±1,264
	6	20,364 <sup>aB</sup>	±1,026	20,108 <sup>aA</sup>	±1,061	19,913 <sup>aB</sup>	±0,979	20,356 <sup>aB</sup>	±1,424
	Variação	-5,897	±5,282	-5,217	±6,632	-10,307	±6,425	-5,902	±5,781
Alanina	0	5,750 <sup>aA</sup>	±0,588	5,732 <sup>aA</sup>	±0,451	5,840 <sup>aA</sup>	±0,368	5,759 <sup>aA</sup>	±0,326
	6	5,770 <sup>aA</sup>	±0,161	6,015 <sup>aA</sup>	±0,665	5,737 <sup>aA</sup>	±0,293	5,843 <sup>aA</sup>	±0,432
	Variação	0,345	±11,033	4,936	±13,920	-1,763	±5,951	1,473	±10,351
Arginina	0	9,155 <sup>aA</sup>	±0,382	9,512 <sup>aA</sup>	±0,349	8,910 <sup>aA</sup>	±1,328	9,319 <sup>aA</sup>	±0,417
	6	9,148 <sup>aA</sup>	±0,369	8,642 <sup>abB</sup>	±1,064	9,120 <sup>aA</sup>	±0,195	7,987 <sup>bb</sup>	±1,338
	Variação	-0,077	±6,691	-9,146	±13,613	2,361	±22,146	-14,291	±14,880
Cisteína	0	2,116 <sup>bB</sup>	±0,129	2,259 <sup>abA</sup>	±0,110	2,330 <sup>aB</sup>	±0,087	2,340 <sup>ab</sup>	±0,122
	6	2,311 <sup>cA</sup>	±0,118	2,363 <sup>bcA</sup>	±0,120	2,496 <sup>abA</sup>	±0,142	2,605 <sup>aA</sup>	±0,080
	Variação	9,198	±6,381	4,595	±5,544	7,089	±8,356	11,317	±5,071
Cistina	0	1,323 <sup>aA</sup>	±0,183	1,436 <sup>aA</sup>	±0,341	1,258 <sup>aA</sup>	±0,121	1,341 <sup>aA</sup>	±0,167
	6	1,183 <sup>aA</sup>	±0,073	1,228 <sup>ab</sup>	±0,065	1,281 <sup>aA</sup>	±0,079	1,323 <sup>aA</sup>	±0,053
	Variação	-10,570	±13,920	-14,464	±16,927	1,796	±11,201	-1,337	±13,459
Fenilalanina	0	6,523 <sup>aA</sup>	±0,588	6,116 <sup>aA</sup>	±0,435	6,059 <sup>aA</sup>	±0,373	6,227 <sup>aA</sup>	±0,298
	6	5,000 <sup>aB</sup>	±0,602	4,931 <sup>ab</sup>	±0,553	4,917 <sup>ab</sup>	±0,627	5,052 <sup>ab</sup>	±0,526
	Variação	-23,353	±14,199	-19,374	±10,575	-18,859	±10,022	-18,872	±11,086
Glicina	0	4,698 <sup>aA</sup>	±0,232	4,835 <sup>aA</sup>	±0,207	4,752 <sup>aA</sup>	±0,189	4,746 <sup>aA</sup>	±0,154
	6	4,318 <sup>aA</sup>	±0,596	4,447 <sup>aA</sup>	±0,602	4,358 <sup>aA</sup>	±0,725	4,788 <sup>aA</sup>	±0,598
	Variação	-8,097	±10,339	-8,026	±12,559	-8,309	±15,563	0,884	±11,907
Histidina	0	1,234 <sup>ab</sup>	±0,126	1,212 <sup>ab</sup>	±0,258	1,155 <sup>ab</sup>	±0,222	1,141 <sup>ab</sup>	±0,075
	6	2,277 <sup>abA</sup>	±0,294	2,108 <sup>abA</sup>	±0,158	2,058 <sup>aA</sup>	±0,212	2,323 <sup>aA</sup>	±0,222
	Variação	84,471	±26,856	74,008	±38,549	78,112	±39,928	103,568	±18,264
Isoleucina	0	3,411 <sup>aA</sup>	±0,485	3,278 <sup>aA</sup>	±0,615	3,274 <sup>aA</sup>	±0,729	3,300 <sup>aA</sup>	±0,364
	6	3,534 <sup>aA</sup>	±0,317	3,550 <sup>aA</sup>	±0,311	3,555 <sup>aA</sup>	±0,336	3,477 <sup>aA</sup>	±0,397
	Variação	3,600	±13,706	8,301	±21,929	8,592	±31,974	5,363	±16,805
Leucina	0	6,980 <sup>aA</sup>	±0,907	6,692 <sup>aA</sup>	±0,956	6,404 <sup>aA</sup>	±1,033	6,611 <sup>aA</sup>	±0,903
	6	7,489 <sup>aA</sup>	±0,973	7,178 <sup>aA</sup>	±0,946	7,203 <sup>aA</sup>	±1,019	7,276 <sup>aA</sup>	±0,710
	Variação	7,283	±4,037	7,264	±20,345	12,472	±20,945	10,047	±13,913
Lisina	0	3,039 <sup>aA</sup>	±0,180	3,272 <sup>aA</sup>	±0,343	3,131 <sup>aA</sup>	±0,480	3,308 <sup>aA</sup>	±0,188
	6	3,265 <sup>aA</sup>	±0,206	3,251 <sup>aA</sup>	±0,680	3,427 <sup>aA</sup>	±0,531	3,526 <sup>aA</sup>	±0,824
	Variação	7,413	±7,207	-0,626	±16,137	9,456	±31,549	6,583	±22,126
Metionina	0	1,501 <sup>ab</sup>	±0,490	1,580 <sup>ab</sup>	±0,334	1,690 <sup>ab</sup>	±0,465	1,443 <sup>ab</sup>	±0,434
	6	2,484 <sup>aA</sup>	±0,438	2,374 <sup>aA</sup>	±0,527	2,507 <sup>aA</sup>	±0,435	2,134 <sup>aA</sup>	±0,454
	Variação	65,420	±61,802	50,266	±60,656	48,377	±56,350	47,910	±73,102
Prolina	0	4,605 <sup>aA</sup>	±0,376	4,802 <sup>ab</sup>	±0,364	4,870 <sup>aA</sup>	±0,356	4,747 <sup>ab</sup>	±0,275
	6	5,298 <sup>aA</sup>	±0,758	5,603 <sup>aA</sup>	±1,077	5,463 <sup>aA</sup>	±0,971	5,645 <sup>aA</sup>	±1,168
	Variação	15,032	±19,983	16,687	±22,837	12,182	±19,170	18,908	±30,279
Serina	0	5,184 <sup>aA</sup>	±0,635	5,228 <sup>aA</sup>	±0,905	5,351 <sup>aA</sup>	±0,840	5,348 <sup>aA</sup>	±0,577
	6	5,081 <sup>aA</sup>	±0,825	5,208 <sup>aA</sup>	±0,211	5,116 <sup>aA</sup>	±0,362	5,443 <sup>aA</sup>	±1,020
	Variação	-1,986	±23,412	-0,396	±23,229	-4,392	±13,146	1,793	±26,772
Tirosina	0	4,114 <sup>aA</sup>	±0,190	4,426 <sup>ab</sup>	±0,244	4,508 <sup>aA</sup>	±0,237	4,213 <sup>aA</sup>	±0,277
	6	4,576 <sup>ba</sup>	±0,321	5,287 <sup>aA</sup>	±0,890	4,725 <sup>abA</sup>	±0,886	4,241 <sup>ba</sup>	±0,553
	Variação	11,232	±9,253	19,455	±18,233	4,811	±16,220	0,676	±10,925
Treonina	0	3,266 <sup>aA</sup>	±0,443	3,160 <sup>aA</sup>	±0,366	3,270 <sup>aA</sup>	±0,407	3,334 <sup>aA</sup>	±0,496
	6	2,889 <sup>aA</sup>	±0,487	2,595 <sup>ab</sup>	±0,580	2,836 <sup>aA</sup>	±0,636	2,733 <sup>ab</sup>	±0,893
	Variação	-11,555	±24,928	-17,889	±24,452	-13,292	±26,840	-18,019	±31,631
Valina	0	5,434 <sup>aA</sup>	±0,770	5,275 <sup>aA</sup>	±0,842	5,252 <sup>aA</sup>	±0,803	5,295 <sup>aA</sup>	±0,573
	6	5,490 <sup>aA</sup>	±0,331	5,292 <sup>aA</sup>	±0,544	5,549 <sup>aA</sup>	±0,387	5,857 <sup>aA</sup>	±0,552
	Variação	1,027	±20,464	0,336	±21,999	5,650	±18,724	10,601	±9,287

Os valores estão em base úmida, ajustados para 12% em todas as amostras. Cada média representa o resultado encontrado para 9 repetições. As letras que seguem as médias indicam as sua igualdade/diferença estatística ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas diferentes na mesma linha de cada aminoácido indicam médias significativamente diferentes daquela cultivar com relação às outras. Letras maiúsculas diferentes na coluna de cada cultivar indicam médias com diferença significativa para o resultado do aminoácido logo após a colheita e depois do armazenamento por 6 meses. O desvio padrão encontrado para cada média está apresentado na sua direita, após o sinal de  $\pm$ . Também foi calculada a variação média que ocorreu no teor de cada aminoácido e em cada cultivar após os 6 meses de armazenamento. O desvio padrão de cada variação média está apresentado a sua direita, após o sinal de  $\pm$ .

As proteínas no arroz influenciam nas qualidades de cocção e textura, principalmente com relação à maciez/dureza e adesividade/soltabilidade do arroz cozido (RAMESH et al., 2000; DERYCKE, 2007; LIKITWATTANASADE, 2009). As proteínas têm um impacto significativo sobre as propriedades físico- químicas e de textura do arroz polido e também do arroz parboilizado (devido às interações entre as proteínas e as moléculas de amilose) (DERYCKE, 2007).

O aumento do conteúdo protéico (PATINDOL et al., 2010) está associado a um arroz mais firme do que um arroz com baixo teor de proteínas (mais tenro) (XIE et al., 2008). A barreira reforçada de proteínas é o principal fator responsável pela redução da absorção de água no arroz de baixo teor de amilose, enquanto que para arroz de alta amilose o reforço da barreira de amilose parece ser tão ou mais importante (DERYCKE, 2007).

Neste estudo, o tempo de armazenamento reduziu significativamente os valores das proteínas totais em todas as cultivares, por alterações metabólicas já esperadas, previstas por Elias (2003) e Zhou et al. (2002b). As cultivares foram iguais entre si em valores de proteínas totais logo após a colheita e também foram considerados iguais entre si após os 6 meses de armazenamento.

Houve efeito (interação significativa) do tempo de armazenamento sobre os resultados do conteúdo absoluto de ácido aspártico em todas as amostras, que tiveram seu conteúdo reduzido, sendo todos diferentes no final do armazenamento quando comparados aos valores das amostras recém-colhidas, porém iguais entre si. O tempo não influenciou os resultados do conteúdo relativo de ácido aspártico. Todos os valores foram considerados iguais entre si.

O tempo reduziu significativamente os valores absolutos de ácido glutâmico em todas as cultivares. As cultivares foram iguais entre si em valores absolutos de ácido glutâmico logo após a colheita e após os 6 meses de armazenamento. O tempo reduziu significativamente os valores absolutos de ácido glutâmico em todas as cultivares, com exceção de H2. As cultivares foram iguais entre si em valores relativos de ácido glutâmico logo após a colheita. Após os 6 meses de armazenamento, a única diferente foi H2.

Com relação ao conteúdo absoluto de alanina, o tempo afetou os resultados diminuindo o conteúdo em todas as cultivares após o armazenamento, exceto H2, que não diferiu daquele valor encontrado logo após a colheita ( $p < 0,05$ ) tendo sido



diferente dos demais. Com relação ao conteúdo relativo de alanina, o tempo não afetou os resultados, nem houve diferença entre as médias.

Houve interação do tempo sobre os resultados do conteúdo absoluto de arginina em todas as amostras, que tiveram seu conteúdo reduzido. As amostras logo após a colheita foram iguais entre si. Após o armazenamento os resultados foram similares. Com relação ao conteúdo relativo de arginina, apenas houve redução com o tempo em H2 e V2. O grupo de amostras após o armazenamento foi muito parecido entre si.

As cultivares híbridas apresentaram diferenças das variedades com relação ao teor de absoluto e relativo de cisteína. Para os valores absolutos de cisteína logo após a colheita, V1 e V2 foram iguais e apresentaram valores maiores do que H1 e H2, que eram diferentes dos demais. O tempo influenciou os conteúdos absolutos de cisteína de H2 e V1. H1 e V2 não foram afetados. O tempo aumentou os resultados do conteúdo relativo de cisteína, com exceção de H2, que manteve o valor inicial. V1 e V2 foram iguais e bem diferentes de H1. H2 apresentou valores intermediários e aproximados de H1 e V1. Os conteúdos relativos de cisteína das amostras após o armazenamento refletiram o histórico prévio esperado de soltabilidade: baixa para H1, intermediária para H2, melhores para V1 e V2.

Não houve diferença entre as cultivares nos valores absolutos de cistina. Quase todos os valores absolutos de cistina se reduziram com o tempo de forma significativa, com exceção de V1, cujo valor também diminuiu, mas não a ponto de ser significativamente diferente do inicial (em  $p < 0,05$ ). Não houve diferença entre as cultivares nos valores relativos de cistina. O tempo não reduziu os valores de forma significativa, com exceção de H2, cujo valor diminuiu de forma significativa do inicial, porém atingindo a mesma faixa de valores dos demais. Mesmo depois de as cultivares terem sido consideradas iguais ao nível de significância utilizado ( $p < 0,05$ ) após o armazenamento, os valores de cistina encontrados (principalmente os relativos) foram crescentes de H1 até V2, de acordo com a expectativa, considerando-se o critério de ordem esperada de soltabilidade dos grãos cozidos. Os percentuais de variação da segunda etapa com relação à primeira foram bastante menores nas cultivares V1 e V2, variedades de desempenho histórico de soltabilidade melhor que H1 e H2, sugerindo a idéia que maiores quedas no conteúdo relativo de cistina também podem levar a uma maior aderência dos grãos cozidos, enquanto pouca ou nenhuma variação ajudaria a garantir sua soltabilidade.

O tempo reduziu os valores absolutos e relativos de fenilalanina em todas as cultivares. As cultivares foram iguais entre si em valores absolutos e relativos de fenilalanina logo após a colheita e após os 6 meses de armazenamento.

O tempo reduziu significativamente os valores absolutos de glicina em todas as cultivares. As cultivares foram iguais entre si em valores absolutos de glicina logo após a colheita e após os 6 meses de armazenamento. As cultivares foram iguais entre si em valores relativos de glicina logo após a colheita e após os 6 meses de armazenamento. O tempo reduziu, mas não de forma significativa, os valores relativos de glicina em todas as cultivares.

Todos os valores absolutos de histidina e metionina aumentaram com o tempo de armazenamento. Os valores entre as cultivares em cada etapa foram iguais. Também todos os valores relativos de histidina e metionina aumentaram com o tempo de armazenamento. Os valores entre as cultivares após a colheita foram iguais entre si e depois dos 6 meses de armazenamento foram próximos. A metionina é um dos produtos da rota metabólica do enxofre e seu aumento poderia ser consequência do consumo de cisteína nesta reação na pós-colheita do grão (DAVIDIAN & KOPRIVA, 2010; BRYCHKOVA et al., 2013).

O tempo não influenciou nos conteúdos absolutos e nem nos relativos de isoleucina, leucina e valina, pois as cultivares os mantiveram durante os seis meses de armazenamento, à semelhança do que ocorreu com os valores absolutos e relativos de lisina, que não se alteraram nesse período em nenhuma das cultivares.

O tempo não influenciou nos conteúdos absolutos de prolina. As cultivares foram iguais entre si nas 2 etapas. As cultivares H1 e V1 não tiveram seu conteúdo relativo de prolina aumentado de forma significativa, enquanto H2 e V2 apresentaram aumento significativo. Porém as cultivares foram consideradas iguais logo após a colheita, e também após o armazenamento.

Os valores absolutos de serina diminuíram de forma significativa apenas nas cultivares H1 e V1, porém os valores das cultivares logo após a colheita foram considerados iguais entre si. O mesmo ocorreu após os 6 meses de armazenamento. Não houve influência significativa do tempo de armazenamento nos valores relativos de serina em todas as cultivares, tendo sido os valores registrados considerados todos iguais entre si.

As amostras logo após a colheita tiveram conteúdos absolutos de tirosina iguais entre si. O tempo reduziu de modo significativo apenas o conteúdo absoluto

de tirosina em V2. O tempo aumentou o conteúdo relativo de tirosina apenas em H2. Logo após a colheita, as cultivares foram iguais entre si.

O tempo de armazenamento reduziu significativamente os valores absolutos de treonina em todas as cultivares. As quatro cultivares foram consideradas iguais entre si logo após a colheita. Depois do armazenamento os valores absolutos de treonina também foram considerados iguais para todas as cultivares. O tempo de armazenamento reduziu de forma significativa o conteúdo relativo de treonina apenas em H2 e V2, nas demais cultivares não houve efeito. Os valores registrados logo após a colheita foram considerados iguais para todas as cultivares.

A Tabela 22 apresenta um resumo dos resultados obtidos. O tempo de armazenamento reduziu significativamente os valores das proteínas totais em todas as cultivares (cerca de 10 a 13%), conforme descrito por Elias (2003) e Zhou et al. (2002b). Como a fração protéica analisada neste experimento foi aquela constituída pela soma dos aminoácidos presentes, a redução observada não contraria os resultados de Kaminski et al. (2013a), que observaram estabilidade no conteúdo protéico bruto (determinado por nitrogênio total) em 6 meses de armazenamento de arroz a 20°C.

Tabela 22 – Resumo dos resultados obtidos do efeito do tempo de armazenamento dos grãos sobre o perfil de aminoácidos

Componente	Valores absolutos (em 100g de arroz polido)				Valores relativos (em 100g de proteínas)				Observação
	Redução	Sem efeito	Aumento	Cultivares após 6 meses	Redução	Sem efeito	Aumento	Cultivares após 6 meses	
Proteínas totais	X								De acordo com o esperado
Ácido aspártico	X					X			
Ácido glutâmico	X				X				
Alanina	X					X			
Arginina	X				X	X			
Cisteína	X	X		(H1=H2) ≠ (V1=V2)		X	X	V2~V1 V1~H2 H2~H1 H1≠(V1 e V2)	Resultados refletiram a solubilidade
Cistina	X	X			X				Variações (%) sugestivas
Fenilalanina	X				X				
Glicina	X					X			
Histidina			X				X		
Isoleucina		X				X			
Leucina		X				X			
Lisina		X				X			
Metionina			X				X		
Prolina		X				X	X		
Serina	X	X				X			
Tirosina	X	X				X	X		
Treonina	X				X	X			
Valina		X				X			

X= marcação do efeito observado.

A redução causada pelo tempo nas proteínas totais ocorreu da mesma forma tanto nas cultivares híbridas analisadas H1 e H2 como nas variedades testadas V1 e V2, ainda que as cultivares pudessem ter comportamentos com velocidades de redução distintas no envelhecimento (KAMINSKI, 2012), mas isso não ocorreu neste experimento.

Como os valores protéicos das cultivares foram considerados iguais antes e também depois do armazenamento, ainda que tenham se reduzido com o tempo, não se pôde associar o efeito das proteínas em níveis distintos às diferenças de comportamento dos grãos, conforme preconizado por Baldwin (2001) e Zhou et al. (2003b).

O conteúdo geral dos aminoácidos foi semelhante daqueles descritos por Wu et al. (2002), Ning et al. (2010) e USDA (2013d), e também foram proporcionalmente muito similares àqueles encontrados por Silva, R. F. et al. (2007).

Os aminoácidos presentes em maior proporção em todas as cultivares foram o ácido glutâmico, ácido aspártico e arginina, que juntos perfizeram cerca de 40,8% do conteúdo relativo às proteínas totais logo após a colheita, caindo para cerca de 38,5% depois dos 6 meses de armazenamento. O restante dos percentuais foi dividido entre os outros quinze aminoácidos.

A proporção entre os aminoácidos se alterou com o tempo de armazenamento. Histidina e metionina apresentaram os maiores aumentos de valores absolutos e relativos.

Os aminoácidos sulfurados (cisteína, cistina e metionina) corresponderam a apenas 5,2% do conteúdo relativo às proteínas totais logo após a colheita, aumentando para 6,1% depois dos 6 meses de armazenamento.

A solubilidade parece estar associada aos valores absolutos e relativos de cisteína e com as menores quedas de cistina (ainda que não significativas), conforme sugerido por Likitwattanasade (2009). Quando se analisam os valores relativos ao teor de proteínas totais, os arroztes que historicamente tendem a serem mais soltos (menos empapados), representados principalmente pelas variedades V1 e V2, ainda tiveram um valor ligeiramente maior na soma dos dois aminoácidos (cisteína + cistina) quando comparados a H1 e H2, ainda que não houvesse diferença significativa clara entre eles ( $p < 0,05$ ).

Considerando ainda que a metionina aumentou seu conteúdo em proporção relativa ao conteúdo protéico total com o tempo, a análise do efeito dos três aminoácidos sulfurados: cisteína, cistina e metionina sugere que as alterações

observadas nestes aminoácidos estariam refletindo as modificações que ocorrem nas moléculas de proteínas, durante o armazenamento e no aumento da solubilidade do arroz cozido, atribuída ao incremento de ligações dissulfeto intra e intermoleculares ao longo do tempo, por conversão de cadeias de baixo peso molecular em cadeias com alto peso molecular, devido às polimerizações (intra e intermoleculares) (OHNO et al., 2004; OHNO & OHISA, 2005; ELLEPOLA & MA, 2006; OHNO et al., 2007), que reforçam a rigidez do grão (HAMAKER & GRIFFIN, 1990; CHRASTIL & ZARINS, 1992; LIKITWATTANASADE, 2009; ZHOU et al., 2010).

Os resultados obtidos permitem concluir que as cultivares híbridas analisadas H1 e H2 têm endosperma com perfil de aminoácidos e comportamento frente ao tempo de armazenamento geral similares aos das variedades testadas V1 e V2, com diferenças sutis (e nem sempre significativas) em alguns aminoácidos, principalmente cisteína e cistina. No entanto, estas diferenças parecem ter reflexos importantes nas características de qualidade industrial (como grãos mais rígidos e mais resistentes ao polimento com o tempo) e nas características de cocção dos grãos de arroz (grãos mais firmes e soltos após o armazenamento), conforme resultados apresentados a seguir.

## 4.2 Amilose

Os resultados obtidos na determinação da amilose para as cultivares estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Teor de amilose do endosperma das cultivares híbridas H1 e H2, e das variedades V1 e V2, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento dos grãos em casca a 20°C

Parâmetro	Unidade	Mês	Cultivar H1		Cultivar H2		Cultivar V1		Cultivar V2	
Amilose	%	0	23,417 <sup>ba</sup>	±0,274	26,790 <sup>aA</sup>	±0,532	26,619 <sup>aA</sup>	±0,438	26,892 <sup>aA</sup>	±0,433
	%	6	22,435 <sup>bb</sup>	±0,445	26,543 <sup>aA</sup>	±0,494	26,232 <sup>aA</sup>	±0,639	26,338 <sup>aB</sup>	±0,338
	%	Variação	-4,196	±1,729	-0,920	±2,338	-1,454	±3,250	-2,060	±1,700

A amilose está relacionada às propriedades de maciez, coesão, cor, brilho e volume de expansão, determinantes da qualidade de cocção do arroz (GULARTE, 2012), porém cultivares de arroz com teor de amilose semelhantes podem diferir nas suas propriedades de textura (PATINDOL et al., 2010) em função do efeito de

outros componentes presentes no endosperma. A amilose também pode formar cristalitos, os quais apresentam temperaturas de fusão mais elevadas do que 100°C, e podem contribuir no impacto sobre as propriedades de textura do arroz cozido (DERYCKE, 2007).

Os valores de amilose observados para H1 e H2 estavam de acordo àqueles informados pelos detentores destas cultivares e por Costa et al. (2010, 2013), e próximos aos encontrados por Cordeiro & Medeiros (2010), Becker et al. (2013), Kaminski et al. (2013a) e Santos et al. (2011) para as variedades V1 e V2.

Os resultados de amilose encontrados indicaram que a cultivar H1 foi significativamente diferente das demais, antes e após o armazenamento.

Os valores de 23,4 a 22,4% de amilose encontrados respectivamente logo após a colheita e depois do armazenamento para a cultivar H1 classificaram-na como um arroz de média amilose, com comportamento inferior de qualidade de cocção com relação à soltabilidade (grãos cozidos mais aderidos, pegajosos).

As cultivar híbrida H2 foi igual às variedades V1 e V2 antes e após o armazenamento, sendo este grupo considerado de mais alta amilose, com valores que se aproximaram de 27%, considerado importante para o atendimento da qualidade de cocção exigida do arroz pelos consumidores brasileiros, em termos de soltabilidade dos grãos (MARTÍNEZ & CUEVAS, 1989; JULIANO, 1994; TECHAWIPHARAT et al., 2008; PEREIRA & RANGEL, 2001; ZAVAREZE, 2009; DELCOUR & HOSENEY, 2010; WANI et al., 2012; MORAIS, 2012; ODENIGBO et al., 2013).

Houve uma redução significativa nos teores de amilose das amostras H1 e V2 com o tempo de armazenamento. Variações pequenas (ainda que consideradas significativas), como a verificada para a variedade V2, podem ter sido originadas por variações relatadas por Fitzgerald et al. (2009), inerentes à sensibilidade da metodologia (PERONI, 2003; MATSUGUMA, 2006; FURLONG, 2012). Porém ambas as reduções estão de acordo com o encontrado por Patindol et al. (2005) que armazenou arroz a 21°C por 9 meses e encontrou algumas reduções de amilose nos materiais testados, diminuição da razão amilose/amilopectina, do comprimento médio da cadeia de amilopectina e mudança na distribuição do comprimento de cadeia para cadeias de ramificações mais curtas sinalizando uma degradação do amido em nível molecular, que poderia ter sido causada por enzimas amilolíticas que atuam no interior endosperma do arroz.

### 4.3 ASV

Os resultados obtidos na determinação do ASV (graus de dispersão alcalina ou valor de dispersão em álcalis) para as cultivares estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – ASV (graus de dispersão alcalina) em arroz polido das cultivares híbridas H1 e H2, e das variedades V1 e V2, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento dos grãos em casca a 20°C

Parâmetro	Unidade	Mês	Cultivar H1		Cultivar H2		Cultivar V1		Cultivar V2	
ASV	-	0	6,190 <sup>ba</sup>	±0,178	6,986 <sup>aA</sup>	±0,042	7,000 <sup>aA</sup>	±0,000	7,000 <sup>aA</sup>	±0,000
	-	6	6,022 <sup>bb</sup>	±0,213	6,991 <sup>aA</sup>	±0,014	6,991 <sup>aA</sup>	±0,020	6,997 <sup>aA</sup>	±0,009
	%	Variação	-2,718	±3,234	0,066	±0,683	-0,132	±0,281	-0,044	±0,132

Os resultados encontrados para as cultivares H1 e H2 foram similares aos informados pelos detentores destas cultivares e por Costa et al. (2010, 2013). Os resultados de V1 e V2 corresponderam àqueles avaliados por Cordeiro & Medeiros (2010), por Garcia et al. (2011) e também por esta autora em seus experimentos anteriores.

Os valores de ASV encontrados variaram de 7 a 6, correspondendo à faixa de temperaturas de gelatinização de 63 a 68°C estabelecida por Martínez & Cuevas (1989) e considerados como uma temperatura de gelatinização baixa, principalmente para as cultivares que têm valores de ASV em torno de 7.

Com relação aos resultados encontrados, as cultivares H2, V1 e V2 foram iguais entre si antes e após o armazenamento, não tendo sido afetadas pelo tempo. A cultivar H1 foi diferente das demais antes e após o armazenamento, tendo sido observada uma redução no seu valor de ASV após os 6 meses de armazenamento, correspondendo a um aumento da sua temperatura de gelatinização. Aumentos na temperatura de gelatinização de arroz armazenado, além de serem consequência do rearranjo da estrutura molecular do amido, ocorrem também conforme com a temperatura e tempo de armazenamento, e a cultivar (DHALIWAL et al., 1991; ZHOU et al., 2010).

A redução ocorrida em H1, considerando sua condição de cultivar híbrida, poderia ter sido motivada pela alteração na relação amilose:amilopectina do endosperma, uma vez que foi observada uma redução no teor de amilose (de 23,4 para 22,4%, redução de cerca de 1%). No mesmo raciocínio, a redução de amilose observada para V2 (de 26,892 para 26,338%, ou seja, de 0,554%) poderia não ter

sido suficiente para causar alterações na temperatura de gelatinização medida pela determinação do ASV.

A redução da amilose aumenta o ponto de fusão das regiões cristalinas e a energia necessária para o início da gelatinização, uma vez que mais energia é necessária para iniciar a fusão da zona de maior cristalinidade do grânulo de amido devida à amilopectina (DENARDIN & SILVA, 2009; RUPOLLO, 2011; WANI et al., 2012). Essa correlação indica que amidos com maior teor de amilose, por apresentarem mais regiões amorfas e menos regiões cristalinas, apresentariam menores temperaturas de gelatinização (ODENIGBO, 2013), o que foi verificado para as cultivares H2, V1 e V2.

A estrutura interna da amilopectina responde pelas tendências das propriedades térmicas do arroz como a entalpia de gelatinização, que aumenta com o comprimento da cadeia externa da amilopectina (VAMADEVAN, BERTOFT & SEETHARAMAN, 2013).

Os resultados encontrados sugerem que os reflexos na temperatura de gelatinização devido às mudanças estruturais da amilose e amilopectina ocorrem igualmente nas variedades e em cultivares híbridas.

#### **4.4 Parâmetros de viscosidade - em RVA**

Os resultados obtidos na determinação dos parâmetros de viscosidade para as cultivares estão apresentados na Tabela 25.

O tempo de armazenamento teve efeito redutor na temperatura de pasta de todas as cultivares. A cultivar H1 foi diferente das demais tanto logo após a colheita, como também depois do armazenamento por 6 meses. H2, V1 e V2 foram iguais entre nas duas etapas. Os resultados da temperatura de pasta encontrados estão coerentemente de acordo com os valores de ASV obtidos neste experimento, onde a cultivar híbrida H1 (com ASV~6) foi diferente das demais H2, V2 e V3 (com ASV~7) e também reflete a relação amilose:amilopectina (diferente para H1 das demais cultivares), uma vez que o teor de amilose de H1 é menor.



Tabela 25 – Perfil viscoamilográfico obtido por RVA da farinha de arroz polido das cultivares H1, H2, V1 e V2, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento dos grãos em casca a 20°C

Parâmetro	Unidade	Mês	Cultivar H1		Cultivar H2		Cultivar V1		Cultivar V2	
Temperatura de pasta	°C	0	85,508 <sup>bA</sup>	±4,141	87,881 <sup>aA</sup>	±0,861	88,942 <sup>aA</sup>	±1,346	87,111 <sup>abA</sup>	±0,291
	°C	6	76,058 <sup>bB</sup>	±0,457	84,461 <sup>ab</sup>	±0,866	86,103 <sup>ab</sup>	±0,834	85,853 <sup>aA</sup>	±0,775
	%	Variação	-11,052	±4,585	-3,891	±1,292	-3,192	±1,451	-1,445	±0,936
Tempo até o pico de viscosidade	minutos	0	6,126 <sup>cA</sup>	±0,095	6,203 <sup>bcA</sup>	±0,096	6,341 <sup>aA</sup>	±0,107	6,256 <sup>abA</sup>	±0,057
	minutos	6	5,921 <sup>bB</sup>	±0,059	5,977 <sup>bB</sup>	±0,095	6,100 <sup>ab</sup>	±0,087	6,038 <sup>abB</sup>	±0,058
	%	Variação	-2,848	±1,376	-3,636	±2,009	-3,802	±2,151	-3,490	±1,054
Viscosidade máxima (Peak 1)	cP	0	2034,333 <sup>ab</sup>	±184,286	1699,556 <sup>bb</sup>	±99,364	1768,833 <sup>bb</sup>	±126,497	1984,500 <sup>ab</sup>	±87,280
	cP	6	2770,667 <sup>aA</sup>	±98,717	2132,889 <sup>dA</sup>	±100,750	2318,333 <sup>cA</sup>	±276,599	2531,667 <sup>bA</sup>	±103,261
	%	Variação	36,195	±15,225	25,497	±9,550	31,066	±16,908	27,572	±8,279
Viscosidade mínima (Trough)	cP	0	1317,500 <sup>cb</sup>	±160,091	1405,667 <sup>bcB</sup>	±102,310	1480,000 <sup>bb</sup>	±141,705	1662,222 <sup>ab</sup>	±94,351
	cP	6	1619,389 <sup>cA</sup>	±70,189	1697,833 <sup>cA</sup>	±90,335	1885,389 <sup>bA</sup>	±232,225	2069,500 <sup>aA</sup>	±62,529
	%	Variação	22,914	±17,628	20,785	±11,210	27,391	±16,142	24,502	±9,522
Quebra ou queda (Breakdown)	cP	0	716,833 <sup>ab</sup>	±45,068	293,889 <sup>bb</sup>	±46,867	288,833 <sup>bb</sup>	±43,585	322,278 <sup>bb</sup>	±18,865
	cP	6	1151,278 <sup>aA</sup>	±79,177	435,056 <sup>bA</sup>	±75,134	432,944 <sup>bA</sup>	±67,883	462,167 <sup>bA</sup>	±58,946
	%	Variação	60,606	±12,309	48,034	±24,028	49,894	±32,951	43,406	±23,294
Viscosidade final da pasta	cP	0	2697,389 <sup>cb</sup>	±177,097	2834,111 <sup>bcB</sup>	±120,240	3045,056 <sup>bb</sup>	±215,904	3485,222 <sup>ab</sup>	±158,860
	cP	6	3175,500 <sup>dA</sup>	±87,942	3492,667 <sup>cA</sup>	±137,303	3926,333 <sup>bA</sup>	±457,210	4422,889 <sup>aA</sup>	±145,337
	%	Variação	17,725	±9,427	23,237	±7,895	28,941	±15,489	26,904	±8,846
Retrogradação ou reversão (Setback)	cP	0	663,056 <sup>dA</sup>	±35,118	1134,556 <sup>cb</sup>	±75,566	1276,222 <sup>bb</sup>	±119,309	1500,722 <sup>ab</sup>	±84,983
	cP	6	404,833 <sup>dB</sup>	±56,844	1359,778 <sup>cA</sup>	±62,513	1608,000 <sup>bA</sup>	±196,133	1891,222 <sup>aA</sup>	±121,347
	%	Variação	-38,944	±7,154	19,851	±11,408	25,997	±14,490	26,021	±11,971

O comportamento dos parâmetros de temperatura de pasta e o tempo de pico parecem ser devidos à presença, orientação e natureza dos lipídios e proteínas da superfície dos grânulos de amido, pois quando estes assumem uma estrutura mais organizada, requerem maior temperatura e tempo para gelatinização (SHOWBHAGYA e BATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2003a, 2003c; KAMINSKI et al., 2013b).

O tempo de armazenamento teve efeito redutor no parâmetro tempo do pico (tempo até ocorrer o pico de viscosidade (*peak time*)) em todas as cultivares, da

mesma forma do que o observado por Kaminski et al. (2013b) para arrozes de variedades irrigadas, após o armazenamento dos grãos em casca a 20°C pelo mesmo período (6 meses). Logo após a colheita, o tempo de pico de H1 e H2 foram semelhantes. H2 foi semelhante a V2, e V2 assemelhou-se a V1, o qual foi diferente de H1 e H2. Depois dos 6 meses de armazenamento, H1, H2 e V2 foram considerados iguais, e V2 não foi diferente de V1. Novamente, V1 foi diferente de H1 e H2.

O tempo de armazenamento elevou o parâmetro viscosidade máxima em todas as cultivares, de acordo também com experimentos com arroz armazenado em casca de Schiavon (2012), Kaminski (2012) e Kaminski et al. (2013b). Logo após a colheita, as viscosidades máximas foram iguais para H1 e V2, e entre H2 e V1. Depois de 6 meses de armazenamento todas as cultivares foram diferentes significativamente umas das outras, sendo a maior viscosidade registrada para H1. Outros estudos que também avaliaram parâmetros de viscosidade por RVA, durante o armazenamento de arroz, verificaram um aumento da viscosidade máxima seguida por estabilização e queda, especialmente após períodos mais longos e temperaturas mais elevadas de armazenamento, cujos resultados foram atribuídos à redução da capacidade de absorção de água, maior resistência, menor tendência de ruptura dos grânulos de amido e menores viscosidades de pasta (SOWBHAGYA & BHATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2002b, 2003c; TULYATHAN & LEEHARATANALUK, 2007; ASGHAR et al., 2012).

As viscosidades máxima e mínima são parâmetros fáceis e pouco dispendiosos para classificar a qualidade sensorial dos arrozes de médio e alto teor de amilose (SUWANNAPORN et al., 2007).

O tempo de armazenamento elevou o parâmetro viscosidade mínima em todas as cultivares. Logo após a colheita, a viscosidade mínima de H1 foi igual à de H2. H2 foi semelhante a V1 e V2 foi diferente de todos. Logo, H1, V1 e V2 foram diferentes uns dos outros. Depois do período de armazenamento, as cultivares híbridas H1 e H2 foram iguais entre si, e diferentes de V1 e V2, ambos também diferentes um do outro. Ao serem observados os valores de viscosidade mínima, percebe-se que são crescentes de H1 até V2, refletindo o comportamento esperado de solubilidade destas cultivares.

A viscosidade de quebra, queda ou *breakdown*, medida pela diferença entre as viscosidades máxima e mínima, também apresentou resultados marcantes para

as cultivares testadas. A viscosidade de quebra é o principal parâmetro do viscoamilograma que tende a diminuir com o envelhecimento / maturação pós-colheita do arroz armazenado por longo tempo, mas nos primeiros meses após a colheita, o arroz apresenta um aumento na viscosidade de quebra devido ao rearranjo entre componentes dos grãos. Posteriormente ocorre uma diminuição e estabilização dos valores de quebra com o avanço do processo de envelhecimento arroz, pois os grânulos de amido do arroz armazenado tornam-se mais resistentes, organizados e estáveis à ruptura durante a gelatinização (SOWBHAGYA & BHATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2002a, 2002b, 2003a, 2003c; 2007). Os resultados obtidos estão de acordo com estas premissas. O tempo de armazenamento elevou os valores da viscosidade de quebra em todas as cultivares, de acordo também com experimentos com arroz armazenado em casca de Schiavon (2012) e Kaminski (2013b) no mesmo período (6 meses) e temperatura (20°C), em condições semelhantes de umidade. A cultivar H1 foi diferente das demais tanto logo após a colheita, como também depois do armazenamento por 6 meses. H2, V1 e V2 foram iguais entre nas duas etapas. Os resultados da viscosidade de quebra (*breakdown*) foram similares em significado àqueles encontrados para a temperatura de pasta e ASV, anteriormente discutidos. De acordo com Noomhorm et al. (1997), quando ocorre uma redução na viscosidade de quebra, a capacidade inchamento no momento da ruptura, durante o cozimento, foi reduzida.

A viscosidade final da pasta (ou viscosidade da pasta fria) se relaciona com a capacidade do amido para formar uma pasta ou gel viscoso após cozimento e arrefecimento (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998; WANI et al., 2012). Sendo assim, os resultados da viscosidade final são bons indicadores da intensidade da firmeza dos grãos cozidos e também da qualidade de cocção do arroz (BOROMPICHAICHARTKUL et al., 2007). O tempo de armazenamento elevou a viscosidade final da pasta de todas as cultivares, fato também observado por Schiavon (2012) e Kaminski et al. (2013b). Logo após a colheita, a viscosidade final de H1 foi igual à de H2. H2 se assemelhou a V1, porém V1 foi diferente de H1 e também de V2. V2 foi diferente de todas as cultivares. Depois do período de armazenamento, a viscosidade final modificou-se de forma mais nítida entre as cultivares, que foram todas significativamente muito diferentes entre si. Os valores crescentes de viscosidade final (de H1 para V2) já observados na primeira etapa,

logo após a colheita (embora sem completa significância estatística), na segunda etapa, após os 6 meses, ocorreram de forma ainda mais consistente, gerando diferenças significativas entre as cultivares e também refletindo o comportamento esperado de ordem aproximada de solubilidade destas cultivares. Valores menores de viscosidades finais para grãos de arroz com baixa amilose (como H1), e maiores viscosidades finais para arroz de média e alta amilose (como H2, V1 e V2) também foram relatados por CONRAD et al. (2003).

A retrogradação, reversão ou *setback* está associada com a lixiviação das moléculas (principalmente de amilose) para fora do grânulo de amido, e constitui-se num indicador da textura do produto final, ligado à sinérese (liberação de água pelo gel), durante os ciclos de congelamento e descongelamento. De acordo com Sandhu et al. (2007), a dureza dos géis de amido é causada pela retrogradação, associada à sinérese e à cristalização da amilopectina. Amidos que possuem géis mais duros, geralmente possuem maior teor de amilose e longas cadeias de amilopectina (MUA & JACKSON, 1997; ZAVAREZE, 2009). A retrogradação é um parâmetro tradicional da análise viscoamilográfica que tende a aumentar no arroz armazenado, principalmente em maiores temperaturas e nas variedades com maior teor de amilose (SHOWBHAGYA & BATTACHARYA, 2001; KAMINSKI, 2012). A capacidade de retrogradação (ou *setback*) da pasta, medida pela diferença entre as viscosidades final e máxima, apresentou os resultados mais marcantes entre os parâmetros de pasta analisados, tanto por efeito do tempo, como também entre as cultivares testadas. Todas as cultivares foram diferentes entre si tanto logo após a colheita, como também depois do armazenamento por 6 meses. A cultivar H1 teve valores bastante baixos de retrogradação em comparação às demais, refletindo indiretamente seu comportamento histórico de solubilidade bem inferior às demais. H1 também foi a única cultivar que teve o valor reduzido da viscosidade de retrogradação após o armazenamento: nas demais cultivares o tempo elevou os valores. O aumento esperado na retrogradação que ocorreu em H2, V1 e V2 esteve de acordo com os resultados de Schiavon (2012) e Kaminski et al. (2013b), quando analisaram cultivares de grãos longos e finos de alta amilose. O comportamento de retrogradação diferente de H1 (cultivar híbrida de amilose média) pode ter sido influenciado pelo seu menor teor de amilose em relação às demais. Os valores significativamente crescentes da capacidade de retrogradação (no sentido de H1 para V2) observados nas duas etapas (antes e depois do armazenamento) também

refletiram o comportamento esperado de ordem aproximada de soltabilidade e rigidez dos grãos destas cultivares. Os resultados obtidos estão de acordo com vários estudos que relatam aumentos na retrogradação e na viscosidade final, principalmente nos primeiros meses, seguido de estabilização até 3 anos, com posterior diminuição durante o armazenamento de arroz (TULYATHAN & LEEHARATANALUK, 2007; ZHOU et al., 2002b, 2003c).

As diferenças observadas nos parâmetros de viscosidade de pasta das farinhas obtidas de cada cultivar estão de acordo com as observações feitas por muitos estudos anteriores.

Os resultados obtidos indicaram que as diferenças encontradas nas propriedades reológicas das cultivares híbridas diferem das variedades apenas quando suas composições (principalmente no teor de amilose e talvez de cisteína) e arranjos estruturais se distanciam, não sendo esta uma característica exclusiva para híbridos e sim válida para os grãos de arroz em geral.

Nas pastas de farinha de arroz obtidas das quatro cultivares testadas, da mesma forma que no amido de arroz, as propriedades reológicas dinâmicas provavelmente ocorreram devido à variação no teor de amilose, ao genótipo, às variações estruturais do amido, ao comprimento de cadeia ramificada e distribuição da amilopectina (WANG et al., 2010; WANI et al., 2012), porém a presença de proteínas com potencial conteúdo mais elevado de ligações dissulfeto pode ter contribuído para algumas diferenças observadas nas propriedades reológicas das cultivares, como foram verificadas em outros estudos quanto à resistência ao corte e rigidez da pasta gelatinizada de amido de arroz (HAMAKER & GRIFFIN, 1993; XIE et al., 2008; WANI et al., 2012). As proteínas também influenciam a curva de viscosidade pela sua ligação com a água (interações proteína-água-amido, por exemplo da albumina, solúvel em água) e pela formação da rede ligada por pontes dissulfeto contribuindo na textura do arroz cozido (MARTIN & FITZGERALD, 2002; HAMAKER & GRIFFIN, 1990, 1993; DERYCKE et al., 2005; BAXTER et al., 2010).

A interação do amido (principalmente da amilose), com outros componentes do grão, em especial com ácidos graxos, e o declínio da atividade da enzima  $\alpha$ -amilase também podem estar associados aos aumentos iniciais das viscosidades do arroz armazenado (SOWBHAGYA & BHATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2003a; KAMINSKY et al., 2013a).

Os resultados reológicos de outros estudos também têm indicado que a região mais periférica dos grânulos de amido pode não ser unicamente responsável pela manutenção da integridade dos grânulos de amido durante a gelatinização e seu inchamento. A composição e estrutura do restante do envoltório do grânulo que mantém a integridade dos grânulos não são constantes, mas sim dinâmicas. A formação de uma estrutura de superfície do tipo membrana semipermeável durante a gelatinização e o inchamento foi atribuída ao entrelaçamento das moléculas após a gelatinização. Quando a pasta de amido é aquecida acima da sua temperatura de gelatinização, as ligações de hidrogênio entre as lamelas cristalinas dos grânulos são rompidas, o que permite a penetração da água e hidratação dos segmentos lineares das moléculas de amilopectina, resultando no inchamento dos grânulos e lixiviação dos componentes solúveis. É a capacidade de inchamento que contribui para o desenvolvimento das principais propriedades funcionais do amido, tais como a capacidade de retenção de água e as propriedades reológicas. A capacidade de inchamento do amido é uma propriedade da amilopectina, e amilose atuaria como diluente (WANG et al., 2007).

Conforme Schiavon (2012), as mesmas condições que provocam o aumento da viscosidade, resultam em aumento do tempo de cocção, redução dos rendimentos de cocção (gravimétrico e volumétrico), reduzem a adesividade, aumentam a dureza e coesividade, com alterações marcantes nos atributos sensoriais.

## **4.5 Parâmetros de qualidade industrial**

### **4.5.1 Dimensões**

Os parâmetros dimensionais (comprimento, largura, relação comprimento:largura e o percentual (em peso) de grãos com espessura abaixo de 0,190mm estão apresentados na Tabela 26, em caráter informativo (sem avaliação estatística), apenas para confirmação da classe de arroz longo fino, já esperada para as cultivares analisadas, tendo sido sua medição realizada apenas após os 6 meses de armazenamento.

As mudanças dimensionais dos grãos produzem resultados diferentes no rendimento de grãos inteiros, problema contornado industrialmente pela separação

de frações por tamanho e processamento em separado, em equipamentos ajustados para cada faixa. No entanto, a utilização de sementes de arroz certificadas, a preferência por certas cultivares e as boas práticas de lavoura têm feito com que os grãos que cheguem às indústrias com características dimensionais mais uniformes.

As cultivares apresentam ciclos de desenvolvimento e maturação diferentes, com tempos próprios para o enchimento dos grãos, afetando o tamanho dos grânulos de amido, da cariopse e conseqüentemente, a performance dos grãos após seu cozimento.

Os grânulos maiores, em comparação aos pequenos, dificultariam a entrada de água e a saída da amilose solubilizada por lixiviação (devido ao caminho mais longo a ser percorrido), ocorrendo a gelatinização inicialmente das camadas mais externas, a qual criaria uma nova barreira à saída da amilose.

Os fatores dimensionais influem em diversas características dos grãos, podendo favorecer por exemplo, a solubilidade do arroz cozido (DELCOUR & HOSENEY, 2010).

Os parâmetros de qualidade industrial também refletem as condições de secagem dos grãos, conforme Rocha (2010).

Tabela 26 – Parâmetros dimensionais e classificação do arroz polido das cultivares híbridas H1 e H2 e das variedades V1 e V2

Parâmetro	Unidade	Mês	Cultivar H1	Cultivar H2	Cultivar V1	Cultivar V2
Comprimento	mm	6	6,321 $\pm$ 0,016	6,427 $\pm$ 0,132	6,359 $\pm$ 0,047	6,108 $\pm$ 0,141
Largura	mm	6	1,917 $\pm$ 0,034	1,942 $\pm$ 0,052	1,802 $\pm$ 0,021	1,805 $\pm$ 0,052
Relação comprimento / largura	-	6	3,298 $\pm$ 0,024	3,310 $\pm$ 0,028	3,530 $\pm$ 0,031	3,385 $\pm$ 0,035
Grãos com espessura <1,90mm	%	6	100	100	100	100
Classificação do arroz*			Longo fino	Longo fino	Longo fino	Longo fino

\*Padrão brasileiro (BRASIL, 2009a).

#### 4.5.2 Rendimentos

Os resultados obtidos para os parâmetros rendimento de grãos e rendimento de grãos inteiros estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Parâmetros de qualidade industrial do arroz polido obtido a partir de 100g de arroz em casca, das cultivares híbridas H1 e H2 e das variedades V1 e V2, logo após a colheita (a 12,3% de umidade média) e depois de 6 meses de armazenamento a 20°C (a 12,8% de umidade média)

Parâmetro	Unidade	Mês	Cultivar H1		Cultivar H2		Cultivar V1		Cultivar V2	
Rendimento de Grãos (Grãos Inteiros + Quebrados)	g.100g <sup>-1</sup>	0	68,964 <sup>aB</sup>	±1,499	66,663 <sup>bB</sup>	±1,155	66,708 <sup>bB</sup>	±1,051	63,512 <sup>cB</sup>	±1,068
	g.100g <sup>-1</sup>	6	70,729 <sup>aA</sup>	±1,425	69,213 <sup>bcA</sup>	±1,130	69,699 <sup>abA</sup>	±0,829	68,181 <sup>cA</sup>	±0,743
	%	Varição	2,568	±1,270	3,850	±2,354	4,494	±1,077	7,365	±1,220
Rendimento de Grãos Inteiros	g.100g <sup>-1</sup>	0	58,498 <sup>aA</sup>	±2,442	53,343 <sup>bB</sup>	±2,982	59,796 <sup>aB</sup>	±2,129	50,370 <sup>bB</sup>	±2,407
	g.100g <sup>-1</sup>	6	59,204 <sup>bA</sup>	±2,786	59,025 <sup>bA</sup>	±2,095	62,838 <sup>aA</sup>	±2,326	59,592 <sup>bA</sup>	±2,397
	%	Varição	1,242	±3,551	10,851	±5,304	5,122	±3,136	18,609	±8,451

Depois da maturação do grão ainda na planta, à medida que o tempo passa, diminui a resistência do grão ao ataque de pragas e microorganismos, motivos importantes para a colheita ser realizada adequadamente (observando-se a regulação de máquinas, secadores e demais equipamentos) e no momento de umidade determinado conforme a cultivar (por exemplo, de 18 a 23%), pois o atraso, os danos mecânicos e os choques térmicos podem comprometer a qualidade dos grãos ou fazer com que apresentem uma pré-disposição para grandes perdas durante o armazenamento, a exemplo dos defeitos de origem metabólica, que se intensificam com o tempo e diminuem o valor do arroz (ELIAS et al., 2012).

#### 4.5.2.1 Rendimento de grãos

Os resultados encontrados para o rendimento de grãos (correspondendo à soma de grãos polidos inteiros e quebrados (incluindo os quebrados miúdos ou quirera) foram influenciados pelo tempo de armazenamento, apresentando-se maiores para todas as cultivares após os 6 meses, em relação aos valores obtidos logo após a colheita, significando que menos endosperma foi perdido junto com o farelo.

Logo após a colheita, H2 e V1 foram iguais entre si, e diferentes de H1 e também de V2, ambos diferentes um do outro. Estes resultados estão de acordo com Elias et al. (2010b), os quais observaram que o rendimento de grãos e o



rendimento de grãos inteiros são mais baixos nos primeiros 30 dias após a colheita.

Depois dos 6 meses de armazenamento, embora tenham ocorrido diferenças no rendimento de grãos entre as cultivares, elas não foram tão nítidas.

#### **4.5.2.2 Rendimento de grãos inteiros**

O tempo de armazenamento elevou significativamente o rendimento de grãos inteiros em três cultivares: H2, V1 e V2. A cultivar híbrida H1 apresentou um crescimento de grãos inteiros que não foi considerado significativo.

A variedade V1 foi diferente das demais, que foram iguais entre si após o período de armazenamento.

Os aumentos observados estão de acordo com os resultados obtidos por Schiavon (2012) para arroz armazenado nas mesmas condições de tempo, temperatura e umidade.

Conforme Vidal et al. (2005), o rendimento de grãos inteiros é afetado pela morfologia do grão. Os mesmos autores associaram os rendimentos mais elevados de grãos inteiros com aspectos biométricos da cariopse, atribuindo menos influência ao teor de proteínas do arroz a este parâmetro.

A incidência e o tipo de defeitos do arroz definem a tipificação e o preço do arroz a ser pago aos produtores rurais pelas indústrias. O rendimento de grãos inteiros é um importante quesito na formação do preço do arroz em casca na comercialização para estoques governamentais (ELIAS et al., 2012).

#### **4.5.3 Parâmetros branquimétricos**

Os resultados obtidos para os parâmetros branquimétricos: brancura, transparência e grau de polimento, estão apresentados na Tabela 28.

A brancura apresentou-se igual para todas as cultivares logo após a colheita, tendo sido reduzida pelo tempo de armazenamento e se tornado diferente para cada cultivar após o período de 6 meses, sugerindo processos diferentes ocorridos nos endospermas e que se refletiram na sua cor. A variação percentual dos valores da brancura foi maior em V2, seguida por V1.

Tabela 28 – Parâmetros branquimétricos de qualidade industrial do arroz polido obtido a partir de 100g de arroz em casca, das cultivares híbridas H1 e H2 e das variedades V1 e V2, logo após a colheita (a 12,3% de umidade média) e depois de 6 meses de armazenamento a 20°C (a 12,8% de umidade média)

Parâmetro	Unidade	Mês	Cultivar H1		Cultivar H2		Cultivar V1		Cultivar V2	
Brancura	-	0	43,567 <sup>aA</sup>	±1,341	43,056 <sup>aA</sup>	±1,015	43,133 <sup>aA</sup>	±0,350	42,622 <sup>aA</sup>	±0,549
	-	6	41,089 <sup>aB</sup>	±0,685	39,978 <sup>bB</sup>	±0,833	38,956 <sup>cB</sup>	±0,477	37,567 <sup>dB</sup>	±0,466
	%	Varição	-5,612	±3,142	-7,110	±2,646	-9,678	±1,510	-11,843	±1,871
Transparência	-	0	3,686 <sup>bA</sup>	±0,169	3,970 <sup>aA</sup>	±0,188	3,769 <sup>bA</sup>	±0,082	3,494 <sup>cA</sup>	±0,121
	-	6	3,624 <sup>bA</sup>	±0,119	3,853 <sup>aA</sup>	±0,155	3,648 <sup>bA</sup>	±0,148	3,267 <sup>cBa</sup>	±0,142
	%	Varição	-1,501	±5,036	-2,772	±5,577	-3,140	±5,250	-6,432	±4,899
Grau de polimento	-	0	116,444 <sup>aA</sup>	±5,077	116,778 <sup>aA</sup>	±4,816	115,778 <sup>aA</sup>	±1,481	113,889 <sup>aA</sup>	±2,848
	-	6	105,556 <sup>aB</sup>	±3,245	102,444 <sup>aB</sup>	±4,799	97,000 <sup>bB</sup>	±1,732	93,000 <sup>bB</sup>	±2,958
	%	Varição	-9,211	±4,534	-12,180	±4,799	-16,216	±1,298	-18,318	±2,611

Os resultados com valores decrescentes para brancura estão de acordo com a tendência de queda daqueles obtidos por Kaminski (2012), mas diferiram daqueles obtidos por Schiavon (2012), os quais apresentaram algumas oscilações talvez devidas aos genótipos distintos dos materiais testados. A proteólise pode estar envolvida nas alterações de cor do endosperma, pela disponibilização de 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., 2002b; KAMINSKI, 2012). A brancura maior observada logo após o arroz ser colhido também foi constatada por Bett-Garber, Champagne e Lea (2010), que também relacionaram o teor de amilose e proteína mais altos à cor mais branca do grão após o cozimento. A brancura também é aumentada pela maior presença de grãos gessados, cujos espaços vazios nos grãos polidos crus refletem a luz, tornando-os opacos, menos transparentes e mais brancos (ZHAO et al., 2009).

O tempo de armazenamento afetou apenas a cultivar V2 com relação à transparência, reduzindo o seu valor. As cultivares tiveram diferenças entre si, logo após a colheita, mas que se mantiveram da mesma forma com o tempo de armazenamento, com exceção de V2, que teve sua transparência reduzida (e uma variação percentual maior com relação às demais), sugerindo a ocorrência de um

rearranjo da estrutura cristalina do amido do endosperma no período. Reduções na transparência do arroz com o tempo também foram obtidas por Kaminski (2012) e Schiavon (2012) em condições experimentais similares.

O grau de polimento expressa a maior ou menor intensidade de remoção do germe e das camadas periféricas do grão. O tempo de armazenamento reduziu os valores obtidos do grau de polimento de todas as cultivares. Esta redução observada está de acordo com um estudo anterior feito por Kaminski (2012). Logo após a colheita, as amostras foram todas iguais entre si, mas depois dos 6 meses de armazenamento, as cultivares híbridas H1 e H2 mantiveram-se iguais entre si, sendo diferentes das variedades V1 e V2, que por sua vez foram iguais uma à outra. As variações no grau de polimento foram crescentes de H1 em direção a V2.

Processos abrasivos e prolongados para retirar o farelo que avançam mais no endosperma, removendo mais camadas deste, levam a resultados mais altos de brancura, transparência e grau de polimento (LUZ et al., 2005), e podem reduzir o rendimento de grãos inteiros, pelo aumento dos grãos quebrados.

O grau de polimento também reflete a intensidade (e a facilidade) da retirada do farelo do arroz, indica a rigidez oferecida pelo grão ao ser submetido a este processo abrasivo e informa sobre o acabamento superficial obtido no polimento. As partes gessadas do grão, por serem mais friáveis, apresentam menor resistência ao polimento.

A maior resistência do grão às forças mecânicas aplicadas no descasque e na remoção do farelo do grão parece estar relacionada não somente com os rearranjos estruturais do amido, mas também com a intensificação da firmeza da rede protéica presente nos grânulos, bem como das alterações dos seus corpos protéicos, devido aos reforços representados pelas ligações dissulfeto intra e intermoleculares. Inicialmente, os resultados destas interações parecem favorecer a qualidade industrial do arroz e os resultados dos parâmetros analisados refletem todo este conjunto de fatores, tendo sido coerentes a partir desta interpretação, desde o aumento do rendimento de grãos inteiros e do rendimento de grãos com o tempo de armazenamento, até a redução do grau de polimento e da brancura.

No entanto, paralelamente, segue ocorrendo outro conjunto de reações metabólicas em direção à redução da qualidade do grão, como a degradação do amido em nível molecular (por ação de enzimas amilolíticas do endosperma), a alteração dos comprimentos das cadeias, reações de escurecimento de Maillard,

proteólise e oxidação dos lipídios, entre outras reações, que modificam a tendência inicial de melhoria verificada para os parâmetros de qualidade.

Portanto, para períodos mais longos de armazenamento, as modificações metabólicas no interior do grão seguirão ocorrendo, com reflexos de envelhecimento e degradação bem mais evidentes em todos os parâmetros de qualidade dos grãos, principalmente a partir do primeiro ano de armazenamento. Por exemplo, poderia haver uma queda no percentual de grãos inteiros armazenados a 20°C a partir do oitavo mês para grãos com 12% de umidade, conforme descrito por Schiavon (2012), sendo os valores de queda maiores ou antecipados pelo aumento da temperatura de armazenamento, e minimizados sob temperaturas mais baixas (8 a 12°C), sendo estes efeitos dependentes da umidade dos grãos. Outro exemplo seriam os defeitos metabólicos dos grãos, que se agravariam com o aumento do tempo de armazenamento e também com a temperatura e umidade (SCHIAVON, 2012).

Sendo assim, quaisquer conclusões sobre os parâmetros da qualidade momentânea do arroz serão sempre dependentes de fatores como tempo, temperatura e umidade dos grãos, além da sua composição.

#### 4.6 Comportamento na cocção

A Tabela 29 apresenta os parâmetros de cocção analisados.

Tabela 29 – Rendimentos volumétrico e gravimétrico de amostras de arroz polido cozido, obtidas a partir de arroz em casca, das cultivares híbridas H1 e H2 e das variedades V1 e V2, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento a 20°C

Parâmetro	Unidade	Mês	Cultivar H1		Cultivar H2		Cultivar V1		Cultivar V2	
Rendimento volumétrico	%	0	251,431 <sup>aA</sup>	±6,731	249,208 <sup>aB</sup>	±13,307	251,724 <sup>aA</sup>	±8,988	252,681 <sup>aA</sup>	±9,452
	%	6	257,378 <sup>aA</sup>	±17,194	266,366 <sup>aA</sup>	±27,264	250,964 <sup>aA</sup>	±22,583	261,829 <sup>aA</sup>	±26,590
	%	Variação	2,365	±9,128	6,885	±14,417	-0,302	±10,237	3,620	±10,530
Rendimento gravimétrico	%	0	287,889 <sup>aA</sup>	±9,941	289,546 <sup>aA</sup>	±14,657	295,665 <sup>aA</sup>	±10,044	290,344 <sup>aA</sup>	±8,615
	%	6	266,921 <sup>aB</sup>	±12,635	267,684 <sup>aB</sup>	±13,571	271,210 <sup>aB</sup>	±7,328	266,348 <sup>aB</sup>	±5,374
	%	Variação	-7,283	±4,019	-7,550	±5,383	-8,271	±4,498	-8,265	±2,594

Não houve diferenças entre as cultivares nos rendimentos volumétricos do arroz cozido logo após colheita e nem depois dos 6 meses de armazenamento, o que também foi verificado por Rocha (2010). O tempo não afetou os resultados, com exceção de H2.

O tempo de armazenamento teve influência significativa no rendimento gravimétrico, diminuindo os valores deste parâmetro em todas as cultivares analisadas, redução também observada por Schiavon (2012). Não houve diferenças entre as cultivares nos rendimentos gravimétricos do arroz cozido logo após colheita e nem depois do armazenamento.

Os rendimentos volumétricos e gravimétricos obtidos se apresentaram conforme o esperado. Embora possam ocorrer ligeiros aumentos nos primeiros meses de armazenamento, observados por Kaminski et al. (2013b), a tendência é de queda dos valores com a continuidade do armazenamento para ambos os rendimentos, conforme verificado por Schiavon (2012), que atribuiu às menores temperaturas de armazenamento e às mais baixas umidades dos grãos, as menores variações. A absorção de água pelos grãos de arroz durante o cozimento também foi reduzida pelo tempo de armazenamento (KAMINSKI, 2012), pois as alterações estruturais que ocorrem no endosperma dificultam a entrada de água para o interior dos grãos (ZHOU et al., 2007), afetando os rendimentos gravimétricos e volumétricos. A absorção de água de arrozes velhos deve ser avaliada com cuidado, pois, pela maior resistência à entrada da água oferecida pelo grão, a água de cozimento pode evaporar antes de a capacidade máxima de absorção de água pelo grão ter sido atingida, o que torna necessária uma quantidade adicional de água para completar o cozimento, para então se aumentarem os valores dos rendimentos. Em consequência da entrada da água mais lenta nos grãos, os tempos de cozimento se elevam com o aumento do tempo de armazenamento. A capacidade de absorção de água pelo grão é, portanto, diferente da quantidade de água absorvida do grão, a qual depende do tempo, método, e água empregados na cocção (SODHI et al., 2003; BASSINELLO et al., 2004; ZHOU et al., 2007; KAMINSKI et al., 2013b).

As mudanças nos parâmetros do arroz cozido estão relacionadas com as características resultantes do processo de envelhecimento dos grãos, sendo mais evidentes nos grãos com rearranjos estruturais mais intensos, que costumam ocorrer em períodos mais longos e temperaturas mais altas de armazenamento. Logo, a

maior resistência à absorção de água leva a um tempo maior necessário para a cocção, enquanto o aumento do rendimento volumétrico dos grãos pode proporcionar uma melhoria da aparência e da integridade dos grãos cozidos (ZHOU et al., 2002b; SODHI et al., 2003; KAMINSKI et al., 2013b). O rendimento volumétrico tende a aumentar à medida que o arroz fica mais solto (mantida sua absorção de água), pois mais ar entre os grãos confere maior volume ao arroz.

Outros parâmetros de cocção também são afetados pelo tempo de armazenamento. As alterações dimensionais dos grãos de arroz após o cozimento, como o aumento da taxa de alongação (comprimento do grão cozido em relação ao cru), se devem às características varietais, composição química, temperatura e do método de preparação de arroz, com grande influência do período de armazenamento, da velocidade do processo de envelhecimento e mudanças estruturais associadas (SOOD & SIDDIQ, 1980; FARUQ et al., 2003a, 2003b; KAMINSKI et al., 2013b). A lixiviação de sólidos componentes do interior dos grãos para a água de cozimento também se reduz com o aumento do tempo e das temperaturas de armazenamento, devido à reorganização estrutural dos grânulos de amido e das cadeias protéicas, que impedem ou dificultam a saída dos sólidos (SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2007; PATINDOL et al., 2010). Os sólidos lixiviados tendem a gelatinizar e promover a pegajosidade entre os grãos, diminuindo a solubilidade do arroz cozido (SODHI et al., 2003; ELIAS, 2007;).

Os resultados encontrados para os parâmetros de cocção sugerem que eles são consequência das alterações estruturais do interior do endosperma, as quais ocorrem igualmente nas variedades e em cultivares híbridas.

#### **4.7. Parâmetros textuométricos**

Para amostras de arroz cozido, os parâmetros de textura mais importantes são aqueles que melhor se relacionam com os resultados de avaliações sensoriais (JULIANO et al., 1981; KOHYAMA et al., 1998), sendo eles: a dureza (firmeza ou *hardness*, expressa em Newtons), a adesividade (ou pegajosidade, *stickiness* ou *stringiness*, expressa em Joules) e a coesividade (ou *cohesiveness*, parâmetro adimensional), apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 – Principais parâmetros texturométricos (dureza, adesividade e coesividade) de amostras de arroz polido cozido, obtidas a partir de arroz em casca, das cultivares híbridas H1 e H2 e das variedades V1 e V2, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento a 20°C

Parâmetro	Unidade	Mês	Cultivar H1	Cultivar H2	Cultivar V1	Cultivar V2
Dureza	N	0	17,038 <sup>bA</sup> ± 2,020	19,090 <sup>abA</sup> ± 1,889	21,335 <sup>aA</sup> ± 2,712	19,019 <sup>abA</sup> ± 1,279
	N	6	9,439 <sup>bB</sup> ± 1,744	13,107 <sup>aB</sup> ± 1,154	13,443 <sup>aB</sup> ± 2,803	12,421 <sup>aB</sup> ± 1,250
	%	Variação	-43,823 ± 13,233	-30,656 ± 10,397	-36,328 ± 14,820	-34,568 ± 6,702
Adesividade	J	0	-118,768 <sup>aA</sup> ± 21,767	-28,825 <sup>bA</sup> ± 12,465	-30,877 <sup>bA</sup> ± 9,228	-25,047 <sup>bA</sup> ± 6,182
	J	6	-95,966 <sup>aB</sup> ± 22,313	-9,380 <sup>bB</sup> ± 3,993	-12,533 <sup>bB</sup> ± 2,280	-17,788 <sup>bA</sup> ± 7,368
	%	Variação	-14,554 ± 31,241	-64,686 ± 18,292	-56,772 ± 12,593	-30,453 ± 16,916
Coesividade	-	0	0,456 <sup>bA</sup> ± 0,018	0,479 <sup>abA</sup> ± 0,031	0,495 <sup>aA</sup> ± 0,022	0,494 <sup>aA</sup> ± 0,015
	-	6	0,393 <sup>bB</sup> ± 0,022	0,451 <sup>aB</sup> ± 0,030	0,464 <sup>aB</sup> ± 0,029	0,474 <sup>aA</sup> ± 0,020
	%	Variação	-13,719 ± 6,837	-5,319 ± 10,977	-6,097 ± 5,642	-3,896 ± 5,592

#### 4.7.1 Dureza

Os resultados encontrados para a dureza dos grãos cozidos de arroz (Tabela 30) foram influenciados pelo tempo de armazenamento de 6 meses, que reduziu os valores, de acordo com os resultados obtidos por Kaminski (2012) e Schiavon (2012) para arroz em casca armazenado a 20°C com 12% de umidade. O aumento esperado da dureza causado pelo envelhecimento do grão foi observado no experimento de Schiavon (2012) somente ao final dos 12 meses de armazenamento.

Logo após a colheita, a variedade V1 foi semelhante à H2 e V2, porém diferente de H1. A cultivar híbrida H1, no entanto, não foi diferente de H2 e V2. Depois dos 6 meses de armazenamento, H1 foi diferente de todas as outras (H2, V1 e V2), que constituíram um grupo igual entre si. As alterações verificadas na dureza dos arrozes cozidos se relacionam com a hidratação do núcleo do grão de arroz durante a cocção. Existem no grânulo de amido zonas de maior resistência à penetração de água e hidrólise, indicando regiões onde há maior número de ligações entre as moléculas (BOBBIO & BOBBIO, 1992; FENIMAN, 2004).

Arroz menos polido absorve menos água durante o cozimento, podendo ficar mais duro, se o tempo e/ou a água forem for insuficientes. O cozimento

prolongado possibilita uma maior absorção de água, mas pode produzir grãos mais moles, com dureza menor (SALEH & MEULLENET, 2007), ou seja, a dureza tem correlação negativa com o tempo de cocção, também verificada por Singh et al. (2005).

Um experimento que avaliou dificuldades do cozimento em mandiocas forneceu algumas informações interessantes sobre possíveis causas da maciez ou dureza de alimentos amiláceos. O não cozimento das mandiocas foi atribuído ao não rompimento completo de ligações das moléculas de derivados pécticos (de função cimentante) que unem a lamela média às paredes primárias das células e aos demais elementos do parênquima, acentuado pela idade da raiz (FENIMAN, 2004); à impermeabilização da parede celular e/ou suas alterações (VILPOUX & CEREDA, 2003); e à presença de lipídios dificultando a penetração da água de cocção, cuja presença foi constatada em testes histoquímicos (FENIMAN, 2004). A quebra de polímeros pécticos que garantem a maciez após a cocção, ocorrendo por despolimerização (através de beta-eliminação da pectina intercelular), estaria dificultada à medida que ocorre o envelhecimento da raiz antes da sua colheita (FENIMAN, 2004). Um cenário relativamente similar possivelmente ocorre no arroz.

A maioria dos estudos que avaliou a textura do arroz descreve um aumento na dureza ao longo do período de conservação do arroz. Porém, os experimentos de Kaminski (2012) e Schiavon (2012) que testaram cultivares irrigadas produzidas no Rio Grande do Sul, feitos em laboratórios distintos, apontaram para a mesma tendência observada neste trabalho: de redução da dureza, até os 6 meses (KAMINSKI, 2012) e 8 meses (SCHIAVON, 2012). Tendo prosseguido com o experimento, Schiavon (2012) observou o esperado aumento da dureza aos 12 meses de armazenamento, sugerindo a idéia que outros fatores influíram nos valores obtidos.

A quantidade e a forma da disposição dos grãos cozidos na placa a ser comprimida pelo *probe* (poucos grãos, placa com conteúdo cheio até a metade ou 10g de amostra nivelada (utilizada neste experimento), podem produzir respostas diferentes no texturômetro, dificultando comparações entre os autores.

A amilose está diretamente relacionada com a dureza e a gomosidade dos géis (SANDHU et al., 2007), e adesividade e a coesividade (BUENO, 2008). Champagne et al. (2004) e Singh et al. (2005) verificaram que a dureza não somente aumenta com o teor de amilose, mas também com o aumento dos sólidos



lixiviados do interior do grão (que ficam aderidos na superfície do grão cozido) e ainda com a diminuição do teor de grãos gessados. Os grãos gessados aumentam a absorção de água, o que reduz a dureza e a coesividade, e aumenta a adesividade (LISLE et al., 2000; MORAIS, 2012). Maior dureza foi relatada para cultivares de arroz com grânulos de amido menores (SINGH, 2003).

Como os resultados de dureza são efeito do teor de amilose e dos comprimentos de cadeia predominantes e específicos das cultivares analisadas (ONG & BLANSHARD, 1995), sugere-se para trabalhos posteriores uma avaliação dos comprimentos de cadeia das cultivares de referência da Região Sul do Brasil, para obtenção de um melhor entendimento das características apresentadas pelos grãos.

#### **4.7.2 Adesividade**

A adesividade dos grãos foi reduzida com o tempo, com exceção da verificada para a cultivar V2, onde também ocorreu a redução verificada nas demais, mas não de forma significativa (Tabela 30).

Logo após a colheita, a cultivar híbrida H1 foi diferente de todas as outras (H2, V1 e V2), que constituíram um grupo igual entre si.

Depois dos 6 meses de armazenamento, H1 foi diferente de todas as outras (H2, V1 e V2), que constituíram um grupo igual entre si, confirmando a maior adesividade esperada para a cultivar híbrida H1, considerada de qualidade inferior de cocção (devido à baixa soltabilidade de seus grãos cozidos).

Os resultados encontrados para a adesividade estão de acordo com aqueles encontrados por Schiavon (2012) e Kaminski (2012), os quais tiveram grande influência da temperatura e umidade de armazenamento: quanto maior o tempo, a temperatura e a umidade, menor a adesividade.

Reduções na adesividade são mais evidentes em temperaturas de armazenamento mais elevadas e com arroz de níveis elevados de amilose (TSUGITA et al., 1983; GUJRAL & KUMAR, 2003; SODHI et al., 2003; ZHOU et al., 2007).

A menor adesividade e maior dureza após armazenamento prolongado são provavelmente relacionadas com o processo de baixa hidratação dos grânulos de amido, em grãos de arroz envelhecido, principalmente armazenados em

temperaturas elevadas (ZHOU et al., 2007). O reforço na rede de proteínas (pelas ligações intra e intermoleculares que aumentam com o tempo) poderia formar uma barreira mais espessa em torno dos grânulos de amido e retardar a absorção de água, o que também contribuiria para mais um grão de arroz cozido mais firme e solto (LIKITWATTANASADE, 2009).

Os dados indicam que a dureza do arroz cozido é função da amilose, enquanto a adesividade (empapamento) dos grãos é atribuível à amilopectina (PATINDOL et al., 2010), embora a amilose também esteja associada à adesividade e à coesividade segundo Bueno (2008). Uma maior quantidade de amilose (do que amilopectina) lixiviada foi associada a uma maior dureza arroz cozido e menor adesividade (ONG & BLANCHARD, 1995; MIZUKAMI & TAKEDA, 2000; CAMERON & WANG, 2005; HANASHIRO et al., 2004; PATINDOL et al., 2007, 2010).

A adesividade e os parâmetros reológicos viscosidade final e a retrogradação (*setback*) são inversamente proporcionais (BUENO, 2008), significando que os grãos de arroz com maior teor de amilose ficam mais soltos após o cozimento.

Complexos adicionais de amilose-lipídios podem se formar durante a gelatinização (DELCOUR & HOSENEY, 2010), o que ajudaria a explicar em parte a reconhecida constatação dos consumidores brasileiros de que adicionar óleo vegetal e fritar o arroz polido antes da cocção em água faz os grãos tornarem-se mais soltos após o cozimento. Além de promover a formação destes complexos, a presença da gordura auxiliaria na elevação rápida da temperatura do grão acima da sua temperatura de gelatinização e dificultaria a penetração da água no interior do grão, dificultando a saída da amilose por lixiviação na água de cocção, com redução da adesividade (aumento da soltabilidade) dos grãos cozidos de arroz.

#### **4.7.3 Coesividade**

O uso de temperaturas mais altas de armazenamento conduz a aumentos na coesividade em relação ao arroz armazenado em temperatura mais baixa, sugerindo que os grãos de arroz envelhecido têm maior resistência à primeira compressão da sonda. Este aumento pode estar relacionado com um aumento na resistência à ruptura hidrotérmica dos grânulos de amido e com o aumento nos conteúdos dos materiais insolúveis (ou seja, amido e proteínas), assim, as amostras

que são muito coesivas serão percebidas como resistentes e de difícil fragmentação na boca (ZHOU et al., 2007).

Embora o resultado esperado para a coesividade fosse uma elevação de valores (GUJRAL & KUMAR, 2003; ZHOU et al., 2007), a coesividade dos grãos analisados foi reduzida durante o tempo de armazenamento (Tabela 30), com exceção do verificado para a cultivar V2, onde também ocorreu uma redução em valor, como verificada nas demais, mas não de forma significativa. Este comportamento foi similar ao obtido por Schiavon (2012), onde até os 8 meses de armazenamento houve redução na adesividade, ocorrendo então um aumento no valor avaliado, após 12 meses a 20°C e 12% de umidade. Os resultados obtidos por Kaminski (2012) para a coesividade tiveram uma tendência de crescimento dentro dos 6 meses de armazenamento.

Logo após a colheita, a cultivar híbrida H1 foi considerada igual à H2 e diferente de V1 e V2. H1, V1 e V2 foram consideradas iguais entre si.

Depois dos 6 meses de armazenamento, H1 foi diferente de todas as outras (H2, V1 e V2), que constituíram um grupo igual entre si, confirmando a menor coesividade esperada para a cultivar híbrida H1, considerada de qualidade inferior de cocção por conta da sua textura menos coesa e da baixa soltabilidade de seus grãos cozidos. Os valores da coesividade após o armazenamento estão ordenados de modo crescente quando observados no sentido de H1 para V2, o que permite constatar que os grãos mais coesos de H2, V1 e V2 parecem refletir sua maior e soltabilidade.

A análise conjunta dos resultados dos parâmetros de textura confirmam a expectativa de que os arrozes se assemelham em resultados de textura logo após a colheita, mas adquirem diferenças marcantes com o tempo de armazenamento.

As propriedades de textura e mecânicas do arroz cozido e dos géis em geral dependem dos constituintes do amido, da amilose, do volume e deformação dos grânulos, das áreas cristalinas do amido e da interação entre as fases contínuas e dispersas (BILIADERIS, 1991; CHOI & KERR, 2003; ZAVAREZE, 2009; BARBOSA, 2013).

A cultivar híbrida H1 comportou-se conforme a expectativa, apresentando resultados diferenciados de textura em relação a H1, V1 e V2 com o tempo de armazenamento, com valores que confirmaram o seu desempenho inferior de qualidade de cocção.

Da mesma forma que o observado nos parâmetros de cocção, os parâmetros de textura também são influenciados pelas características genotípicas (que determinam a composição química do grão), a temperatura e do método de preparação de arroz, o tempo e temperatura de armazenamento, e as mudanças estruturais e metabólicas associadas ao envelhecimento dos grãos (SOOD & SIDDIQ, 1980; FARUQ et al., 2003a, 2003b; ELIAS, 2007; ZHOU et al., 2007; KAMINSKI et al., 2013b).

Chrastil (1994) propôs ser a adesividade influenciada pelas proteínas.

O arroz com maior teor de proteínas possui maior firmeza superficial (OKADOME, 1999), apresentando um grão de maior dureza (mais firme) do que os arrozes de com menor teor (TAMAKI et al., 1989). A temperatura de gelatinização da proteína é um pouco menor do que a do amido (MATVEEV et al., 2000) por isso, quando os grãos são cozidos em água limitada, por exemplo, numa panela de arroz, quanto maior o seu teor de proteína, mais proteínas se ligarão à água, deixando menos água disponível para o inchamento dos grânulos de amido e para lixiviação da amilose (MARTIN & FITZGERALD, 2002).

Neste experimento, como o conteúdo total de proteínas das cultivares avaliadas foi considerado igual entre as cultivares, as diferenças de teor de proteínas não puderam ser associadas às alterações ocorridas nos parâmetros avaliados. Porém as diferenças observadas nos aminoácidos sulfurados, principalmente da cisteína, pareceram estar envolvidas também nas modificações dos parâmetros de textura.

A oxidação das proteínas (principalmente nas camadas exteriores do grão) pode estar relacionada com as alterações de textura que são observadas no arroz envelhecido. Nos grãos de arroz novo, algumas proteínas solúveis em água e em solução salina, tal como as albuminas e globulinas, são dissolvidas em água quando os grãos são embebidos pela água do cozimento. É presumível que albuminas e globulinas apresentem alguma polimerização intermolecular de ligações dissulfeto por oxidação, dificultando sua dissolução depois disso, assim como a glutelina pode estabelecer pontes de cistina durante o armazenamento (CHRASTIL, 1990; CHRASTIL & ZARINS, 1992; TEO et al., 2000; ZHOU et al., 2002a; 2003b; OHNO & OHISA, 2005; ELLEPOLA & MA, 2006; TANANUWONG & MALILA, 2011).

As condições iguais de produção a campo, processamento, armazenamento e análise (padronizações preconizadas por Martin & Fitzgerald (2002)) das

variedades e cultivares híbridas testadas, sugerem portanto, o estabelecimento da conclusão de que a composição dos grãos, determinada por suas características genéticas (sendo exemplos o teor de amilose e cisteína), constitui o principal fator para as diferenças observadas nas propriedades de viscosidade, cocção e textura do arroz das cultivares analisadas.

#### 4.8 Atributos sensoriais

A Tabela 31 apresenta os resultados obtidos para os atributos sensoriais analisados cor, sabor, odor, brilho, firmeza e soltabilidade. A aceitação do arroz cozido e a intenção de compra também estão apresentados.

Tabela 31 - Atributos sensoriais (cor, sabor, odor, brilho, firmeza e soltabilidade), aceitação do arroz polido cozido e intenção de compra do arroz. Amostras obtidas a partir de arroz em casca, das cultivares híbridas H1 e H2 e das variedades V1 e V2, logo após a colheita e depois de 6 meses de armazenamento a 20°C

Avaliação	Mês	Cultivar H1	Cultivar H2	Cultivar V1	Cultivar V2
Atributos sensoriais					
Cor	0	Típica de branco	Típica de branco	Típica de branco	Típica de branco
	6	Típica de branco	Típica de branco	Típica de branco	Típica de branco
Brilho	0	Muito brilhoso	Típico de branco	Típico de branco	Típico de branco
	6	Típico de branco	Típico de branco	Pouco brilhoso	Pouco brilhoso
Odor	0	Típico de branco	Típico de branco	Típico de branco	Típico de branco
	6	Típico de branco	Típico de branco	Típico de branco	Típico de branco
Sabor	0	Típico de branco	Típico de branco	Típico de branco	Típico de branco
	6	Típico de branco	Típico de branco	Típico de branco	Típico de branco
Firmeza	0	Típica de branco	Típica de branco	Típica de branco	Típica de branco
	6	Grãos moles	Típica de branco	Típica de branco	Típica de branco
Soltabilidade	0	Grãos pouco soltos	Típica de branco	Grãos pouco soltos	Típica de branco
	6	Grãos pouco soltos	Grãos pouco soltos	Típica de branco	Típica de branco
Aceitação	0	Indiferente	Gostei ligeiramente	Gostei ligeiramente	Gostei ligeiramente
	6	Indiferente	Indiferente	Gostei ligeiramente	Gostei ligeiramente
Intenção de compra	0	Tenho dúvidas se compraria	Tenho dúvidas se compraria	Provavelmente compraria	Provavelmente compraria
	6	Tenho dúvidas se compraria	Provavelmente compraria	Provavelmente compraria	Provavelmente compraria

A análise conjunta de todos os parâmetros avaliados indica claramente a ordem de preferência dos painelistas crescente de H1 na direção de V2, com destaque para V1 e V2, escolhidas para participarem deste experimento por seu histórico de bom desempenho de qualidade geral, reconhecido pelo mercado brasileiro de arroz.

Os resultados dos atributos sensoriais obtidos foram aproximados daqueles obtidos por Schiavon (2012) para as mesmas condições de tempo, umidade e temperatura de armazenamento, considerando variedades de arroz similares.

A aceitação do arroz apresentou uma tendência de melhora após 6 meses de armazenamento, conforme também observado por Kaminski et al. (2013b). A ordem crescente de preferência parece ter iniciado sua definição de forma mais clara no atributo de soltabilidade, que é um dos atributos mais importantes para o sucesso de uma cultivar no mercado brasileiro (BASSINELLO et al., 2004; AMATO & ELIAS, 2005; ELIAS, 2007; GULARTE, 2012).

Nota-se também que H1 não teve melhorada sua soltabilidade com o tempo, na opinião dos julgadores, assim como a soltabilidade de H2 pareceu piorar, significando que nenhuma das duas cultivares híbridas evoluiu conforme a expectativa de soltabilidade mercado após o armazenamento de 6 meses.

A cultivar híbrida H2, de soltabilidade inferior a V1 e V2, e similar a H1 neste atributo, foi superior a H1 em textura, o que pode ter contribuído para ser incluída na opção provável de compra dos julgadores. A aceitação que decaiu para H2, refletiu a queda avaliada para a soltabilidade de H2 após o armazenamento.

A importante evolução da soltabilidade apresentada por V1 e o bom desempenho de V2 neste parâmetro já logo após a colheita e sua confirmação após o armazenamento garantiram sua aceitação e a opção de compra provável por parte dos julgadores.

A condição pouco brilhosa dos arrozes cozidos de V1 e V2 não diminuiu a intenção de compra destas variedades e pareceu estar relacionada com a soltabilidade dos grãos.

Os resultados da avaliação sensorial e dos atributos de aceitação e compra apresentaram-se conforme o esperado e para o grupo composto por H1, V1 e V2 os valores encontrados refletiram aqueles obtidos para amilose, ASV, a temperatura de pasta, a viscosidade de quebra (*breakdown*), dureza, adesividade e coesividade.

Para o grupo das variedades V1 e V2 em comparação com o grupo das cultivares híbridas H1 e H2 testadas, os resultados dos atributos da avaliação sensorial e dos atributos de aceitação e compra refletiram as diferenças observadas nos conteúdos de cisteína absoluto e relativo, além de diferenças nos parâmetros de grau de polimento, viscosidades máxima, mínima, final e de retrogradação (*setback*).

O teor de proteínas totais por ter sido considerado igual entre as amostras não pôde ter sua influência avaliada nas características sensoriais analisadas (XIE et al., 2008). Porém, de um modo geral, os resultados apoiaram a idéia de atuação da amilose (exercendo uma ação de barreira) em todo o grão de arroz, cujo efeito foi reforçado pela barreira adicional de proteínas contendo mais ligações de pontes dissulfeto, sendo estas características importantes (e provavelmente fundamentais) para a determinação das propriedades de cocção do arroz (DERYCKE, 2007).

## **5 CONCLUSÕES**

**5.1** O aumento do tempo de armazenamento provoca reduções no conteúdo e alterações no perfil de aminoácidos, não havendo diferenças de comportamento entre variedades e híbridos.

**5.2** O conteúdo de proteínas totais do endosperma do arroz não pode ser relacionado com a característica de maior soltabilidade (ou menor empapamento) dos grãos ou com a preferência pelo arroz após a cocção.

**5.3** A elevação do conteúdo de cisteína provoca aumento na soltabilidade do arroz ao longo do armazenamento dos grãos com casca.

**5.4** As avaliações texturométricas e reológicas refletem os resultados da análise sensorial e da aceitação do produto dos grãos após a cocção.

**5.5** O aumento do tempo de armazenamento provoca aumentos no rendimento de grãos (inteiros mais quebrados) e rendimento de grãos inteiros, reduções na brancura e no grau de polimento, mas não altera a transparência do arroz.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIAP – Associação Brasileira das Indústrias de Arroz Parboilizado. Tratamento Vip - **Processo hidrotérmico possibilita que o grão não perca características nutricionais e permite aumentar o tempo de prateleira do produto.** Disponível em: <[http://www.abiap.com.br/site-pt/content/informativos/anuario\\_arroz\\_2013.pdf](http://www.abiap.com.br/site-pt/content/informativos/anuario_arroz_2013.pdf)> Acesso em: Julho de 2013.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12806: análise sensorial de alimentos e bebidas – Terminologia.** Rio de Janeiro, 1993.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12994 - Normas Brasileiras para Análise Sensorial. Métodos de análise sensorial dos alimentos e bebidas – Classificação.** 1994.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14141 - Normas Brasileiras para Análise Sensorial. Escalas utilizadas em análise sensorial de alimentos e bebidas.** 1998.

AGBOOLA, S.; NG, D.; MILLS, D.. Characterisation and functional properties of Australian rice protein isolates. **J. Cereal Sci.**, v. 41, p. 283-290, 2005.

AGEITEC – Agência EMBRAPA de Informação Tecnológica. **Árvore do Conhecimento: Arroz – Características Morfológicas.** Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe75wint02wx5eo07qw4xeclygdut.html>> Acesso em: Julho de 2013.

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, v. 1, 2009. p. 468-471.

AMATO, G. W. & ELIAS, M.C. **A Parboilização do Arroz.** 1.ed. Porto Alegre: Ricardo Lenz Editor, 2005. 160p.

AMATO, G.W.; CARVALHO, J.L.V.; SILVEIRA FILHO, S. **Arroz Parboilizado: Tecnologia Limpa, Produto Nobre.** Porto Alegre: Ricardo Lenz Editor, 2002. 240p.

AMATO, Gilberto Wageck. Aspectos normativos e avanços tecnológicos na qualidade do arroz parboilizado: um caso de sucesso. In: ELIAS, M. C. et al. (Eds.). Parte IV – Industrialização de arroz. **Qualidade de arroz na pós-colheita: Ciência, Tecnologia e Normas.** Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2010. 905p. Cap. 8, p. 341-352.

ASGHAR, Samina et al. Cooking and eating characteristics of Rice (*Oryza sativa* L.) - A review. **Pakistan Journal of Food Sciences**, v. 22, n. 3, p. 128-132, 2012.

BALDWIN, P..M. Starch granule-associated proteins and polypeptides: A review. **Starch/Stärke**, v. 53, p. 475–503, 2001.

BAO, J.; CHEUNG, W. Y. ; WU, J. Y. Brain L-glutamate decarboxylase. Inhibition by phosphorylation and activation by dephosphorylation. **J. Biol. Chem.**, v. 270, n. 12, p. 6464-6467, 1995.

BARBER, R. S. Milled rice and changes during storage. **Rice chemistry and technology**, Minnesota, v. 20, p.215-263, 1972.

BARBOSA, Mariana Caldeira. **Efeito da adição de proteína nas propriedades físicas e reológicas dos géis obtidos a partir de amido da semente de jaca (*Artocarpus integrifolia*)**. 2013. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Itapetinga.

BASF. BASF obtém seu primeiro registro de cultivar de arroz no Brasil. Imprensa, Agosto de 2008. Disponível em: <<http://www.basf.com.br/default.asp?id=4709>> Acesso em: 28 agosto de 2013.

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

BAXTER, Graeme; ZHAO, Jian; BLANCHARD; Christopher. Albumin Significantly Affects Pasting and Textural Characteristics of Rice Flour. **Cereal Chemistry Journal**, v. 87, n.3, p. 250-255, 2010.

BEAN, M.M. & NISHITA, K.D. Rice flours for baking. In: **Rice Chemistry and Technology**. St. Paul, MN: Ed. B.O. Juliano, AACC International, 1985. p. 539-556.

BECKER, Fernanda Salamoni et al. Mudanças químicas e viscoamilográficas em farinhas de diferentes genótipos de arroz submetidas à extrusão. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, p. 1911-1917, 2013.

BETT-GARBER, K.L.; CHAMPAGNE, E.T.; LEA, J.M. Influence of amylose and protein contents on color of raw and cooked milled rice. **United States Japan Natural Resources Protein Panel**. Food processing and sensory quality research. Improving the sensory quality and shelf life of fresh-cut fruit products. 2010. Disponível em: <[http://www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm?ACCN\\_NO=418846](http://www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm?ACCN_NO=418846)>. Acesso em: Dez. 2011.

BETT-GARBER, Karen L. et al. Influence of Water-to-Rice Ratio on Cooked Rice Flavor and Texture. **Cereal Chem.**, v. 84, n. 6, p. 614-619, 2007.

BILLIADERIS, C. G. The structure and interactions of starch with food constituents, **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 69, n.1, p. 60-78, 1991.

BOBBIO, P. A. & BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo: Varela, 1992. 156p.

BOROMPICHAICHARTKUL, C.; WISET, L.; TULAYATUN, V. et al. Comparative study of effects of drying methods and storage conditions on aroma and quality attributes of Thai jasmine rice. **Drying Technology**, v. 25, n.7, p.1185-1192, 2007.

BOURNE, M. C. **Texture profile analysis** - Practical Definitions of Standard TPA Terms Paraphrased from Food Texture and Viscosity - Concept and Measurement, 2ªed. New York: Academic Press, 2002. 400p. Disponível em: <[http://128.121.92.221/texture\\_profile\\_analysis.html](http://128.121.92.221/texture_profile_analysis.html)>. Acesso: Setembro de 2013.

BOURNE, M. C. Texture profile analysis. **Food Technology**, v. 32, n. 7, p. 62-66, 1978.

BOURNE, M. C; KENNY, J.F; BARNARD, J. Computer-assisted readout of data from texture profile analysis curves. **Journal Texture Studies**, v. 9, p. 481-494, 1978.

BRADESCO. Arroz. 2012. Disponível em: <[http://www.economiaemdia.com.br/static\\_files/EconomiaEmDia/Aquivos/infset\\_arroz.pdf](http://www.economiaemdia.com.br/static_files/EconomiaEmDia/Aquivos/infset_arroz.pdf)> Acesso em: Dezembro 2012.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil. **Instrução Normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009**. (2009a). Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=19480>> Acesso em: Set. 2013.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil. **Instrução Normativa nº 16, de 26 de maio de 2009**. (2009b). Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=20143>>. Acesso em: Set. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. (2009c). 399p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil. **Instrução Normativa nº 11, de 11 de março de 2011**. (2011). Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: Set. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil. **Instrução Normativa nº 02, de 07 de fevereiro de 2012**. (2012). Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=918108049>>. Acesso em: Ago. 2013.

BRASOVEANU, Mirela & NEMTANU, Monica R. Behaviour of starch exposed to microwave radiation treatment. **Starch/Stärke**, v.00, p.1–12, 2013.

BRYCHKOVA, G.; GRISHKEVICH, V.; FLUHR, R.; SAGI, M. An essential role for tomato sulfite oxidase and enzymes of the sulfite network in maintaining leaf sulfite homeostasis. **Plant Physiol.**, v. 161, n. 1, p. 148–164, 2013.

BUENO, P. D. F. **Viscoamilografia na estimativa do teor de amilose e características de consumo de arroz**. 2008, 69f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas.

BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V. e BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.23, p.85-112, 1998.

CAI, Yixia; LIU, C.; WANG, W.; CAI, K. Differences in physicochemical properties of kernels of two rice cultivars during grain formation. **Journal of Science Food Agric.**, v. 91, p. 1977–1983, 2011.

CAMERON, D. K. & WANG, Y. J. A better understanding of factors that affect the hardness and stickiness of long-grain rice. **Cereal Chem.**, v. 82, p. 113–119, 2005.

CASTRO, E. M. de; VIEIRA, N.R. de A.; RABELO, R.R.; SILVA, S.A. da. Qualidade de grãos em arroz. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, **Circular Técnica**, n. 34 (Embrapa Arroz e Feijão). 1999. 30p.

CEPA. Centro de Sócioeconomia e Planejamento Agrícola. EPAGRI. **Arroz - Safra 2010/11**. Disponível em: <[http://cepa.epagri.sc.gov.br/Publicacoes/Sintese\\_2011/Arroz%20sintese%202011.pdf](http://cepa.epagri.sc.gov.br/Publicacoes/Sintese_2011/Arroz%20sintese%202011.pdf)> Acesso em: Setembro de 2013.

- CEREDA, M. P. et al. **Volume 1 - Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Fundação Cargill, cap.6: Estrutura dos grânulos de amido, p.101-133, cap. 7: Caracterização da fração amilácea, p. 134-140, cap. 8: Propriedades do Amido, p. 141-185. Série Cultura de tuberosas amiláceas Latino Americanas, v. 1, 2001. 221p.
- CHAMPAGNE, E. T. Rice Aroma and Flavor: A Literature Review. **Cereal Chemistry**, v. 85, p. 445-454, 2008.
- CHAMPAGNE, E. T., et al. Effects of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 2, p. 181-86, 1998.
- CHAMPAGNE, E. T.; BETT-GARBER, K. L.; FITZGERALD, M. A. et al. Important sensory properties differentiating premium rice varieties. **Rice**, v. 3, n. 4, p. 270-281, 2010.
- CHAMPAGNE, E. T.; WOOD, D. F.; JULIANO, B. O.; BECHTEL, D. B. The rice grain and its gross composition. In: Champagne E.T. (ed) **Rice Chemistry and Technology**. Minneapolis: American Association of Cereal Chemists Press, 2004. p.77-107.
- CHAMPAGNE, E.T.; BETT, K.L.; VINYARD, B.T.; MCCLUNG, A.M.; BARTON, F.E.; MOLDENHAUER, K.A.; LINScombe, S.; McKENZIE, K. Correlation between rice texture and rapid visco analyser measurements. **Cereal Chem.**, v.76, p. 764-771. 1999.
- CHAVES, M. O; COUTINHO, A. R.; WANDER, A. E. Panorama do consumo domiciliar *per capita* de arroz no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 7., 2011. Balneário Camboriú: EPAGRI, 2011. **Anais...**, p. 775-778.
- CHÁVEZ-MURILLO, Carolina E.; MÉNDEZ-MONTEALVO, Guadalupe; WANG, Ya-Jane; BELLO-PÉREZ, Luis A. Starch of diverse Mexican rice cultivars: physicochemical, structural, and nutritional features. **Starch/Stärke**, n. 64, p. 745–756, 2012.
- CHEN, Jie Yu; MIAO, Yelian; SATO, Satoshi; ZHANG, Han. Near Infrared Spectroscopy for Determination of the Protein Composition of Rice Flour. **Food Sci. Technol. Res.**, v. 14, n. 2, p. 132–138, 2008.
- CHEN, Neng; XIE, Li-Hong; DUAN, Bin-Wu. **Effect of Disulfide Bond-Containing Protein on Texture of Cooked Rice**. Rice Product Quality Supervision and Inspection Center, Ministry of Agriculture, China Rice Research Institute. **Acta Agronomica Sínica**, v. 33, p. 167-170. 2007.
- CHEN, Yu-Jen; CHEN, Yu-Yawn; WU, C.; YU, C.; LIAO, H. Prolamin, a rice protein, augments anti-leukaemia immune response. **J. Cereal Sci.**, v. 51, p.189-197, 2010.
- CHIARAMONTE, Eija; RHAZI, L.; AUSSÉNAC, T.; WHITE JR., D. Richard. Amylose and amylopectin in starch by asymmetric flow field-flow fractionation with multi-angle light scattering and refractive index detection (AF4-MALS-RI). **Journal of Cereal Science**, v. 56, p. 457-463, 2012.
- CHOI, S. G. & KERR, W. L. Water mobility and textural properties of native and hydroxypropylated wheat starch gels. **Carbohydrate Polymers**, v. 51, n. 1, p. 1-8, 2003.
- CHRASTIL, J. & ZARINS, Z. M. Influence of storage on peptide subunit composition of rice oryzenin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 6, p. 927-930, 1992.

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

CHRASTIL, J. Stickiness of Oryzenin and starch mixtures of preharvest and postharvest rice grains. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 42, p. 2147-2151, 1994.

CHRASTIL, J., Correlation between the physicochemical and functional properties of rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, p. 1683–1686. 1992.

CNOSSEN, A. G. & SIEBENMORGEN, T. J. The glass transition temperature concept in rice drying and tempering: Effect on milling quality. **Transactions of the ASAE**, v. 43, p. 1661-1667, 2000.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. In: Acompanhamento de safra brasileira: **Grãos, décimo levantamento, julho/2013**. Brasília: CONAB, 2013. 29p.

CONRAD, V. D.; CARDOSO, M. B.; AOSANI, E. GULARTE, M.; SCHIRMER, M. A.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C. Conteúdo de amilose e características de consumo de arroz irrigado. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE QUALIDADE ARROZ. 1. 2003, Pelotas. **Anais...** Pelotas: ABRAPÓS e UFPel, 2003. Volume 1, p. 489-496.

COPELAND, L.; BLAZEK, J.; SALMAN, H.; TANG, M. C. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v.23, p.1527-1534, 2009.

CORDEIRO, Antonio Carlos Centeno & MEDEIROS, Roberto Dantas de. BRS Jaçanã e BRS Tropical: cultivares de arroz irrigado para os sistemas de produção de arroz em várzea de Roraima. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 4, n. 2, p. 67-73, 2010.

COSTA, Cláudia Militz da et al. **Características Industriais dos Grãos Híbridos de Arroz RiceTec no Brasil** - Manual Resumido - 2ªed. Porto Alegre: RiceTec, Dezembro de 2010. 10p.

COSTA, Cláudia Militz da et al. **Guia de informações técnicas industriais** - Características Industriais dos Grãos Híbridos de Arroz RiceTec - Manual Resumido para o Mercosul - 1ªed. Mercosul / 3ªed. Brasil. Porto Alegre: RiceTec, 2013. 10p.

COSTA, Neuza M. B. Biotecnologia aplicada ao valor nutricional dos alimentos. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, n. 32, p. 47-54, 2004.

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.

CUI, Lu; PAN, Zhongli; YUE, Tanli; ATUNGULU, Griffiths G.; BERRIOS, Jose. Effect of Ultrasonic Treatment of Brown Rice at Different Temperatures on Cooking Properties and Quality. **Cereal Chem.**, v. 87, n. 5, p. 403–408, 2010.

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: 13 jul. 2013.

DAVIDIAN, J.-C. & KOPRIVA, S. Regulation of sulfate uptake and assimilation—the same or not the same? **Molecular Plant**, v. 3, n. 2, p. 314-325, 2010.

DEL ROSARIO, A.R.; BRIONES, V.P.; VIDAL, A.J. & JULIANO, B.O. Composition and endosperm structure of developing and mature rice kernel. **Cereal Chemistry**, v.45, p. 225–235. 1968.

DELCOUR, J. A. & HOSENEY, R. C. Starch. In: **Principles of Cereal Science and Technology**. 3<sup>a</sup>ed. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists - AACC International Press, 2010. Cap. 2, p. 23-51.

DENARDIN, C.C.; WALTER, M.; SILVA, L.P. Influência do beneficiamento na composição nutricional em farelo de arroz. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE QUALIDADE DE ARROZ, 2., 2005, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Abrapós, 2005, 660p.

DENARDIN, Cristiane C. & SILVA, Leila Picolli da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Jornal Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p.945-954, mai-jun, 2009.

DERYCKE, Veerle. **Parboiling of Rice: Changes in starch and protein and their relation to cooking properties**. 2007. 28f. Tese (Doutorado). Universidade Católica de Lovaina, Bélgica.

DERYCKE, Y. et al. Impact of Proteins on Pasting and Cooking Properties of Nonparboiled and Parboiled Rice. **Cereal Chemistry**, n. 82, p. 468-474, 2005.

DHALIWAL, Y. S. et al. Enzymatic activities and rheological properties of stored rice. **Cereal Chemistry**, v. 68, n. 1, p. 18-21, 1991.

DONG, Renjie; LU, Zhanhui; LU, Zhuqing; KOIDE, Shoji; CAO, Wei. Effect of drying and tempering on rice fissuring analysed by integrating intra-kernel moisture distribution. **Journal of Food Engineering**, v. 97, p. 161–167, 2010.

DUAN, Meijuan & SUN, Samuel S.M. Plant Molecular Biology: Profiling the expression of genes controlling rice grain quality. **Plant Molecular Biology**, v. 59, n. 1, p. 165-178, 2005.

DUNN, T. S.; FITZGERALD, M. A.; BATTEN, G.D. A panicle culture system to manipulate protein in rice grain. In: 11<sup>TH</sup> WORLD CEREALS AND BREAD CONGRESS, RICE SATELLITE SYMPOSIUM. Queensland, Australia, 2000. p. 15.

DUTCOSKY, S.D. **Análise sensorial de alimentos**. 2<sup>a</sup>ed. Coleção Exatas, 4, Editora Curitiba: Champagnat, 2007, 239p.

ELIAS, M. C. **Armazenamento e conservação de grãos**. Texto didático. Pólo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul, Conselho Regional de Desenvolvimento da Região Sul (COREDE-SUL), UFPel. Pelotas: UFPel, 2003. 81p.

ELIAS, M. C. Manejo tecnológico na secagem e no armazenamento de grãos. Pelotas: Editora Santa Cruz, 2009. 378p.

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

ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M. de; VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T., SCHIAVON, R. de A. Industrialização de arroz por processo convencional e por parboilização, In: ELIAS, M. C. et al. (Eds). **Qualidade de arroz, da pós-colheita ao consumo**. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, 2012. 626p. Cap. 4, p. 43-56.

ELIAS, M.C.; SCHIAVON, R. de A.; OLIVEIRA, M. de. Aspectos científicos e operacionais na industrialização do arroz. IN: ELIAS, M. C. et al. (Eds.). Parte IV –

Industrialização de arroz. **Qualidade de arroz na pós-colheita: Ciência, Tecnologia e Normas**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2010a. 905p. Cap. 9, p. 353-387.

ELIAS, M.C.; SCHIAVON, R. de A.; OLIVEIRA, M. de; RUTZ, D.; VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T. Tecnologias e inovações nas operações de pré-armazenamento, armazenamento e conservação. IN: ELIAS, M. C. et al. (Eds.). Parte II – Armazenamento, conservação e industrialização de arroz. **Qualidade de arroz na pós-colheita: Ciência, Tecnologia e Normas**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2010b. 905p. Cap. 4, p 213- 264.

ELLEPOLA, S. W. & MA, C.-Y. Thermal properties of globulin from rice (*Oryza sativa*) seeds. **Food Research International**, v. 39, p. 257–264, 2006.

ELLEPOLA, S. W.; CHOI, S.-M.; PHILLIPS, D. L.; MA, C.-Y. Raman spectroscopic study of rice globulin. **Journal of Cereal Science**, v. 43, p. 85–93, 2006.

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. Volume 1, p. 476-479.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. International year of rice. **Rice is life**. 2004. Disponível em: <<http://www.rice2004.org>> Acesso em: Novembro de 2010.

FARUQ, G.; MOHAMAD, O.; HADZIM, M.; MEISNER, C. A. Kernel aging: an analysis in four Malaysian rice cultivars. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 5, p. 230-232, 2003a.

FARUQ, G.; MOHAMAD, O.; HADZIM, M.; MEISNER, C. A. Optimization of aging time and temperature for four Malaysian rice cultivars. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 2, p. 125-131, 2003b.

FENIMAN, Cristiane Mengue. **Caracterização de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita**. 2004. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba.

FERREIRA, V. L. P. et al. **Análise sensorial: testes discriminativos e afetivos**. Campinas: SBCTA, 2000. Manual: série qualidade.127p.

FITZGERALD, M. A.; MCCOUCH, S. R. & HALL, R. D. Not just a grain of rice: the quest for quality. **Trends in Plant Science** – IRRI, v.14, n. 3, p. 133–139, 2009.

FITZGERALD, Melissa A. et al. Addressing the dilemmas of measuring amylose in rice. **Cereal Chemistry**, v. 86, n. 5, p. 492-498, 2009.

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, 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, 4p., 2005.

FURLONG, Eliana Badiale. Métodos analíticos aplicados à caracterização nutricional, funcional e de contaminantes em arroz e seus derivados. In: ELIAS, M.

C. et al. (Eds.). **Qualidade de arroz, da pós-colheita ao consumo**. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, 2012. 626p. Cap. 9, p. 139-160.

GARCIA, Diva Mendonça et al. Cooking quality of upland and lowland rice characterized by different methods. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 31, n.2, p. 341-348, 2011.

GHASEMI, E.; MOSAVIAN, M. T. H.; KHODAPARAST, M. H. H..Effect of Stewing in Cooking Step on Textural and Morphological Properties of Cooked Rice. **Rice Science**, v. 16, n.3, p. 243–246, 2009.

GHASEMI, E.; MOSAVIAN, M. T. H.; KHODAPARAST, M. H. H..The effect of acetic and lactic acid on the oil uptake, texture and color of rice (*Sang Tarom*) during cooking. **World Applied Sciences Journal**, v. 4, n.2, p. 183-187, 2008.

GOLAM, Faruq & PRODHAN, Zakaria H. Kernel elongation in rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 3, p. 449–456, 2013.

GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004. 270p. Disponível em: <[http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/sistemas/sistema\\_03.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/sistemas/sistema_03.pdf)>. Acesso em: Julho de 2013.

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, 2003.

GULARTE, M. A. et al. Caracterização tecnológica e de consumo do híbrido Avaxi. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE QUALIDADE DE ARROZ, 2., 2005, Pelotas. **Anais...** Pelotas: ABRAPÓS e UFPel, 2005. Volume 1. p. 471-478.

GULARTE, M. A. **Metodologia analítica e características tecnológicas e de consumo na qualidade do arroz**. 2005. 95f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas.

GULARTE, Márcia Arocha. Avaliação sensorial no controle de qualidade de arroz. In: ELIAS, M. C. et al. (Eds.). **Qualidade de arroz, da pós-colheita ao consumo**. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, 2012. 626p. Cap. 13, p. 193-212.

HAGEN, S.; FROST, B.; AUGUSTIN, J. Precolumn phenylisothiocyanate derivatization and liquid chromatography of amino acids in food. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 72, n. 6, p. 912-916, 1989.

HAMAKER, Bruce R. & GRIFFIN, Virginia K. Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption. **Cereal Chem.**, v. 67, n. 3, p. 261-264, 1990.

HAMAKER, Bruce R. & GRIFFIN, Virginia K. Effect of Disulfide Bond-Containing Protein on Rice Starch Gelatinization and Pasting. **Cereal Chemistry**, n. 70, p. 377-380, 1993.

HANASHIRO, I., OHTA; K., TAKEDA; C., MIZUKAMI, H.; TAKEDA, Y. Leaching of amylose and amylopectin during cooking of rice grains and their effect on adhesiveness of cooked rice. **J. Appl. Glycosci.**, v. 51, p. 349-354, 2004.

HEINEMANN, R. J. B.; FAGUNDES, P. L. PINTO, E. A. et al. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, p. 287-296, 2005.



HELBIG, Elizabete. Consumo de arroz e implicações nutricionais. In: ELIAS, M. C. et al. (Eds.). Parte IV – Industrialização de arroz. **Qualidade de arroz na pós-colheita: Ciência, Tecnologia e Normas**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2010. 905p. Cap. 11, p. 407-425.

HORIGANE, A. K.; ENGELAAR, W. M. H. G.; TOYOSHIMA, H.; ONO, H.; et al. Differences in hollow volumes in cooked rice grains with various amylose contents as determined by NMR micro imaging. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 3, p. 408-412, 2000.

HOSENEY, R.C. **Principios de ciencia y tecnología de los cereales**. Zaragoza: Editoria Acribia, S.A. España, 1991. 320p.

ICTA. Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). **Terra de arroz**. Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/alimentus/terradearroz/grao/gr\\_divisao.htm](http://www.ufrgs.br/alimentus/terradearroz/grao/gr_divisao.htm)>. Acesso em Dez. 2011.

IRGA. Instituto Riograndense do Arroz. 2011. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br>> Acesso em: Dezembro de 2011.

IRGA. Instituto Riograndense do Arroz. **Preços médios mensais do arroz em casca e do arroz beneficiado no RS - Jan-Jun/13**. (2013a). Disponível em: <[http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1372958738Precos\\_Medioas\\_Mensais.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1372958738Precos_Medioas_Mensais.pdf)> Acesso em: Julho de 2013.

IRGA. Instituto Riograndense do Arroz. **Preços semanais arroz beneficiado - Quarta semana - Junho - 28/Junho/13**. (2013b). Disponível em: <[http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1372771694Precos\\_Semanais\\_Arroz\\_Beneficiado\\_28\\_06\\_2013.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1372771694Precos_Semanais_Arroz_Beneficiado_28_06_2013.pdf)> Acesso em: Julho de 2013.

IRGA. Instituto Riograndense do Arroz. **Preços semanais de arroz beneficiado**. (2013c). Disponível em: <[http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1369225839Precos\\_Semanais\\_Arroz\\_BeNeficiado\\_17\\_05\\_2013.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1369225839Precos_Semanais_Arroz_BeNeficiado_17_05_2013.pdf)> Acesso em: Julho de 2013.

ISHIMARU, T. et al. Formation of grain chalkiness and changes in water distribution in developing rice caryopses grown under high-temperature stress. **Journal of Cereal Science**, v. 50, p. 166–174, 2009.

ISO. International Organization for Standartization. **ISO5492:1992 - Sensory Analisis - Vocabulary**, 1992.

JANE, J.; CHEN, Y. Y.; LEE, L. F.; MCPHERSON, A. E.; WONG, K. S.; RADOSAVLJEVIC, M.; KASEMSUWAN, T. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 5, p. 629-637, 1999.

JANE, Jay-Li. Structural features of starch granules II. In: BeMILLER, J. & WHISTLER, R. (Eds.). **Starch: Chemistry and Technology**. New York: Academic Press, 2009. p. 193-236.

JIA, C.-C.; YANG, W.; SIEBENMORGEN, T. J.; BAUTISTA, R. C.; CNOSSEN, A. G. A study of rice fissuring by finite–element simulation of internal stresses combined with high–speed microscopy imaging of fissure appearance. **Transactions of the ASAE**, v. 45, n. 3, p. 741-749, 2002.

JU, Z.Y.; HETTIARACHCHY, N.S.; RATH, N. Extraction, denaturation and hydrophobic properties of rice flour proteins. **J. Food Sci.**, v. 66, n. 2, p. 229-232, 2001.

JULIANO, B. O. & BECHTEL, D.B. The rice grain and its gross composition. In: JULIANO, B. O. (Ed.). **Rice: chemistry and technology**. Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985. Cap.2, p.17-57.

JULIANO, B. O. & PEREZ, C. M. Major factors affecting cooked milled rice hardness and cooking time. **J. Texture Stud.**, v. 4, p. 235–243, 1984.

JULIANO, B. O. (Ed.). **Rice: chemistry and technology**. 1ªed. Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985. 774p.

JULIANO, B. O. (Ed.). **Rice: chemistry and technology**. 2ªed. Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1994. 774p.

JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/t0567e/t0567e00.htm>>. Acesso em: Julho 2013.

JULIANO, B. O.; TUAÑO, A. P. P.; MONTEROSO, D. N.; AOKI, N.; MESTRES, C.; DULDULAO, J. B. A.; BERGONIO, K. B. Replacement of acetate with ammonium bufer to determine apparent amylose content of milled rice. **Cereal Foods World**, v.57, n. 1, p. 14-19, 2012.

JULIANO, B., & VILLAREAL, C. **Grain quality evaluation of world rices**. Los Banos, Philippines: International Rice Research Institute. 1993.

JULIANO, B.O., PEREZ, C.M., BARBER, S., BLANKENEY, A.B. et al. International cooperative comparison of instrument methods for cooked rice texture. **J. Texture Studies**, v. 12, p. 17-38, 1981.

KAMINSKI, Tiago André. **Influência das condições de armazenamento no envelhecimento de arroz**. 2012. 123f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria.

KAMINSKI, Tiago André; BRACKMANN, Auri 2; SILVA, Leila Picolli da; BENDERS, Ana Betine Beutinger; SPERONI, Caroline Seffrin. Composição química e alterações estruturais do arroz irrigado durante o armazenamento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 1167-1184, 2013. (2013a).

KAMINSKI, Tiago André; BRACKMANN, Auri 2; SILVA, Leila Picolli da; BENDERS, Ana Betine Beutinger; SPERONI, Caroline Seffrin. Changes in culinary, viscoamylographic and sensory characteristics during rice storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, v. 53, p. 37-42, 2013. (2013b).

KARLSSON, M. E. & ELIASSON, A. C. Gelatinization and retrogradation of potato (*Solanum tuberosum*) starch in situ as assessed by differential scanning calorimetry (DSC). **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 36, n. 8, p. 735-741, 2003.

KAUR, S.; SINGH, N.; SODHI, N. S.; RANAB, J. C. Diversity in properties of seed and flour of kidney bean germplasm. **Food Chemistry**, v.117, n.2, p. 282-289, 2009.

KENNEDY, G. & BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chemistry**, n. 80, p. 589-596, 2003.

KIM, Il-Hwan & KIM, Sung-Kon. Effects of Phosphates on Firming Rate of Cooked Rice. **Journal of Food Science**, v. 49, n. 2, p. 660–661, 1984.

KIM, Jin-Woong; KIM, Byung-Chul; LEE, Jae-Heung; LEE, Duck-Ryul et al. Protein content and composition of waxy rice grains. **Pak. J. Bot.**, v. 45, n. 1, p. 151-156, 2013.

- KIM, Y. J.; CHOI, S. H.; PARK, B. S. et al. Proteomic analysis of the rice seed for quality improvement. **Plant Breeding**, v. 128, n. 6, p. 541–550, 2009.
- KOHYAMA, K.; OHTSUBO, K.; TOYOSHIMA, H.; SHIOZAWA, K. Electromyographic study on cooked rice with different amylose contents. **Journal of Texture Studies**, n.29, p. 101-113, 1998.
- KOMATSUZAKI, N.; TSUKAHARA, K.; TOYOSHIMA, H.; SUZUKI, T.; SHIMIZU, N.; KIMURA, T. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. **J. Food Eng.**, v. 78, n. 2, p. 556-560, 2007.
- KUMAR, Ish et al. Grain Quality Consideration in Hybrid Rice. In: **Hybrid Rice Technology: New developments and future prospects**. Filipinas: IRRI, 1994. 296p.
- LACERDA FILHO, A. F. de; MELO, E. de C.; NICÁCIO, J. V. Secagem e manejo da temperatura no armazenamento de grãos. In: ELIAS, M. C. et al. (Eds.). Parte II – Armazenamento, conservação e industrialização de arroz. **Qualidade de arroz na pós-colheita: Ciência, Tecnologia e Normas**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2010. 905p. Cap. 3, p 177- 211.
- LACERDA, D. B. C. L et al. Qualidade de farelos de arroz cru, extrusado e parboilizado. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 521-530, 2010.
- LAJOLO, F.M. & MENEZES, E.W. **Carboidratos em alimentos regionais iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p.
- LAMBERTS, L.; BRIJS, I.R.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J.A. Impact of parboiling conditions on Maillard precursors and indicators in long-grain rice cultivars. **Food Chemistry**, v. 110, p. 916–922, 2008.
- LASZTITY, R. **The Chemistry of Cereal Proteins**. 2<sup>a</sup>ed. Washington, D.C.: CRC Press Inc., 1995. 336 p.
- Le CORRE, Déborah. **Starch Nanocrystals: Preparation and Application to bio-based flexible packaging**. 2011. 450f. Tese (Doutorado em Matériaux, Mécanique, Génie Civile, Electrochimie). Universidade de Grenoble, Grenoble, França.
- LIANG, X. & KING, J. M. Pasting and crystalline property differences of commercial and isolated rice starch with added amino acids. **Journal of Food Science**, v. 68, n.3, p. 832–838, 2003.
- LIKITWATTANASADE, T. & HONGSPRABHAS, P. Effect of storage proteins on pasting properties and microstructure of Thai rice. **Food Research International**, v. 43, p. 1402–1409, 2010.
- LIKITWATTANASADE, Teerarat. **Effect of accelerated aging on functional properties of rice grain and flour**. 2009. 114f. Dissertação (Mestrado em: Food Science) - Kasetsart University, Tailândia.
- LIMPISUT, Pouranee & JINDAL, Vinod K. Comparison of Rice Flour Pasting Properties using Brabender Viscoamylograph and Rapid Visco Analyser for Evaluating Cooked Rice Texture. **Starch/Stärke**, v. 54, p. 350–35, 2002.
- 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, 1997.

LISLE, A.J., MARTIN, M. & FITZGERALD, M.A. Chalky and translucent rice grains differ in starch composition and structure and cooking properties. **Cereal Chemistry**, v. 77, p. 627–632, 2000.

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. Volume 1, p. 112-115.

LU, S.; CHEN, L.-N.; LII, C.-Y. Correlations between the fine structure, physicochemical properties and retrogradation of amylopectins from Taiwan rice varieties. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 1, p. 34–39. 1997.

LUZ, C. A. S.; LUZ, M. L. G. S. da, BIZZI, L. T.; FALK, C. L.; ISQUIERDO, E. P.; LOREGIAN, R. Relações granulométricas no processo de brunimento de arroz. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 214-221, 2005.

LYON, B. G., et al. Sensory and instrumental relationships of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices. **Cereal Chemistry**, v. 77, n.1, p.64-69, 2000.

MacDONALD, J.; KRUEGER, M.; KELLER, J. Oxidation and hydrolysis determination of sulfur amino acids in food and feed ingredients: collaborative study. **Journal of Association of Official Analytical Chemists**, v. 68, n. 5, p. 826-829, 1985.

MAGALHÃES JÚNIOR, Ariano Martins de & AGUIAR, Gabriel. Arroz para produção de etanol. In: ELIAS, M. C. et al. (Eds.). **Qualidade de arroz, da pós-colheita ao consumo**. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, 2012. 626p. Cap. 6, p. 79-93.

MAGALHÃES JÚNIOR, Ariano Martins de & FAGUNDES, Paulo Ricardo. **Árvore do Conhecimento: Arroz – Cultivar**. AGEITEC – Agência EMBRAPA de Informação Tecnológica. Disponível em: < <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fojvokoc02wyiv80bhgp5povqqj3b.html>> Acesso em: Julho de 2013.

MAIA, L. H.; WANG, S. H.; FERNANDES, M. S.; CABRAL, L. C. Características químicas dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 3, p. 416-423, 2000.

MARFIL, P. H. M. **Estudo reológico de sistemas gelatina/colágeno/amido para obtenção de géis e aplicação em gomas dietéticas de gelatina**. 2010. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, São José do Rio Preto.

MARTIN, M. & FITZGERALD, M. A. Proteins in rice grains influence cooking properties! **Journal of Cereal Science**, v. 36, n. 3, p. 285–294, 2002.

MARTÍNEZ, C. & CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz: guía de estudio**. 3ªed. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1989. 75 p. (CIAT. Serie 04SR-07.01).

MATSUGUMA, Luciane S. **Caracterização do amido de mandioquinha salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) nativo e modificado por oxidação**. 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

MATVEEV, Y. I.; GRINBERG, V. Y.; TOLSTOGUZOV, B. V. The plasticizing effect of water on proteins polysaccharides and their mixtures. Glassy state of biopolymers, food and seeds. **Food Hydrocolloids**, v. 14, p. 425-437, 2000.

MEADOWS, F. Pasting properties in rice flour using Rapid Visco Analyser curves and first derivatives. **Cereal Chemistry**, v. 36, p. 285-294, 2002.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2007.

MEULLENET, J.-F.; MARKS, B. P.; HANKINS, J. A.; DANIELS, M. J. Sensory quality of cooked long-grain rice as affected by rough rice moisture content, storage temperature, and storage duration. **Cereal Chem.**, v. 77, n. 259-263, 2000.

MININ, V.P.R. **Análise sensorial – Estudos com consumidores**. 2ªed. Viçosa, MG: UFV, 2010. 308p.

MIZUKAMI, H. & TAKEDA, Y. Chewing properties of cooked rice from new characteristics rice cultivars and their relation to starch molecular structure. **J. Appl. Glycosci.**, v. 45, p. 99–106, 2000.

MORAIS, M. M. de. **Influências do gessamento sobre parâmetros de qualidade tecnológica e nas propriedades de consumo de arroz**. 2012.106f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas.

MORRISON, W.R. Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. **Cereal Food World**, v. 40, n. 6, p. 437-446, 1995.

MUA, J. P. & JACKSON, D. S. Relationships between functional attributes and molecular structures of amylose and amylopectin fractions of corn starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 10, p. 3848-3854, 1997.

MÜLLER-FISCHER, Nadina. Nutrient-focused processing of rice. In: **Progress and prospects in crop research. Agricultural Sustainability**. Switzerland: Academic Press, 2013. Cap. 10, p. 197–220.

NEVES, E. M. et al. Hybrid rice research in Brazil. In: **Hybrid Rice Technology: New developments and future prospects**. Filipinas: IRRI, 1994.

NEWPORT SCIENTIFIC. **RVA software manual thermocline for windows**. Version 2,0; 1998.

NILSSON, Lars. Separation and characterization of food macromolecules using field-flow fractionation: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 30, p. 1-11, 2013.

NING, H.; QIAO, J.; LIU, Z.; LIN, Z.; LI, G.; WANG, Q.; WANG, S.; DING, Y. Distribution of proteins and amino acids in milled and brown rice as affected by nitrogen fertilization and genotype. **J. Cereal Sci.**, v. 52, p. 90-95, 2010.

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, 1997.

NORONHA, Regina Lúcia F. de; DELIZA, Rosires; SILVA, Maria Aparecida A. P. da. A expectativa do consumidor e seus efeitos na avaliação sensorial e aceitação de produtos alimentícios. **Alim. Nutr.**, Araraquara. v.16, n.3, p. 299-308, 2005.

ODENIGBO, A.; NGADI, M.; EJEBO, C.; NWANKPA, C.; DANBABA, N.; NDINDENG, S.; MANFUL, J. Study on the gelatinization properties and amylose content of rice varieties from Nigeria and Cameroun. **International Journal of Nutrition and Food Sciences**, v. 2, n. 4, p. 181-186, 2013.

OHISHI, K.; KASAI, M.; SHIMADA, A.; HATAE, K. Effect of acetic acid added to cooking water on the dissolution of proteins and activation of protease in rice. **J. Agric. Food Chem.**, v. 51, n. 14, p. 4054-4059, 2003.

OHNO, T., & OHISA, N. Studies on textural and chemical changes in aged rice grains. **Food Science and Technology Research**, v. 11, p. 385–389, 2005.

OHNO, T.; TOMATSU, M.; TOEDA, K.; OHISA, N. Texture of cooked rice prepared from aged rice and its improvement by reducing agent. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, Japan: ISBA, v.71, n. 12, p. 2912-2920, 2007.

OHNO, Toshihisa; KANEKO, Takahiro; OHISA, Naganori. The role of proteins in textural changes in aged rice. **Akita Research Institute of Food and Brewing**. Japan, p. 318-320, 2004.

OKADOME, H.; KURIHARA, M.; KUSUDA, O.; TOYOSHIMA, H.; KIM, J.; SHIMOTSUBO, K.; MATSUDA, T.; OHTUBO, K. Multiple measurements of physical properties of cooked grains with different nitrogenous fertilizers. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 68, p. 211-216, 1999.

ONG, H. & BLANSHARD, J. M. V. Texture determination of cooked, parboiled rice. II: Physicochemical properties and leaching behavior of rice. **J. Cereal Sci.**, v. 21, p. 261–269, 1995.

PAIVA, F. F. **Efeitos da pressão e do tempo de autoclavagem na parboilização sob a qualidade dos grãos e a fração lipídica do arroz**. 2011. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

PARK, C.-E.; KIM, Y.-S.; PARK, K.-J.; KIM, B.-K. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, v. 48, p. 25–29, 2012.

PATINDOL, J.; GONZALEZ, B.; WANG, Y. J.; MCCLUNG, A. Starch fine structure and physicochemical properties of specialty rice for canning. **J. Cereal Sci.**, v. 45, p. 209–218, 2007.

PATINDOL, James; GU, Xiaofang; WANG, Ya-Jane. Chemometric analysis of cooked rice texture in relation to starch fine structure and leaching characteristics. **Starch/Stärke**, v. 62, p.188–197, 2010.

PATINDOL, James; WANG, Ya-Jane; JANE, Jay-lin. Structure-functionality changes in starch following rough rice storage. **Starch/Stärke**, v. 57 p.197–207, 2005.

PEREIRA, J. A. & RANGEL, P. H. N. Produtividade e qualidade de grãos de arroz irrigado no Piauí. **Ciência Agrotecnologia**, v. 25, n. 3, p. 569-575, 2001.

PÉREZ, C.M. & JULIANO, B.O. Texture changes and storage of rice. **J. Texture studies**, v.12, p. 321-333, 1981.

PÉREZ, S. & BERTOFT, E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: a comprehensive review. **Starch/Stärke**, v. 62, n. 8, p. 389–420, 2010.

- PERONI, F.H.G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003.118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de alimentos) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto.
- PITOMBEIRA, J.B. **Cultura do Arroz**. Universidade Federal do Ceará. Notas de Aula - Grandes Culturas I. Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, p. 32-52, 2006.
- QUEIROZ, Maria I.; TREPTOW, Rosa O. **Análise sensorial para a avaliação da qualidade dos alimentos**. Rio Grande: Ed. da FURG, 2006. 268 p.
- RADHIKA REDDY, K.; SUBRAMANIAN, R.; ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, K. R. Viscoelastic properties of rice-flour pastes and their relationship to amylose content and rice quality. **Cereal Chem.**, v. 71, p. 548-552, 1994.
- RAMESH, M.; BHATTACHARYA, K.R.; MITCHELL, J.R. Developments in understanding the basis of cooked-rice texture. **Food Sci. Nutr.**, v. 40, n. 6, p. 449-460, 2000.
- RAMESH, M.; ZAKI UDDIN ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, K. R. Structure of rice starch and its relation to cooked-rice texture. **Carbohydr. Polym.**, v. 38, p. 337-347. 1999.
- REED, Michael O.; AI, Yongfeng; LEUTCHER, Josh L.; JANE, Jay-lin. Effects of cooking methods and starch structures on starch hydrolysis rates of rice. **Journal of Food Science**, v. 00, n. 0, p. H1-H6, 2013.
- 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. da. **Parâmetros industriais e tecnológicos do arroz na seca-aeração e no armazenamento**. 2010. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas.
- ROOHINEJAD, SHAHIN; MIRHOSSEINI, H.; SAARI, N.; MUSTAFA, S. et al. Evaluation of GABA, crude protein and amino acid composition from different varieties of Malaysian's brown rice. **Australian Journal of Crop Science**, v. 3, n. 4, p. 184-190, 2009.
- RUIZ, Walter Augusto. Inovação e diversificação de produtos na indústria de arroz. In: ELIAS, M. C. et al. (Eds.). Parte IV – Industrialização de arroz. **Qualidade de arroz na pós-colheita: Ciência, Tecnologia e Normas**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2010. 905p. Cap. 10, p. 299 - 405.
- RUPOLLO, Galileu. **Efeitos das condições e do tempo de armazenamento na qualidade de grãos de feijão carioca**. 2011.75f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas.
- RUTZ, Daniel. **Efeitos da temperatura e do tempo de armazenamento do trigo sobre parâmetros de avaliação da qualidade dos grãos e das farinhas**. 2012. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas.
- SAIKUSA, T. et al. Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.42, p.1122-1125, 1994.

SALEH, M.I. & MEULLENET, J. F. Effect of long-grain rice degree of milling, moisture uptake, and solids leach during cooking on rice textural properties. In: WELLS, B.R. (Ed.). Rice quality and processing. **Rice Research Studies 2007**. Arkansas Agricultural Experiment Station. 2007. 287p., p. 251-260.

SANDHU, K. S.; SINGH, N.; LIM, S. T. A comparison of native and acid-thinned normal and waxy corn starches: physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. **LWT-Swiss Soc. Food Sci. Tech.**, v. 40, p. 1527–1536, 2007.

SANTOS, Adriana Pereira dos. **Extração e caracterização do amido do fruto-do-lobo (*Solanum lycocarpum* St. Hil.) e elaboração de filmes biodegradáveis**. 2009, 92f. Dissertação (Mestrado em Ciências Moleculares) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.

SANTOS, C. de O. **Aproveitamento industrial de “mel” de cacau (*Theobroma cacao* L.) na produção de geléia sem adição de açúcar**. 2012. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SANTOS, T. P. B. ; Caliari, M. ; EIFERT, E. C. ; BASSINELLO, P. Z. . Efeito dos grãos gessados nos teores de amilose e propriedades de pasta do arroz. Apresentação. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO PROEC-38. 8. 2011.

SARWAR, G.; BOTTING, H.; PEACE, R. Amino acid rating for evaluating protein adequacy of infant formulas. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 72, n. 4, p. 622-626, 1989.

SCHEUER, P. M. **Caracterização de cultivares brasileiras de trigo com indicação de aplicabilidade tecnológica**. 2009. 109f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SCHIAVON, R. de A. **Efeitos do método de secagem sobre a qualidade e o desempenho industrial de grãos de arroz armazenados em ambiente controlado com temperatura reduzida**. 2010. 72f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas.

SCHIAVON, R. de A. **Efeitos do resfriamento artificial no armazenamento sobre parâmetros de avaliação de qualidade industrial de grãos de arroz**. 2012. 93f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas.

SCHIAVON, R. de A.; OLIVEIRA, M. de; BESKOW, P. S.; ELIAS, M.C. . Normatização e avaliação da qualidade de grãos de arroz. In: ELIAS, M. C. et al. (Eds.). Parte I - Aspectos analíticos e normativos da armazenagem e da qualidade de grãos de arroz. **Qualidade de arroz na pós-colheita: Ciência, Tecnologia e Normas**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2010. 905p. Cap. 2, p. 73- 173.

SILVA, Graziela de Oliveira et al. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 26, n.1. Campinas, 2006.

SILVA, P. L. et al. Caracterização físico-química e reológica dos amidos de inhame (*Dioscorea* sp), araruta (*Maranta arundinacea*), cará (*Dioscorea alata*), jalapa (*Operculina macrocarpa* L. Urban) e feijão verde (*Phaseolus vulgaris* sp.). In:



CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 47. Natal, 17 a 21 de setembro de 2007. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2007/trabalhos/10/10-357-564.htm>> Acesso: Junho 2013.

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, 15. e ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 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: 29 agosto de 2013.

SILVA, Reginaldo Ferreira da; ASCHERI, Jose Luis Ramirez; PEREIRA, Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga. Composição centesimal e perfil de aminoácidos de arroz e pó de café. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v.18, n.3, p. 325-330, 2007.

SINGH, Arvinder & MATTA, Narender K. Disulphide linkages occur in many polypeptides of rice protein fractions: a two-dimensional gel electrophoretic study. **Rice Science**, v. 18, n. 2, p. 86-94, 2011.

SINGH, N. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v.81, n. 219-231, 2003.

SINGH, N.; KAUR, L., SODHI, N. S., SEKHON, K. S. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. **Food Chemistry**, v. 89, p. 253-259, 2005.

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, 2003.

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

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.

SOSULSKI, F.W. & IMAFIDON, G. I. Amino acid composition and nitrogen-to-protein conversion factors for animal and plant foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 38, n. 6, p. 1351-1356, 1990.

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, 2001.

SRIKAEAO, Khongsak & PANYA, Uttaphon. Efficiencies of chemical techniques for rice grain freshness analysis. **Rice Science**, v. 20, n. 4, p. 292-297, 2013.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**, 2ªed. East Lansing, Michigan State, USA: Freeman Press, 418p. 1996.

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

SUGIMOTO, T.; TANAKA, K.; KASAI, Z. Molecular species in the protein body II (PB-II) of developing rice endosperm. **Agric. Biol. Chem.**, v. 50, p. 3031-3035, 1986.

SUWANNAPORN, Prisana; PITIPHUNPONG, Sawidtree; CHAMPANGERN, Sirirat. Classification of rice amylose content by discriminant analysis of physicochemical properties. **Starch/Stärke**, v. 59, p. 171–177, 2007.

SZCZESNIAK, A. S. Classification of texture characteristics. **Journal of Food Science**, v. 28, p. 385-409, 1963.

TAKEDA, Y.; HIZUKURI, S.; TAKEDA, C.; SUZUKI, A. Structures of branched molecules of amyloses of various origins, and molar fractions of branched and unbranched molecules. **Carbohydrate Research**, v. 65, n.1, p. 139-145, 1987.

TAKEDA, Y.; TOMOOKA, S.; HIZUKURI, S. Structures of branched and linear molecules of rice amylose. **Carbohydrate Research**, v. 246, p. 267–272, 1993.

TAKEDA, Y.; HIZUKURI, S.; JULIANO, B. O. Purification and structure of amylose from rice starch. **Carbohydrate Research**, v. 148, p. 299–308, 1986.

TAMAKI, M.; EBATA, M.; TASHIRO, T.; ISHIKAWA, M. Physico-ecological studies on quality formation of rice kernel. II. Changes in quality of rice kernel during grain development. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 58, p. 659-663, 1989.

TAN, Y. F. et al. The three important traits for cooking and eating quality of rice grains are controlled by a single locus in an elite rice hybrid, Shanyou 63. **Theory Applied Genetic**, Springer-Verlag, v. 99, p. 642-648, 1999.

TANANUWONG, Kanitha & MALILA, Yuwares. Changes in physicochemical properties of organic hulled rice during storage under different conditions. **Food Chemistry**, v. 125, p. 179–185, 2011.

TAVARES, Alice Fontelles da Silva; ROMBALDI, César Valmor; ELIAS, Moacir Cardoso. Efeitos do grau de polimento nas dimensões dos grãos e no perfil protéico do arroz. Sementes e Agroindústrias, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM e SOSBAI, 2013. p. 667-670.

TECHAWIPHARAT, J.; SUPHANTHARIKA, M.; BEMILLER, J.N. Effects of cellulose derivatives and carrageenans on the pasting, paste, and gel properties of rice starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 73, n. 3, p. 417-426, 2008.

TEO, C.H.; KARIM, A. ABD.; CHEAH, P.B.; NORZIAH, M.H.; SEOW, C.C. On the roles of protein and starch in the ageing of non-waxy rice flour. **Food Chem.**, v. 69, p. 229–236, 2000.

THOMAS, D.J. & ATWELL, W.A. **Starches: practical guides for the food industry**. Minnesota: Eagan Press Handbook Series, 1999. 94p.

TORIYAMA, K.; HEONG, K.L.; HARDY, B. **Rice is life: Scientific Perspective for the 21<sup>st</sup> Century**. Filipinas: International Rice Research Institute, 2005. 590p.

TSAI, M.L.; LI, C.F.; LII, C.Y. Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches. **Cereal Chemistry**, v.74, n.6, p. 750-757, 1997.

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, 1983.

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

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **USDA Nutrient Database for Standard Reference – Rice bran, crude, Release 26, 2013.** (2013a). Disponível em: <<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/6402?fg=Cereal+Grains+and+Pasta&man=&facet=&count=&max=25&sort=&qlookup=&offset=50&format=Full&new=&measureby=>>>. Acesso em: Set. 2013.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **USDA Nutrient Database for Standard Reference - Rice, brown, long-grain, raw, Release 26, 2013.** (2013b). Disponível em: <<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/6384?fg=Cereal+Grains+and+Pasta&man=&facet=&count=&max=25&sort=&qlookup=&offset=25&format=Full&new=&measureby=>>>. Acesso em: Set. 2013.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **USDA Nutrient Database for Standard Reference - Rice, white, long-grain, parboiled, enriched, dry, Release 26, 2013.** (2013c). Disponível em: <<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/6391?fg=Cereal+Grains+and+Pasta&man=&facet=&count=&max=25&sort=&qlookup=&offset=25&format=Full&new=&measureby=>>>. Acesso em: Set. 2013.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **USDA Nutrient Database for Standard Reference - Rice, white, long-grain, regular, raw, enriched, Release 26, 2013.** (2013d). Disponível em: <<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/6389?fg=Cereal+Grains+and+Pasta&man=&facet=&count=&max=25&sort=&qlookup=&offset=25&format=Full&new=&measureby=>>>. Acesso em: Set. 2013.

VAMADEVAN, V., BERTOFT, E., & SEETHARAMAN, K. On the importance of organization of glucan chains on thermal properties of starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, n. 2, p. 1653-1659, 2013.

VAMADEVAN, Varatharajan. **Organization of glucan chains in starch granules as revealed by hydrothermal treatment.** 2013. 182f. Tese (Doutorado em Food Science) - University of Guelph, Canada.

VIDAL, A., BEZUS, R., PINCIROLI, M., SANTIAGO, M.. Aporte de genotipos de arroz que combinan niveles diferenciales de proteína y amilosa a la calidad industrial y culinária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, SEMENTES E AGROINDÚSTRIA, 4., 2005, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: Orium, p.314-316. 2005.

VIEIRA, N. R. A. & RABELO, R. R. Qualidade tecnológica. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil.** 2ªed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006, p. 869-900.

VIEIRA, N. R. de A. & CARVALHO, J. L. V. Qualidade tecnológica. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E. P. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 583-604.

VILPOUX, O. F. & CEREDA, M. P. Processamento de raízes e tubérculos para uso culinário minimamente processadas, pré-cozidas, congeladas e fritas (french-fries). In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. (Coord.). **Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas.** São Paulo: Fundação Cargill, 2003, 711p. Volume 3, p. 81-131.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p.1184-1192, 2008.

- WANG, H.F.; TSAI, Y. S.; LIN, M. L.; OU, A. S.-M. Comparison of bioactive components in GABA tea and green tea produced in Taiwan. **Food Chem.**, v. 96, n.4, p. 648-653, 2006.
- WANG, L.; XIE, B.; SHI, J.; XUE, S.; DENG, Q.; WEI, Y.; TIAN, B. Physicochemical properties and structure of starches from chinese rice cultivars. **Food Hydrocolloids**, v. 24, p. 208-216. 2010.
- WANG, Ya-Jane; KUO, Meng-I; WANG, Linfeng; PATINDOL, James. Chemical composition and structure of granule periphery and envelope remnant of rice starches as revealed by chemical surface gelatinization. **Starch/Stärke**, v. 59, p.445–453, 2007.
- WANG, Zhong; GU, Yun-Jie; HIRASAWA, Tadashi; OOKAWA, Taiichiro; YANAHARA, Satogo. Comparison of Caryopsis Development Between Two Rice Varieties with Remarkable Difference in Grain Weights. **Acta Botanica Sinica**, v. 46, n. 6, p. 698-710, 2004.
- WANI, Ali Abas; SINGH, Preeti; SHAH, Manzoor et al. Rice starch diversity: effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties - a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, p. 417-436, 2012.
- WATTS, B. M.; YLIMAKI, G. L.; JEFFERY, L. E.; ELIAS, L. G. **Sensory methods for food evaluation**. Canadá: International development research center, 1989,155p.
- WHITE, J.; HART, R.; FRY, J. An evaluation of the Waters Pico-Tag system for the amino-acid analysis of food materials. **Journal of Automatic Chemistry: Journal of Clinical Laboratory Automation**, v. 8, n. 4, p. 170-177, 1986.
- WICKRAMASINGHE, H. & NODA, T. Physicochemical properties of starches from Sri Lankan rice varieties. **Food Science Technology Research**, v. 14, n. 1, p. 49-54, 2008.
- WILLIAMS, V. R.; WU, W.-T.; TSAI, H. Y.; BATES, H. G. Rice starch, varietal differences in amylose content of rice starch. **J. Agric. Food Chem.**, v. 6, p. 47-48, 1958.
- WU, J. G.; SHI, C.; ZHANG, X. Estimating the amino acid composition in milled rice by near-infrared reflectance spectroscopy. **Field Crops Research**, v. 75, n. 1, p. 1-7; 2002.
- WU, Yue; CHEN, Zhengxing; LI, Xiaoxuan; WANG, Zhenjong. Retrogradation properties of high amylose rice flour and rice starch by physical modification. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 3, p. 492-497, 2010.
- XIE, L.; CHEN, N.; DUAN, B.; ZHU, Z.; LIAO, X. Impact of proteins and cooking properties of waxy and non-waxy rice. **J. Cereal Sci.**, v. 47, p. 372-379, 2008.
- YOON, Mi-Ra et al. A study on the lipid components of rice in relation to palatability and storage. **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry**, v.55, n. 4, p. 515-521, 2012.
- YU, L. & CHRISTIE, G. Measurement of thermal transitions using differential scanningcalorimetry. **Carbohydrate Polymers**, v. 46, n. 2, p. 179-184, 2001.
- ZAMAN, F.U. et al. Improving grain quality in hybrid rice, In: VIRMANI, S. S.; MAO, C. X.; HARDY, B. (Eds.). **Hybrid rice for food security, poverty alleviation, and environmental protection**. IRRI, p. 69-82, 2003. Disponível em: <<http://www.irri.org/science/abstracts/023.asp>>. Acesso em: Nov. 2009.

ZANÃO, C. F. P. **Efeito da irradiação gama nas características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) e no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L.** 2007. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba.

ZANÃO, C. F. P.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. C.; PIVA, C. P.; ARTHUR, V.; SARMENTO, S. B. S. Avaliação das características nutricionais do arroz comum (*Oryza Sativa* L.) irradiado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ (2.) e REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ (8.), 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: RENAPA, 2006. 456p.

ZAVAREZE, Elessandra da Rosa. **Extração e tratamentos hidrotérmicos de amido de arroz.** 2009. 118f Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas.

ZHANG, B.; RONG, Z. Q.; SHI, Y.; WU, J. G.; SHI, C. H. Prediction of the amino acid composition in brown rice using different sample status by near-infrared reflectance spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 127, p. 275–281, 2011.

ZHAO, Weiguo; PARK, Eun-Jin; CHUNG, Jong-Wook et al. Association analysis of rice amino acid contents. **J. Integr. Plant. Biol.**, v. 51, n. 12, p. 1126-1137, 2009.

ZHOU, Z. K.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S. & BLANCHARD, C. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, v. 35, p. 65–78, 2002. (2002b).

ZHOU, Z. K.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S. & BLANCHARD, C. Effect of storage temperature on cooking behaviour of rice. **Food Chemistry**, v.105, p. 491-497, 2007.

ZHOU, Z. K.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S. & BLANCHARD, C. Rice ageing: Effect of changes in protein on starch behaviour. **Starch/Starke**, v. 55, p. 162–169, 2003. (2003b).

ZHOU, Z.; BLANCHARD, C.; HELLIWELL, S.; ROBARDS, K. Fatty acid composition of three rice varieties following storage. **Journal of Cereal Science**, v. 37, n. 3, p.327-335, 2003. (2003a).

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S., & BLANCHARD, C. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 849-868, 2002. (2002a).

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Effect or rice storage on pasting properties of rice flour. **Food Research International**, v. 36, p. 625-634, 2003. (2003c).

ZHOU, Zhongkai; ROBARDS, Kevin; HELLIWELL, Stuart; BLANCHARD, Chris. Effect of storage temperature on rice thermal properties. **Food Research International**, v. 43, n. 3, p. 709-715, 2010.

ZHU, H. J.; CHENG, F. M.; WANG, F.; ZHONG, L. J.; ZHAO, N. C.; LIU, Z. H. Difference in amylose content variation of rice grains and its position distribution within a panicle between two panicle types of japonica cultivars. **Chinese J. Rice Sci.**, v. 18, n. 4, p. 321–325, 2004.

ZHU, L. J.; LIU, Q. Q.; WILSON, J. D.; GU, M. M.; SHI, Y. C. Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, p.1751–1759, 2011.