

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos



Tese

Influência da secagem e da temperagem na transição vítrea e nas características industriais e de consumo de grãos de arroz

Geverson Lessa dos Santos

Pelotas, 2019.

Geverson Lessa dos Santos

Influência da secagem e da temperagem na transição vítrea e nas características industriais e de consumo de grãos de arroz

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

Orientador: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Coorientadores: Prof. Dr. Ricardo Scherer Pohndorf

Prof. Dr. Maurício de Oliveira

Pelotas, 2019.

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S237i Santos, Geverson Lessa dos

Influência da secagem e da temperagem na transição vítrea e nas características industriais e de consumo de grãos de arroz / Geverson Lessa dos Santos ; Moacir Cardoso Elias, orientador ; Ricardo Scherer Pohndorf, Maurício de Oliveira, coorientadores. — Pelotas, 2019.

80 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Secagem. 2. Temperagem. 3. Qualidade. 4. *Oryza sativa* L.. I. Elias, Moacir Cardoso, orient. II. Pohndorf, Ricardo Scherer, coorient. III. Oliveira, Maurício de, coorient. IV. Título.

CDD : 633.18

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Geverson Lessa dos Santos

Influência da secagem e da temperagem na transição vítrea e nas características industriais e de consumo de grãos de arroz

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 20/02/2019

Banca examinadora:

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias (Orientador) Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Fabrício da Fonseca Barbosa Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Francisco Amaral Villela Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Marcelo Zafalon Peter Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas

Pesq. Dr. Wilner Brod Peres Doutor em Ciência e Tecnologia de sementes pela Universidade Federal de Pelotas

Dedico este trabalho ao meu pai Gilberto (*in memoriam*), à minha esposa Caroline e aos meus filhos Gabriel e Emanuel, por todo amor recebido ao longo do tempo.

Agradecimentos

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pelos vários ensinamentos e auxílios prestados.

Aos funcionários, pesquisadores, bolsistas e estagiários do Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, pela ajuda.

Aos meus colegas extensionistas rurais da Emater/RS-Ascar Anderson André Silveira Rotuno, Edson Reis do Nascimento, Marcos Danilo Schelin Protzen, Renato Cougo dos Santos e Ricardo Ramos Martins, pelo apoio cotidiano.

Aos competentes professores Maurício de Oliveira e Ricardo Scherer Pohndorf, pela orientação repleta de atenção, conhecimento, simplicidade e paciência. Que Deus abençoe vocês e suas respectivas famílias.

Ao professor Moacir Cardoso Elias, pela orientação repleta de conhecimentos humanos além dos científicos, pelo estímulo e incentivo diário, pela educação ímpar, pela generosidade própria e pela amizade sempre demonstrada. Que Deus sempre esteja contigo e com seus familiares.

A toda minha família, principalmente à minha querida mãe, Maria de Lourdes Lessa dos Santos, aos meus irmãos e às minhas irmãs, por todo o apoio, fraternidade e carinho recebido ao longo de todos esses anos. Em especial, e com muita saudade, ao meu querido pai, Gilberto Prestes dos Santos (*in memoriam*), por tudo que tenho e por tudo que sou.

Aos meus adorados filhos, Gabriel Velloso dos Santos e Emanuel Velloso dos Santos, e a minha eterna companheira e amada esposa, Caroline Crochemore Velloso. Obrigado pela paz e pelo amor que vocês todos os dias trazem à minha vida.

Enfim, acima de tudo, agradeço muito a Deus, o Doutor Supremo, que Ele continue iluminando a minha vida, cuidando de minha família e abençoando a todos nós.

Resumo

SANTOS, Geverson Lessa dos. **Influência da secagem e da temperagem na transição vítrea e nas características industriais e de consumo de grãos de arroz**. 2019. 80 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

O processo de secagem é essencial para o armazenamento adequado do arroz, no entanto, o uso de temperaturas elevadas, apesar de acelerar o processo, afeta a qualidade dos grãos. A etapa de temperagem com isolamento térmico e hídrico, realizada imediatamente após a secagem, pode reduzir alguns destes danos. O objetivo neste trabalho foi verificar a influência da temperatura de secagem e da duração de temperagem na transição vítrea e na qualidade de grãos de arroz armazenados. Durante o primeiro, o quarto, o oitavo e o décimo segundo mês de armazenamento verificou-se a característica biológica, pela germinação de grãos de arroz em casca, as características industriais, pela percentagem de grãos com fissuras, de grãos inteiros, de grãos com defeitos e pelo perfil branquimétrico (grau de brancura e de transparência) do arroz beneficiado pelo processo convencional, e as características de consumo, pela avaliação dos parâmetros de cocção (tempo de cocção, rendimento volumétrico e rendimento gravimétrico) e dos atributos sensoriais (“odor”, “sabor”, “soltabilidade” e “firmeza”). Os resultados indicaram que a implantação da etapa de temperagem com isolamento térmico e hídrico e duração de 120 min e 240 min, realizada imediatamente após as secagens com temperaturas de 40°C e 55°C, atenuou os efeitos prejudiciais causados nas características biológica e industriais dos grãos, sendo que o tratamento com secagem de 40°C e temperagem de 240 min proporcionou percentuais de germinação, de grãos com fissuras, de grãos inteiros sem defeitos e perfil branquiométrico sem diferenças significativas em relação à secagem com temperatura de 25°C, ao longo do tempo de armazenamento testado. A temperatura de secagem tem efeito significativo sobre a transição vítrea e nas características biológica e industriais dos grãos, de modo que o seu acréscimo promove aumento na velocidade de secagem e na percentagem de grãos com fissuras e redução nos percentuais de germinação e de grãos inteiros (com e sem defeitos). Nas características de consumo, a ampliação da temperatura de secagem reduziu significativamente o tempo de cocção do arroz cozido, e nos atributos sensoriais, o “odor” e o “sabor” não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos testados. No atributo “soltabilidade”, os tratamentos com temperaturas de secagem de 40°C e 55°C sem temperagem, promoveram no primeiro mês de armazenamento “grãos grudados”, prejudicando a característica original desse tipo de arroz, sendo que a implantação da temperagem de 240 min proporcionou “grãos regularmente soltos”. No caso do atributo “firmeza”, a elevação da temperatura de secagem, no primeiro mês de armazenamento, interferiu positivamente nos resultados, passando de “grãos moles”, no caso da secagem com temperatura de 25°C, para “grãos macios firmes” nas secagens com temperaturas de 40°C e 55°C.

Palavra-chave: secagem; temperagem; qualidade; *Oryza sativa* L.

Abstract

SANTOS, Geverson Lessa dos. **Influence of drying and of tempering in the glass transition and in the industrial and consumption characteristics of rice grains.** 2019. 80 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

The drying process is essential for adequate storage of the rice, however, the use of high temperatures, despite accelerating the process, affects the quality of the grains. The tempering step (with thermal and water insulation), performed immediately after drying, may reduce some of these damages. The objective of this work was to verify the influence of drying temperature and the duration of tempering on the glass transition and the quality of stored rice grains. During the first, fourth, eighth and twelfth month of storage the biological characteristic was verified by the germination of paddy rice grains, the industrial characteristics, the percentage of fissured grains, head rice yield (HRY), grains with defects and degrees of whiteness and transparency of the rice benefited by the conventional process, and the consumption characteristics, by the evaluation of the cooking parameters (cooking time, volumetric yield and gravimetric yield) and sensorial attributes (“odor”, “flavor”, “soltability” and “firmness”). The results indicated that the implantation of the tempering, with thermal and water insulation, of 120 min and 240 min, performed immediately after drying at temperatures of 40°C and 55°C, attenuated the harmful effects caused on biological and industrial characteristics of the grains, and the treatment with drying 40°C and tempering at 240 min provided percentages of germination, fissured grains, head rice yield (HRY) without defects and branquimetric profile without significant differences in relation to the drying at 25°C over the storage time tested. The drying temperature has a significant effect on the glass transition and on the biological and industrial characteristics of the grains, so that their increase promotes an increase in the drying speed and the percentage of fissured grains and a reduction in the percentages of germination and the head rice yield (with and without defects). In the consumption characteristics, the increase of the drying temperature significantly reduced the cooking time of the cooked rice, and in the sensorial attributes, the “odor” and the “flavor” did not present significant differences between the tested treatments. In the “soltability” attribute, the treatments with drying temperatures of 40°C and 55°C without tempering, promoted in the first month of storage "grains glued", damaging the original characteristic of this type of rice, being that the implantation of the tempering of 240 min provided "grains regularly loose". In the case of the “firmness” attribute, the elevation of the drying temperature in the first month of storage interfered positively in the results, from "soft grains", in the case of drying with a temperature of 25°C, for "firm soft grains" in drying with temperatures of 40°C and 55°C.

Keyword: drying; tempering; quality; *Oryza sativa* L.

Lista de Figuras

Figura 01	Fluxograma de tratamentos e avaliações do experimento.	34
Figura 02	Ficha para avaliação de odor, sabor, soltabilidade e firmeza do arroz cozido, com escala não estruturada.	42
Figura 03	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar ambiente (T_{bsamb} e UR_{amb}) e do ar de saída do secador ($T_{bssaida}$ e UR_{saida}), no decorrer de secagem com temperatura de 25°C. Resultados de três repetições.	44
Figura 04	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar de secagem (T_{bssec} e UR_{sec}) e temperatura e umidade (b.u.) da massa de grãos (T_{mg} e U_{mg}), no decorrer de secagem com temperatura de 25°C. Resultados de três repetições.	45
Figura 05	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar ambiente (T_{bsamb} e UR_{amb}) e do ar de saída do secador ($T_{bssaida}$ e UR_{saida}), no decorrer de secagem com temperatura de 40°C. Resultados de três repetições.	46
Figura 06	Temperatura de bulbo seco e umidade relativas do ar de secagem (T_{bssec} e UR_{sec}) e temperatura e umidade (b.u.) da massa de grãos (T_{mg} e U_{mg}), no decorrer de secagem com temperatura de 40°C. Resultados de três repetições.	47
Figura 07	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar ambiente (T_{bsamb} e UR_{amb}) e do ar de saída do secador ($T_{bssaida}$ e UR_{saida}), no decorrer de secagem com temperatura de 55°C. Resultados de três repetições.	48
Figura 08	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar de secagem (T_{bssec} e UR_{sec}) e temperatura e umidade (b.u.) da massa de grãos (T_{mg} e U_{mg}), no decorrer de secagem com temperatura de 55°C. Resultados de três repetições.	49
Figura 09	Comparação entre curva de transição vítrea (T_g) do arroz em casca cultivar “Bengal” e curvas elaboradas pela relação entre as temperaturas da massa de grãos e suas respectivas umidades, das secagens de 25°C, 40°C e 55°C. Resultados de três repetições por tratamento.	51

Lista de Tabelas

- Tabela 01 Umidade inicial (antes da secagem) e final (após a estabilização), de grãos de arroz em casca, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem. 52
- Tabela 02 Umidade de grãos de arroz em casca, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento. 53
- Tabela 03 Germinação de grãos de arroz em casca, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento. 54
- Tabela 04 Percentagem de grãos de arroz com fissuras, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento. 56
- Tabela 05 Rendimento de grãos de arroz inteiros com defeitos, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento. 58
- Tabela 06 Percentagem de grãos de arroz com defeitos totais, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento. 60
- Tabela 07 Rendimento de grãos de arroz inteiros sem defeitos, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento. 62
- Tabela 08 Graus de brancura de grãos de arroz inteiros sem defeitos, beneficiados pelo processo convencional, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento. 64
- Tabela 09 Graus de transparência de grãos de arroz inteiros sem defeitos, beneficiados pelo processo convencional, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento. 64

Tabela 10	Tempo de cocção de grãos de arroz inteiros sem defeitos, beneficiados pelo processo convencional, sob diferentes temperaturas de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento.	66
Tabela 11	Rendimento volumetrico de grãos de arroz inteiros sem defeitos, beneficiados pelo processo convencional, sob diferentes temperaturas de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento.	67
Tabela 12	Rendimento gravimetrico de grãos de arroz inteiros sem defeitos, beneficiados pelo processo convencional, sob diferentes temperaturas de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento.	68
Tabela 13	Odor de grãos inteiros de arroz sem defeitos cozidos, beneficiados pelo processo convencional (branco polido), classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL [®] , sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento.	69
Tabela 14	Sabor de grãos inteiros de arroz sem defeitos cozidos, beneficiados pelo processo convencional (branco polido), classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL [®] , sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento.	69
Tabela 15	Soltabilidade de grãos inteiros de arroz sem defeitos cozidos, beneficiados pelo processo convencional (branco polido), classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL [®] , sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento.	70
Tabela 16	Firmeza de grãos inteiros de arroz sem defeitos cozidos, beneficiados pelo processo convencional (branco polido), classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL [®] , sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento.	71

Sumário

1	Introdução	14
2	Revisão de Literatura	16
2.1	Importância e produção do arroz	16
2.2	Composição de grãos de arroz	16
2.3	Secagem e temperagem de grãos de arroz.....	19
2.4	Transição vítrea	21
2.5	Armazenamento e qualidade de consumo do arroz	27
3	Material e Métodos	30
3.1	Material experimental	30
3.2	Metodologia	30
3.3	Avaliações	35
3.3.1	Umidade	35
3.3.2	Característica biológica	35
3.3.2.1	Germinação	35
3.3.3	Características industriais	35
3.3.3.1	Grãos com fissuras (fissurados)	35
3.3.3.2	Beneficiamento dos grãos	36
3.3.3.3	Perfil branquimétrico	37
3.3.4	Características de consumo	37
3.3.4.1	Parâmetros de cocção	37
3.3.4.1.1	Tempo de cocção	37
3.3.4.1.2	Rendimento volumétrico e gravimétrico	38
3.3.4.2	Atributos sensoriais	40
3.3.5	Análise estatística	41
4	Resultado e discussão	43
4.1	Parâmetros operacionais das secagens.....	43
4.1.1	Variáveis psicrométricas, temperaturas e umidades	43
4.2	Comparação: Curvas das secagens e transição vítrea do arroz	51
4.3	Umidade dos grãos	52
4.4	Característica biológica	54
4.4.1	Germinação	54
4.5	Características industriais	55

4.5.1 Grãos com fissuras (fissurados)	55
4.5.2 Rendimento de grãos inteiros com defeitos	57
4.5.3 Defeitos totais	60
4.5.4 Rendimento de grãos inteiros sem defeitos	61
4.5.5 Perfil branquimétrico	63
4.6 Características de consumo	66
4.6.1 Parâmetros de cocção	66
4.6.1.1 Tempo de cocção	66
4.6.1.2 Rendimento volumétrico e Rendimento gravimétrico	67
4.6.2 Atributos sensoriais	68
5 Considerações Finais	72
Referências	73

1 Introdução

O arroz pertence à classe Monocotiledonea, família Poaceae, gênero *Oryza* e espécie *Oryza sativa* L. (VASCONSELLOS, 1963). Atualmente é uma das mais importantes culturas agrícolas e um dos principais produtos que compõe a cesta básica da alimentação humana, sendo considerada uma das principais fontes energéticas dentre os grãos e base da dieta brasileira (AMATO, 2017).

As variedades de arroz cultivadas no sul do Brasil, apesar de mais produtivas e de boa adaptabilidade ao ecossistema de produção empregado, geralmente são suscetíveis às condições operacionais e a fatores adversos do meio, podendo resultar em redução na qualidade do grão, com consequências no armazenamento, na industrialização e no consumo (ELIAS et al., 2015).

Sendo um grão de produção sazonal, atualmente o arroz tem na secagem o método de conservação mais viável e mais utilizado. Entretanto, em razão da suscetibilidade a quebras, o arroz exige cuidados especiais em relação aos métodos e às condições do manejo de secagem, sendo seu valor comercial variável principalmente em função do rendimento de grãos inteiros e dos defeitos de classificação (SANTOS, 2004).

Normalmente colhidos com umidades variando entre 20% a 26%, os grãos de arroz em casca estão sujeitos a taxas de respiração elevadas devido à atividade enzimática e ao desenvolvimento de fungos, prejudicando sua qualidade final, por isso devem ser secos até teores de umidade de 12 a 13% (base úmida - b.u.), proporcionando o armazenamento seguro logo após a colheita (DONG et al., 2010; ONDIER et al., 2010, ODEK et al., 2018). O processo de secagem, portanto, é essencial para o armazenamento adequado de arroz e para evitar a incidência de fungos e insetos, entretanto, a taxa de quebra durante a secagem pode representar uma perda significativa do grão colhido (MANSKI et al., 2005).

Como organismos vivos, os grãos respiram, possuem constituição química específica e estrutura interna porosa que lhes conferem características higroscópicas e de má condutibilidade térmica. Através dos espaços intersticiais da massa de grãos, durante o armazenamento, permanecem em constantes trocas de calor e umidade com o ar ambiente, até o limite de obtenção do equilíbrio higroscópico, num processo que se dá por sorção ou

dessorção de umidade, em função do diferencial de temperatura e de pressão de vapor de água, entre os grãos e a sua atmosfera intersticial (KUNZE e CHOUDHURY, 1972; ELIAS et al., 2015).

Durante a secagem de grãos de arroz em casca, caso os valores das propriedades térmicas e higroscópicas de porções da periferia e do interior do grão são suficientemente diferentes em magnitude, e a região amorfa que surge na periferia do grão aumenta uma porção suficiente em relação à região cristalina do seu interior, em seguida, ocorrerão fissuras na interface dessas duas porções. Além do cenário mencionado, fissuras também podem ocorrer durante a etapa de temperagem pós-secagem e resfriamento dos grãos, pois dependendo da temperatura à qual o grão está exposto imediatamente após a finalização da secagem, ou seja, durante a temperagem, uma porção suficiente da parte periférica do grão pode mudar rapidamente para o estado vítreo (transição vítrea) devido ao arrefecimento intragranular, enquanto o interior do grão pode continuar por mais tempo no estado amorfo e isso, conseqüentemente, faz com que a periferia e o interior do grão tenham diferentes magnitudes de propriedades dos materiais, podendo causar fissuras na interface dessas duas porções. Devido aos fatores citados, este trabalho tem por hipótese que o estudo do controle da temperatura de secagem e da condição e duração de temperagem são fundamentais para otimizar o processo e garantir a qualidade de grãos de arroz em casca.

O objetivo deste trabalho, portanto, foi verificar a influência da temperatura de secagem e da condição e duração de temperagem na transição vítrea e na qualidade de grãos de arroz armazenados. Para tal, durante o primeiro, o quarto, o oitavo e o décimo segundo mês de armazenamento, avaliou-se a característica biológica, pela germinação de grãos de arroz em casca, as características industriais, pela percentagem de grãos fissurados, de grãos inteiros, de grãos com defeitos e pelo perfil branquimétrico (grau de brancura e de transparência) do arroz beneficiado pelo processo convencional, e também as características de consumo, pela avaliação dos parâmetros de cocção (tempo de cocção, rendimento volumétrico e rendimento gravimétrico) e dos atributos sensoriais (odor, sabor, solubilidade e firmeza).

2 Revisão de Literatura

2.1 Importância e produção do arroz

Com a evolução de nômade a gregário, o Homem começou a separar os melhores grãos de cereais como semente, e com o início dessa seleção genética foi encontrada uma maneira de melhor garantir a sua manutenção e a dos seus. A tendência de aglomeração urbana fez dos cereais a melhor solução para a garantia da Segurança Alimentar e Nutricional Sustentável e o arroz cumpre com o aspecto dessa ampla definição por ter a proteína de mais alto valor biológico entre os cereais, ter baixo índice glicêmico, ter preço acessível, ser cultivado com boas práticas agrônômicas, ser objeto de contínuo aperfeiçoamento na indústria, ser hábito alimentar onipresente em todas as regiões e ser a principal fonte de carboidratos eleita pelos diversos climas do nosso país (AMATO, 2017).

Atualmente, em relação à produção mundial, o continente asiático é responsável por cerca de 90% da produção de arroz em casca, com destaque para a China, que responde por cerca de 30% dessa produção. Já na América Latina, o Brasil se destaca como sendo o país de maior produção, com valores, referente à estimativa da safra de 2018-2019 realizada pela Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, próximos a 11,21 milhões de toneladas. O Rio Grande do Sul, estado responsável pela maior parte da produção de arroz do País, apresenta na safra 2018-2019 valor estimado em 7,88 milhões de toneladas, respondendo por cerca de 70% da produção brasileira (CONAB, 2019).

2.2 Composição de grãos de arroz

No grão de arroz, a casca constitui em torno de 20% do peso do grão, sendo formada por duas folhas modificadas chamadas, pálea e lema, e constituída de celulose, lignina, pentoses e cinzas. Sendo 95% das cinzas, composta de sílica. Já o grão de arroz descascado ou esbramado está formado por pericarpo, tegumento e camadas de aleurona, gémem e endosperma, respectivamente, em torno de 2%, 5%, 2-3% e 89-94% (HOSENEY, 1991).

O endosperma do grão de arroz é majoritariamente constituído de grânulos de amido em forma de compostos poligonais. O amido constitui, juntamente com a celulose, uma das mais abundantes fontes de carboidratos. Ele é armazenado nas plantas na forma de grânulos e, as variações de tamanho, forma, associações e composição (umidade, glicosídeos, lipídeos, proteínas e minerais) são dependentes de sua origem botânica. Formado nos plastídeos das plantas superiores, o amido é sintetizado nas folhas, onde serve como carboidrato de reserva temporário, acumulando-se nos cloroplastos durante o dia e servindo como fonte principal para a síntese de sacarose citosólica durante a noite. Essa sacarose é então transportada para os órgãos de armazenamento das plantas, como sementes, frutos, tubérculos e raízes (MARTINEZ e CUEVAS, 1989).

No arroz processado, o amido, composto por grânulos de forma poliédrica, é o principal constituinte e corresponde a cerca de 90% do peso seco. Ele é facilmente hidrolizável e digerível, sendo um dos elementos básicos da alimentação humana. Em sua estrutura se encontra a mistura de dois polissacarídeos, amilose e amilopectina, cujas proporções variáveis influem na viscosidade, no poder de geleificação e em outras propriedades do amido. A amilose e a amilopectina apresentam diferentes estruturas e propriedades. A amilose é uma molécula, essencialmente linear, constituída por unidades de alfa-1,4-D-glicopirranose. A massa molar da amilose é na ordem de 10^5 a 10^6 g.mol⁻¹ e o seu grau de polimerização médio é de 324 a 4920. Já a amilopectina é uma molécula muito maior que a amilose com sua massa molar na ordem de 10^6 a 10^9 g.mol⁻¹ e grau de polimerização em torno de 80 a 130. Ela é o componente do amido mais ramificado e é formado por cadeias contendo ligações alfa 1,4, mas que apresentam ramificações (5 a 6%) através de ligações alfa 1,6. Estas ramificações possuem um comprimento de 20 a 25 cadeias (BOBBIO e BOBBIO, 1985).

A molécula da amilose contém em torno de 5000 unidades de dextrose. Já a amilopectina, maior constituinte do amido, é uma fração altamente ramificada, de aspecto arborescente, que contém em torno de 30.000 unidades de dextrose. Devido a essa diferença conformacional, amilose e amilopectina têm propriedades, características e aplicações distintas. A relação amilose/amilopectina depende da origem do amido e é em função dela que

existem diferenças nas características dos amidos provenientes de fontes vegetais distintas. Pequenas diferenças na razão amilose/amilopectina podem afetar as propriedades físicas do amido, a forma dos grânulos, a sua solubilidade e a conveniência em se adotar diferentes processos industriais (MARTINEZ e CUEVAS, 1989; TORO et al., 1990; DENYER et al., 1995).

Muitas propriedades da amilose podem ser explicadas pela sua habilidade em formar diferentes estruturas moleculares. A maioria das metodologias preconizadas para determinação desse tipo de amido baseia-se no fato de que, em soluções aquosas neutras, a estrutura normal de espiral possui a capacidade de interagir com iodo, produzindo complexo de inclusão helicoidal com aproximadamente seis moléculas de amilose por giro, no qual o iodo se encontra na cavidade central da hélice. Além disso, mudanças moleculares tornam possível a formação de complexos com moléculas de lipídios nas regiões superficiais do grânulo, o que inibe a degradação do amido por enzimas como fosforilase, alfa-amilase e beta-amilase. Outros complexos de inclusão helicoidal que podem ser formados com a amilose incluem alguns álcoois e ácidos orgânicos (TORO et al., 1990).

A cristalinidade do grânulo de amido se deve basicamente à molécula de amilopectina. A amilose, embora linear, não é responsável pela cristalinidade do amido, provavelmente devido ao fato de se conformar na forma de hélice, o que dificulta sua associação regular com outras cadeias. A presença dos grupos hidroxila acarreta uma natureza altamente hidrofílica ao amido. A insolubilidade do grânulo em água fria é devida às fortes ligações de hidrogênio que mantêm as cadeias de amido unidas. Entretanto, na presença de água e aquecimento, a água é incorporada na estrutura do grânulo e componentes mais solúveis como a amilose, se dissociam e difundem-se para fora do grânulo, processo conhecido como gelatinização. A temperatura de ocorrência desse processo denomina-se temperatura de gelatinização, a qual é também dependente da origem botânica do amido. Com a gelatinização, há um aumento da viscosidade do meio a qual atinge o seu máximo na temperatura de gelatinização, onde os grânulos são totalmente quebrados e as regiões cristalinas desaparecem (PENG et al., 2007).

A temperatura de gelatinização, conceitualmente, é a temperatura na qual no mínimo 90% dos grânulos de amido encontram-se gelatinizados ou

inchados irreversivelmente em água quente, podendo apresentar valores entre 55 e 79°C (dependendo da origem do amido), sendo uma propriedade do amido que está diretamente relacionada com o tempo necessário para o cozimento do arroz. Ao se aquecer o amido em presença de água, a elevação gradual da temperatura promove rupturas nas pontes de hidrogênio, incorporando moléculas de água entre as moléculas de amilose ou amilopectina. Essas moléculas de água passam a ocupar os espaços vazios no interior dos grânulos, provocando seu entumescimento até o rompimento. A temperatura durante a maturação dos grãos e a localidade onde a planta é cultivada, afeta a formação de amido e conseqüentemente influenciam a temperatura de gelatinização. Alta temperatura ambiente resulta em mais alta temperatura de gelatinização (GUIMARÃES, 1989).

A amilopectina é, estrutural e funcionalmente, a mais importante das duas frações, pois sozinha é suficiente para formar o grânulo, como ocorre em mutantes que são desprovidos de amilose. Quanto à amilose, acredita-se que ela esteja localizada entre as cadeias da amilopectina e aleatoriamente entremeada entre as regiões amorfas e cristalinas. A variação nos teores de amilose e amilopectina não afeta o valor nutritivo do arroz, mas influi grandemente nas qualidades culinárias, de tal forma que, quanto maior o teor de amilose, tanto mais secos e mais separados ficarão os grãos depois de cozidos. A amilose é parcialmente solúvel em água e menos estável em solução, já a amilopectina é solúvel e estável em soluções aquosas. O teor de amilose é o principal determinante das características culinárias do arroz, podendo variar até seis pontos percentuais devido à influência ambiental. Entre plantas de um mesmo cultivar esta diferença pode chegar a 2% e entre panículas de 3 a 7%. As temperaturas médias ocorridas durante o período de maturação dos grãos influenciam o teor de amilose; em alta faz com que o teor de amilose baixe e vice-versa (TORO et al., 1990).

2.3 Secagem e temperagem de grãos de arroz

O processo de secagem compreende basicamente a evaporação da água periférica, devido a um diferencial entre as pressões de vapor de água na superfície do grão e na atmosfera que o circunda e o transporte de água do interior para a superfície, forçado por um gradiente de pressão total e/ou por

um processo de difusão. No momento que o diferencial de pressão de vapor deixa de existir, ocorre o equilíbrio higroscópico dos grãos (LASSERAN, 1978).

Quanto maior for o diferencial entre as pressões de vapor do ar de secagem e da superfície do grão, maior será a evaporação da água periférica, que por sua vez amplia o gradiente de pressão total e da difusão. O aquecimento do ar de secagem possibilita ampliar o diferencial de pressão de vapor entre o ar e os grãos, o gradiente de pressão total e a difusão, permitindo ampliar a velocidade da secagem. No entanto, secagem rápida de arroz em casca, utilizando temperaturas elevadas, pode levar à fissura dos grãos e eventual quebra durante o beneficiamento (CNOSSEN e SIEBENMORGEN, 2000).

A água nos grãos pode ter movimento tanto de fora para dentro, quando estiverem diante de um processo de reumedecimento (sorção), como de dentro para fora, quando estiverem em processo de secagem (dessorção), dependendo da pressão do vapor de água do ar e do produto, originando o movimento das moléculas de água num ou noutro sentido, fenômeno denominado propriedade higroscópica dos grãos (ODEK al., 2018).

A quebra dos grãos ocorre principalmente durante os processos de descascamento e de brunimento, mas a maioria dos grãos quebrados durante o beneficiamento já apresentam fissuras anteriores ao processo (ODEK et al., 2018). Secadores comerciais usam modelos diferentes, variando a temperatura e o tempo de exposição dos grãos e do ar aquecido (BUALUANG et al., 2013).

As etapas de secagem e temperagem afetam a estrutura dos grãos de arroz, particularmente na formação de fissuras. Recomenda-se gerar gradientes mínimos de umidade entre o interior e a superfície do grão, alcançando taxas de secagem elevadas, mas cuidando-se para não causar danos significativos aos grãos. Diversos estudos visam entender a transição vítrea de arroz como maneira de otimizar os processos de secagem (CNOSSEN e SIEBENMORGEN, 2000; SIEBENMORGEN et al., 2004; DONG et al., 2010). A formação de fissuras é resultado da reação dos grãos de arroz quando submetidas a esforços de tração e compressão decorrentes de gradientes de umidades opostos (ODEK et al., 2018).

2.4 Transição vítrea

A transição vítrea é uma transição de fases que governa a passagem do estado cristalino para o estado amorfo. O cristal constitui o estado mais estável, possuindo a menor energia livre, ou seja, a menor energia disponível; caracteriza-se por suas partes componentes - átomos, moléculas ou íons - estarem arranjadas nas chamadas redes espaciais, sendo que as distâncias médias entre os átomos de um cristal de qualquer material concreto são praticamente constantes e características do mesmo. Não havendo a interferência de partículas estranhas, os cristais apresentam formas poliédricas definidas, com diversos graus de simetria como consequência do arranjo de seus átomos nas redes espaciais. Apesar do desenvolvimento relativo das diferentes faces de dois cristais de um mesmo material serem diferentes, os ângulos interfaciais das faces correspondentes de dois cristais são todos iguais e característicos dessa substância. Geometricamente, portanto, um cristal é um sólido limitado por planos. O processo de cristalização é constituído de duas etapas: a nucleação e o desenvolvimento do cristal. Na primeira ocorre uma condensação do material devido à colisão das partículas e na segunda verifica-se o aumento em tamanho do núcleo e a formação do cristal. Para ocorrer a nucleação e o crescimento do cristal, esse deverá superar o chamado tamanho crítico, que representa uma barreira de energia a ser superada pelo núcleo antes de se tornar estável. Já no estado amorfo a substância sólida carece de uma forma geométrica natural e de estrutura interna regular (SANTOS, 2004).

Greca e Netto Derbly (2003) explicam que polímeros são grandes moléculas geralmente constituídas de muitas unidades menores denominadas monômeros. O grau de polimerização refere-se ao número médio de unidades monoméricas por molécula do polímero. Existem polímeros naturais, como as proteínas, os amidos e os polipeptídios, e polímeros sintéticos, como o poliestireno e o polidimetilsiloxano. Os polímeros podem ser caracterizados de várias maneiras, a mais simples é a observação de seu comportamento ao aquecimento. Em baixa temperatura, o polímero pode apresentar estrutura regular, característica dos cristais; em alta temperatura, o polímero pode estar amorfo, com cadeias moleculares estáticas, mas não em um padrão regular. Utilizando-se técnicas calorimétricas adequadas, como a termogravimetria

(TGA - *Thermogravimetric Analysis*) ou a calorimetria de varredura diferencial (DSC - *Differential Scanning Calorimetry*) é possível, com considerável nível de confiança, identificar polímeros e/ou o seu estado, pois esses se degradam em temperaturas específicas (YAOQI et al., 2014).

A transição vítrea principalmente do amido, presente significativamente em grãos de arroz, pode acontecer durante a secagem e está diretamente relacionada com o rendimento de grãos inteiros e o percentual de grãos quebrados (BUGGENHOUT et al., 2014; YU et al, 2017; ODEK et al, 2018).

Diversos estudos (CNOSSEN e SIEBENMORGEN, 2000; CNOSSEN et al., 2003; SCHLUTERMAN e SIEBENMORGEN, 2007; ODEK et al, 2018) indicam que imediatamente após a secagem do arroz em casca, visando reduzir as tensões geradas no interior dos grãos, deve-se aplicar a etapa de temperagem, na qual os grãos são mantidos numa condição de não-secagem, possibilitando que gradientes de temperatura e umidade sofram reduções. Particular ênfase é dada na troca do estado do amido, ocorrendo próxima à temperatura de transição vítrea (T_g).

Perdon et al. (2000), Siebenmorgen et al. (2004), Yaoqi et al. (2014) e Lan et al. (2018), indicam que uma das maneiras para determinar a temperatura de transição vítrea é através de varredura de diferencial calorimétrico, em equipamento DSC (*Differential Scanner Calorimeter*). Perdon (1999) salienta que a transição de estado ocorre numa faixa de temperatura tipicamente utilizada durante a secagem de arroz, afetando suas propriedades plásticas, onde o amido do grão, sob determinadas temperaturas e umidades, abaixo da curva da temperatura de transição vítrea, encontra-se no estado cristalino, apresentando menores coeficientes de expansão, volume específico e difusividade. Já sob temperaturas e umidades acima dessa curva, o amido passa para o estado amorfo, apresentando coeficiente de expansão, volume específico e difusividades maiores. Esse autor determinou a curva da temperatura de transição vítrea de grãos de arroz em casca do cultivar “*Bengal*”, na qual se pode verificar que o valor da temperatura de transição vítrea do arroz cresce em função da redução de seu grau de umidade (secagem), e que as propriedades físicas desse grão se modificam drasticamente quando sua temperatura ultrapassa esse limite.

Sharma e Kunze (1982) relataram que secagem em alta temperatura cria gradientes de umidade dentro do grão, que induzem tensões de tração na sua superfície e tensões de compressão no seu interior, podendo levar à formação de fissuras do grão, prejudicando sua qualidade principalmente devido à redução do rendimento de grãos inteiros. Para reduzir estes efeitos negativos e permitir o estabelecimento do equilíbrio termo-hídrico e o relaxamento de tensões internas, deve-se, logo após a secagem e antes do armazenamento e/ou beneficiamento, manter os grãos em repouso adequado por um período variável conforme o cultivar e as condições de secagem, constituindo o que se denomina temperagem (WASSERMAN et al., 1964; STEFE et al., 1980; DONG et al., 2009; ODEK et al, 2018).

Ciclos intermitentes de secagem e temperagem são freqüentemente utilizados para minimizar a formação de fissuras e a incidência de grãos quebrados. O principal objetivo do estudo da secagem e temperagem do arroz é encontrar uma maneira de secar o arroz mais rapidamente, mantendo-se elevado o rendimento de grãos inteiros. Na secagem do arroz em casca, a temperatura de transição vítrea, que é a temperatura do grão (sob determinada umidade) que ocasiona mudanças em seu estado, desempenha papel significativo na determinação da taxa à qual a umidade pode ser removida do interior do grão, assim como na formação de fissuras. Observa-se que a taxa de remoção de umidade é maior se a temperatura do grão encontra-se acima da temperatura de transição vítrea (CNOSSEN e SIEBENMORGEN, 2000; YU et al., 2017).

A fissura e a quebra do grão de arroz é resultado da secagem e temperagem, ambas incluem conhecimentos de engenharia e de princípios de ciências de cereais. Particular ênfase é localizada na troca do estado do amido, ocorrendo próxima à temperatura de transição vítrea. Essa transição do estado vítreo para amorfo, ou vice-versa, tem sido identificada por desempenhar importante função na fissura e quebra de grãos de arroz (CNOSSEN e SIEBENMORGEN, 2000; ODEK et al, 2018).

Segundo Teran-Ortiz (2003), a transição vítrea é caracterizada pela descontinuidade de certas propriedades físicas tais como coeficiente de expansão, volume, calor específico, constante dielétrica e viscosidade. Para determiná-la utiliza-se calorimetria diferencial, análises termo-mecânicas,

ressonância nuclear magnética e/ou crio-microscópio eletrônico. O ponto “T_g”, denominado temperatura de transição vítrea, não é um ponto nítido, mas o centro de uma faixa na qual ocorre a transição. Para saber se o produto se encontra no estado amorfo, em um caso particular, deve ser verificada a ausência de cristais por Raio-X ou microscópio eletrônico e demonstrar mudanças nas propriedades físicas, como por exemplo, do calor específico (YAOQI et al., 2014; ODEK et al., 2018).

Crossen e Siebenmorgen (2000) consideram que a transição do estado cristalino para amorfo, ou vice-versa, desempenha importante função em relação à fissura e quebra dos grãos de arroz. Durante o processo de secagem do arroz em casca, sob uma condição de temperatura e umidade abaixo da transição vítrea, o amido do arroz existirá como um material cristalino, com menores coeficientes de expansão, volume específico e difusividade. No entanto, à medida que a temperatura do grão aumenta para além da transição vítrea, os grânulos de amido, a partir de um estado cristalino, passam para um estado amorfo. Acima da transição vítrea, então, esse amido permanecerá como um material semelhante à borracha, com maiores coeficientes de expansão, volume específico e difusividade. Além das alterações térmicas ocorridas durante a secagem, deve-se levar em conta também que a periferia do grão irá secar muito mais rapidamente do que o seu interior, causando gradientes de umidade dentro do grão. Secagens prolongadas, então, podem provocar que uma porção significativa da periferia do grão passe para o estado vítreo (retorne ao estado cristalino), devido ao menor teor de umidade contida. Essa parte periférica, portanto, agora se comportará como um material vítreo, com um conjunto de níveis de propriedades, enquanto que o interior do grão ainda se comporta como um material amorfo, com diferentes níveis.

A hipótese da transição vítrea, conforme Crossen & Siebenmorgen (2000), prediz que se os valores das propriedades térmicas e higroscópicas dos volumes da periferia e do interior do grão são suficientemente diferentes em magnitude, e a região vítrea (cristalina) da periferia do grão tenha um volume significativo em relação à sua região central amorfa, ocorrerão fissuras na interface dessas duas porções. Além do cenário mencionado, causado pela secagem prolongada, esta hipótese prediz ainda que fissuras nos grãos também podem ser criadas durante a temperagem pós-secagem e/ou o

arrefecimento, pois dependendo da temperatura à qual o grão é exposto imediatamente após a secagem, uma porção da periferia do grão pode passar rapidamente para o estado vítreo (transição vítrea) devido ao gradiente de resfriamento, enquanto o interior do grão permanece durante um tempo maior no estado amorfo, fazendo com que porções da superfície e do interior do grão possuam diferentes magnitudes de propriedades. Esses autores salientam ainda que se existir gradiente de umidade suficientemente grande, entre diferentes partes do grão (periferia e interior, por exemplo), e o ambiente de temperagem possibilitar mudanças de estado do amido, poderão então ocorrer diferenças significativas nos coeficientes de dilatação térmica do grão, causando fissuras no interior do grão.

Cabe destacar que, para a indústria processadora de arroz, a velocidade do processo de secagem é fundamental, sendo que a taxa de remoção de umidade (velocidade de secagem) é muito maior quando a temperatura de secagem dos grãos encontra-se acima da sua temperatura de transição vítrea. Portanto, através da determinação da condição apropriada e do tempo mínimo de duração da temperagem necessária para reduzir suficientemente o gradiente interno de umidade dos grãos, pode-se otimizar consideravelmente o processo de secagem, sem prejudicar significativamente a qualidade do arroz (SANTOS, 2004).

Schluterman e Siebenmorgen (2007) ao estudarem grãos de duas cultivares de arroz (classe longo), submetidas a diferentes condições de tempo e temperatura de secagem e temperatura e duração de temperagem, observaram que: a quantidade de umidade que pode ser removida no passo inicial da secagem está diretamente relacionada com a umidade de colheita e condição do ar de secagem; a duração de temperagem necessária para evitar reduções no rendimento de grãos inteiros aumentou com a retirada de umidade; e o padrão de redução do rendimento de grãos inteiros concordou com a hipótese que explica a formação de fissuras durante o processo de secagem com base nas alterações das propriedades do interior do grão de arroz associadas com a temperatura de transição vítrea. Eles concluíram afirmando que a temperagem dos grãos de arroz, realizada imediatamente após a secagem, durante pelo menos 60 minutos, sob mesma temperatura da

secagem, foi suficiente para reduzir os gradientes de umidades intragranulares e, assim, evitar a redução de rendimento de grãos inteiros após resfriamento.

Perdon et al. (2000) destacam que a transição vítrea do arroz ocorre em temperaturas típicas utilizadas para a secagem do arroz em casca, citando ainda que as propriedades físicas de um grão de arroz mudam drasticamente quando a temperatura do grão ultrapassa a temperatura de transição vítrea. Durante a secagem, a temperatura do grão aumenta e a umidade se desloca a partir de seu interior, originando gradientes de temperatura e de umidade da periferia para o interior do grão.

Gradientes de temperatura desaparecem rapidamente, sendo considerados insignificantes depois de alguns minutos de secagem, no entanto gradientes de umidade desempenham um papel muito mais importante durante e após a secagem dos grãos. Durante a fase de temperagem, na sequência de uma secagem, a umidade irá migrar do interior para a periferia do grão e, conseqüentemente, os gradientes de umidade diminuirão. Se a temperatura do ambiente de temperagem estiver abaixo da temperatura de transição vítrea do arroz, a superfície do grão irá arrefecer e certamente passará por uma mudança de estado, ocorrendo transição vítrea nessa região (KUNZE, 1979; YANG et al., 2000^b).

A temperagem decresce o diferencial de umidade contida no grão de arroz, permitindo que essa migre do interior para a camada periférica. Este gradiente de umidade causa tensões diferentes dentro do grão, que se suficientemente grandes, originam fissuras (KUNZE, 1979). Migração de umidade durante a temperagem também melhora a utilização de energia nos passos subsequentes a secagem (STEFFE e SINGH, 1980).

Wasserman et al. (1964) demonstraram a redução dos grãos quebrados e o decréscimo na duração da temperagem ao elevarem a temperatura de temperagem em grãos de arroz secos com ar a 43,3°C. O rendimento de grãos inteiros apresentado foi 2% acima para arroz com temperatura de temperagem de 40,6°C, comparado com arroz com temperatura de temperagem de 23,8°C. Amostras com temperatura de temperagem de 40,6°C exigiram 4 horas de duração de temperagem, comparado a amostras com temperatura de temperagem de 23,8°C, que por sua vez exigiram duração de 6 horas. Steffe e

Singh (1980) encontraram tendência similar no decréscimo da duração de temperagem ao aumentarem a sua temperatura.

Nguyen e Kunze (1984), em estudo, concluíram que armazenando grãos de arroz com temperatura de 45°C, logo após realizar sua secagem com temperatura do ar em 60°C, reduz-se o número de grãos fissurados numa média de 25,5%, comparada à esses grãos armazenados com temperaturas de 10°C. Diversas pesquisas destacam que as fissuras não ocorreram imediatamente após a secagem ter cessado, e demonstram que temperagens apropriadas podem minimizar significativamente o potencial de danos em grãos de arroz submetidos a condições severas de secagem (WASSERMAN et al., 1964; CNOSEN et al., 1998; ODEK et al, 2018; YU et al, 2018).

Pereira (1989) testou três temperaturas do ar de secagem, 70°C, 80°C e 90°C, e quatro períodos de repouso, 30 min, 60 min, 120 min e 240 min, com velocidade do ar de secagem em torno de 230 m.min⁻¹, concluindo que a secagem com temperatura de 70°C e com período de repouso de 240 min apresentou maior percentagem de grãos inteiros.

2.5 Armazenamento e qualidade de consumo do arroz

Gwinner et al. (1997) relatam que a forma mais comum de armazenagem de alimentos (cereais e leguminosas) é a do grão ainda vivo. Esse contém uma alta concentração de substâncias nutritivas e é fácil de armazenar graças a seu baixo teor em água. Frisa que grãos possuem baixa capacidade de condutibilidade calorífica, significando que as diferenças de temperatura no produto armazenado só são perceptíveis em distâncias curtas e períodos longos, levando assim a acumulações de calor na massa de grãos, com todas as conseqüências desvantajosas, como o aumento da respiração, a infestação com insetos e a condensação da umidade. Conforme o mesmo autor, a temperatura do ar, a umidade relativa e a umidade do produto armazenado estão estreitamente ligados por uma relação de interdependência, sendo que a umidade do produto armazenado e a umidade relativa do ar ambiente no armazém tentam encontrar um estado de equilíbrio, e dependendo da umidade relativa prevalecente, o produto armazenado libera ou absorve umidade à atmosfera, até alcançar um estado de equilíbrio (umidade de equilíbrio ou equilíbrio higroscópico do grão).

Peres (2001) define como armazenagem convencional o sistema no qual o produto é colocado em uma unidade de embalagem definida, geralmente sacos de juta, algodão, nylon ou polipropileno trançado. Destaca que esse sistema possui como principal vantagem a conservação da identificação durante o tempo de estocagem, porém apresenta vários inconvenientes tais como: elevado preço da sacaria, movimentação altamente dispendiosa, elevada necessidade de mão-de-obra, exigência de muito espaço por unidade de peso e favorecimento da perda de qualidade dos grãos, que por serem higroscópicos, ficam sujeitos às variações ambientais podendo absorver umidade. De acordo com o mesmo autor, os grãos são predispostos à deterioração de suas propriedades, entre outras coisas, devido à respiração, umidade, condutividade e pressão. Por serem eles organismos vivos, ao respirarem absorvem oxigênio, liberando umidade, calor e gás carbônico, ocorrendo, portanto, um processo exotérmico onde há um consumo de energia com a perda da própria massa, pois os grãos consomem a glicose de sua própria constituição. Grãos com baixa qualidade estão sujeitos a infestações microbiológicas, principalmente quando a película que os envolve se encontra danificada, e o aparecimento desses microrganismos (fungos) provoca aquecimento da massa de grãos e a mudança de sua coloração (grãos ardidos), sendo que a maioria das agroindústrias penaliza o produtor para cada ponto percentual acima de uma tolerância máxima de grãos defeituosos, além do que, o crescimento de fungos em uma massa de grãos pode provocar a redução da densidade e do nível de gordura, podendo também ser produzidas substâncias tóxicas aos animais e aos homens, chamadas micotoxinas.

Elias et al. (2015) relatam que mesmo não tendo boa condutibilidade térmica, mas por serem organismos vivos, com estruturas intra e intergranular porosa e composição química que lhes confere higroscopicidade, os grãos de arroz estão em constantes trocas de calor e de umidade com o ar ambiente, assim, pelo sistema convencional de armazenamento, os grãos são expostos aos efeitos das variações das características psicrométricas do ar ambiente, sendo que o tipo de manutenção a aplicar, sua periodicidade e sua intensidade, dependem de avaliações de qualidade do produto ao longo do período de armazenamento.

Santos (2004) destaca que as condições do ambiente de armazenamento influenciam a qualidade final do produto. Portanto, para um armazenamento seguro, todo cuidado deve ser observado visando prevenir o ataque de pragas e o surgimento de fungos, sendo que o melhor método para evitar a deterioração dos grãos é a secagem em níveis adequados de umidade onde a disponibilidade de água não seja suficiente para o desenvolvimento desses organismos. A secagem adequada, combinada ao uso de baixas temperaturas durante o armazenamento, torna-se o mais eficiente meio de controle de pragas, microrganismos e atividade metabólica dos próprios grãos.

A temperatura durante a maturação dos grãos e a localidade onde a planta é cultivada afeta a formação de amido e influenciam a temperatura de gelatinização. Alta temperatura ambiente resulta em mais alta temperatura de gelatinização, sendo que essa característica relaciona-se com aspectos culinários, de forma que esses grãos requerem mais água e mais tempo para cozinhar, e o arroz cozido fica excessivamente macio, tendendo a se desintegrar mais facilmente ao passar do ponto de cozimento. Temperaturas ambientes baixas e intermediárias requerem menos tempo e menos água para o cozimento do arroz, sendo esta é uma das principais razões para que os consumidores rejeitem grãos de arroz com alta temperatura de gelatinização e pela ênfase dos programas de melhoramento em selecionarem linhas com valores intermediários de temperatura de gelatinização. (GUIMARÃES, 1989; MERYNDA et al., 2016).

Cnossen et al. (2003) e Yu et al. (2017) relatam que a presença de grãos fissurados, causada pelo uso de temperaturas elevadas durante a secagem do arroz em casca, pode causar quebras durante a manipulação final, reduzindo a qualidade do produto cozido e/ou produzindo resíduos significativos. Jaisut et al. (2008) relatam que secagem com temperatura elevada torna os grãos mais firmes. Jaiboon et al. (2011), em estudo realizado com arroz ceroso, mostram que grãos processados com altas temperaturas de secagem (de 90°C a 150°C no ar) e com temperagem de 30 min, quando cozidos, não diferiram significativamente em relação aos atributos sensoriais testados (brancura, pegajosidade, plasticidade, dureza e aceitabilidade global), no entanto, apresentaram maior absorção de água e maior perda de sólidos durante o cozimento.

3 Material e Métodos

3.1 Material experimental

O experimento foi realizado no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, no Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas. Foram utilizados grãos de arroz em casca (*Oryza sativa* L.) do cultivar GURI INTA CL[®], classe longo-fino (FUNDACION PROARROZ, 2016), produzidos em sistema irrigado, no município de Pelotas, sul do Brasil, colhidos com umidades próximas a 20% (base úmida – b.u.) através de colheita mecanizada, e limpos em máquina de ar e peneira cilíndrica, marca Intecnial, modelo Sintel, até índices abaixo de 2% de matérias estranhas e impurezas. Logo após a limpeza, os grãos úmidos e limpos foram acondicionados em sacos de tecido permeável (filó), pesados com 4,0 kg (peso líquido) cada, através de balança digital marca Urano, modelo US 20-2, com precisão de ± 2 g. Ao término da pesagem, três sacos de tecido, com 4,0 kg de grãos cada, foram colocados dentro de saco de polipropileno, selado hermeticamente para evitar a troca de ar e umidade dos grãos com o ambiente, e mantido em temperaturas inferiores a 20°C, durante aproximadamente 24 h, em sala de armazenamento climatizada.

3.2 Metodologia

Antes de cada secagem, o saco de polipropileno, contendo as respectivas amostras, foi retirado do depósito climatizado e colocado em mesa próxima ao equipamento de secagem, durante cerca de uma hora, até que os grãos atingissem equilíbrio térmico com o ambiente. Após este tempo, o saco de polipropileno era aberto e os três sacos de tecido, com amostras de grãos, eram colocados diretamente dentro da câmara de secagem do secador que já se encontrava em pleno funcionamento, resultando, portanto, em 12,0 kg de grãos por tratamento de secagem. Para efetuar o processo de secagem dos grãos foi utilizado um secador de leito fixo (estacionário), de baixa escala, projetado e desenvolvido pelo próprio Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos. Esse equipamento é composto

basicamente por um ventilador centrífugo; um conjunto de resistências elétricas interligado a sistema automático de controle e termostato digital, marca Full Gauge Controls®, modelo TIC 17- RGTi, permitindo regulagem da temperatura de secagem com precisão de $\pm 5^{\circ}\text{C}$; e uma câmara de secagem constituída por um tubo mecânico de 0,25 m de diâmetro interno e 1,00 m de altura, separado, a 0,20 m do piso do secador, por um disco de chapa perfurada, formando assim um fundo falso (plenum) que possibilita a passagem do fluxo do ar de secagem, de forma homogênea, entre a massa de grãos.

Visando a evitar o contato direto (choque térmico) do ar quente de secagem com as amostras de grãos, foi mantido, durante todas as secagens, imediatamente acima da chapa perfurada (fundo falso), um saco de tecido permeável (filó) carregado com 2,0 kg de grãos secos. O sistema de ventilação do secador foi regulado, através da entrada de ar, para proporcionar fluxo de ar específico na ordem de $14 \text{ m}^3 \text{ de ar} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$ de grãos, valor próximo aos utilizados pelos atuais secadores industriais (ELIAS et al., 2015; KEPLER WEBER, 2019).

Durante todas as secagens, inicialmente em intervalos de 60 min e posteriormente a cada 30 min (quando os grãos atingiam umidades abaixo de 15% b.u.), ocorreu o monitoramento e controle através de aparelhos termohigrômetros digitais marca Akso, modelo AK 29, e aparelhos com sensores externos sem fio (por radio frequência), previamente aferidos, com precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ de temperatura e $\pm 5\%$ de umidade relativa (UR), das temperaturas e umidades: do ar ambiente (na sucção do ventilador); do ar de secagem (após o conjunto de resistências elétricas, na entrada da câmara de secagem); do ar dentro da câmara de secagem (em ponto inferior, intermediário e superior); e do ar de exaustão (saída) do secador.

Paralelamente, durante as secagens, verificou-se ainda: a temperatura da massa de grãos, através de termômetro de vidro, de 150°C , marca Incoterm, precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, devidamente inserido na massa de grãos; e a umidade dos grãos, calculada através da diferença da medição da massa da amostra, conforme metodologia desenvolvida pelo próprio Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, após o saco de tecido ser cuidadosamente retirado da câmara de secagem e depositado dentro de uma caixa de poliestireno expandido (isopor®), com isolamento térmico (para evitar

choque térmico), colocada sobre a balança digital anteriormente citada. As temperaturas do ar de secagem, através do termostato digital e das resistências elétricas, foram reguladas para manter temperatura de secagem média da massa de grãos em: $40 \pm 5^\circ\text{C}$; e $55 \pm 5^\circ\text{C}$, além da secagem com $25 \pm 5^\circ\text{C}$ de temperatura na massa de grãos (temperatura próxima à temperatura ambiente), utilizada para servir de controle. Quando a amostra (contida em saco de tecido) atingia umidades próximas a 13% (base úmida), esta foi retirada e submetida imediatamente à etapa de temperagem, sendo que as amostras restantes eram recolocadas no secador, para que a secagem prosseguisse. A secagem era considerada como concluída quando todos os três sacos de tecido, com amostras de grãos, atingissem umidades próximas a desejada. A etapa de temperagem foi efetuada colocando-se os sacos de tecido, com as respectivas amostras de grãos já secos, dentro de sacos de polipropileno de alta densidade, selados hermeticamente para isolamento hídrico, e estes dentro de caixas de poliestireno expandido (isopor[®]), marca Termotecnica, capacidade para 50 L, com 3,65 cm de espessura de parede, condutividade térmica de $0,037 \text{ W.m}^{-1}.\text{k}$, possibilitando isolamento térmico equivalente a um silo de concreto leve com espessura de parede próxima a 12cm (ABRAPEX, 2019; PROTO LAB, 2019), por períodos de tempo (duração) de temperagem de 120 min ou 240 min, além de condição onde a amostra não foi submetida à etapa de temperagem e sim a uma condição de equilíbrio com o ambiente, sem isolamento hídrico e ou térmico, representado aqui pela condição de temperagem com duração de 0 min. Para confirmar a condição de isolamento térmico no interior das caixas de poliestireno expandido e verificar a manutenção da temperatura da massa de grãos durante a etapa de temperagem, instalou-se, junto às amostras, sensor térmico sem fio (transmissão por rádio frequência) e termômetro de vidro.

Em todos os tratamentos, após as etapas de secagem e temperagem terem sido concluídas, os sacos de tecido, com as amostras de grãos, foram retirados dos sacos de polipropileno e depositados em caixas de madeira cobertas com sacos de rafia trançada, durante no mínimo 4 h (240 min), para possibilitar a pré- estabilização. Posteriormente, os sacos de tecido, com as respectivas amostras, foram colocadas dentro de sacos de rafia trançada, identificados, e armazenados em sala climatizada, mantida à temperaturas

inferiores a 20°C ao longo de todo o tempo de armazenamento, sob manejo técnico operacional adequado para controle de temperatura e de pragas.

Para cada tratamento, resultante da combinação entre a temperatura de secagem e a duração de temperagem, representados pela Figura 01, foram realizadas três repetições. As características biológica, industriais e de consumo foram avaliadas quando as amostras completaram o primeiro (1º mês), o quarto (4º mês), o oitavo (8º mês) e o décimo segundo mês (12º mês) de armazenamento.

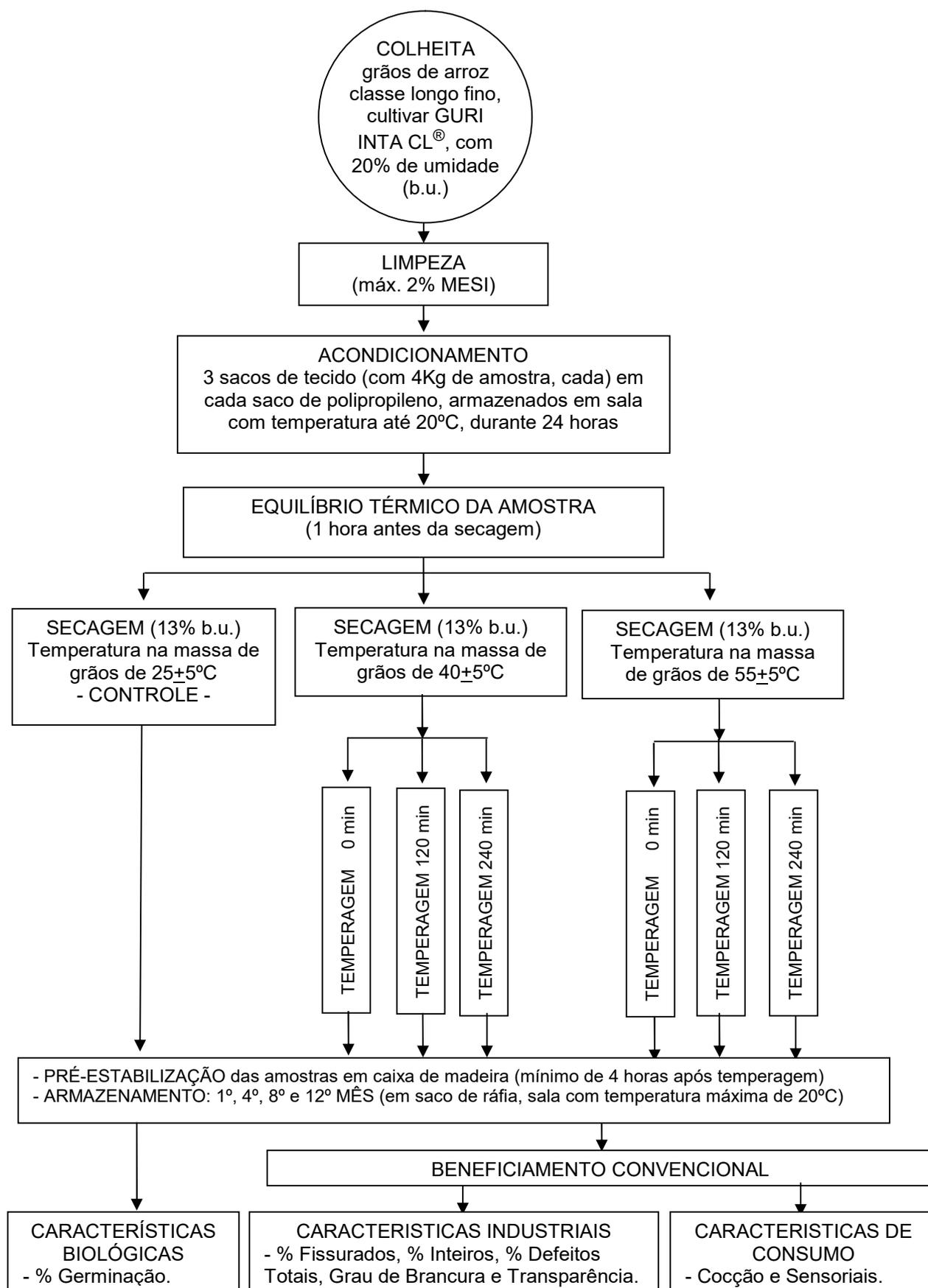


Figura 01 – Fluxograma de tratamentos e avaliações do experimento.

3.3 Avaliações

As análises das amostras, retiradas ao completarem o 1º, o 4º, o 8º e o 12º mês de armazenamento, foram realizadas no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos e no Laboratório de Análises Sensoriais da Universidade Federal de Pelotas.

3.3.1 Umidade dos grãos

O grau de umidade dos grãos em casca, úmidos e secos, medidos antes e depois dos processos de secagem e de temperagem, foram efetuados através do método da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, com circulação natural de ar, por 24 horas, de acordo com o método oficial para análise de sementes preconizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009^a), utilizando-se três repetições por tratamento.

3.3.2 Característica biológica

3.3.2.1 Germinação

A qualidade biológica dos grãos em casca foi avaliada pelo teste padrão de germinação, obedecendo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009^a), utilizando-se quatro amostras de 50 grãos, em germinador a 25°C e contagens aos 7 e 14 dias, com resultados expressos em percentagem (%) de plântulas normais.

3.3.3 Características industriais

3.3.3.1 Grãos com fissuras (fissurados)

Os grãos com fissuras foram avaliados de acordo com metodologia desenvolvida pelo Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos. Os grãos descascados sob condições brandas foram submetidos à ação de luz polarizada, usando-se um conjunto de polarização com placas, marca Polaroid, modelo HN32, de 15x15cm e fonte luminosa fluorescente de 20W. As amostras foram compostas de quatro repetições de 100 grãos cada, obtidas aleatoriamente, para cada tratamento, e expressas em percentagem de grãos com fissuras (%) em relação ao total amostrado.

3.3.3.2 Beneficiamento dos grãos

Três amostras de arroz em casca, de 100g cada, pesadas em balança eletrônica, de precisão 0,01g, relativos a cada tratamento, foram coletadas após a devida homogeneização do produto. Estas amostras foram submetidas ao processo de beneficiamento convencional (branco polido), sendo as operações de descascamento, polimento, separação de quebrados e avaliação de defeitos, realizadas de acordo com as normas oficiais (BRASIL, 2009^b), em parte, detalhada a seguir:

a) Descascamento:

As amostras foram submetidas ao beneficiamento em engenho de provas, marca Zaccaria, modelo DTAZ1, de acordo com as recomendações prescritas no manual de operações fornecido pelo fabricante. Os grãos foram colocados no funil de entrada, com a distância entre rolos previamente regulada de aproximadamente 1,5 mm, em velocidade constante, objetivando que aproximadamente 95% dos grãos fossem descascados na primeira passagem. Os grãos que não tiveram sua casca removida na primeira passagem (denominado “*marinheiros*”) foram separados e descontados do peso inicial da amostra para efeitos de apuração de rendas e rendimentos.

b) Polimento:

O polimento foi realizado no mesmo engenho de provas acima descrito, onde as amostras já descascadas permaneceram por um minuto e meio sob ação do brunidor.

c) Separação de quebrados:

A separação dos grãos quebrados, da quirera e dos inteiros foi realizada no *trieur* (cilindro alveolado) do próprio engenho de provas. Sempre que necessário, foi complementada manualmente com o auxílio de paquímetro, pinça e lupa. O cilindro usado, com diâmetro mínimo do alvéolo de 4,5mm, foi escolhido de acordo com as dimensões médias dos grãos, estabelecido pelos padrões da classe a que pertencem, ou seja, “grãos longos-finos” (com no mínimo de 6 mm de comprimento e no máximo 1,90 mm de espessura). Testes preliminares determinaram o tempo de operação de um minuto e trinta segundos, com calha de recolhimento inclinada na posição intermediária, sem necessidade de repasse. As pesagens individualizadas dos grãos esbramados, dos grãos polidos e dos grãos inteiros foram também

realizadas em balança eletrônica, de precisão de 0,01 g, citada anteriormente. Após as respectivas amostras serem pesadas, efetuou-se o cálculo visando expressar os respectivos valores em percentagens (%) de grãos inteiros com defeitos, em relação à amostra inicial de arroz em casca.

d) Avaliação de defeitos:

Os grãos polidos foram examinados para identificação e quantificação de defeitos, com utilização da balança de precisão, lupa com iluminação e pinça. Os resultados foram agrupados em incidência de defeitos, expressando-se as percentagens (%) relativas ao total de defeitos e, posteriormente, ao total de grãos inteiros sem defeitos de cada amostra.

3.3.3.3 Perfil branquimétrico

O perfil branquimétrico foi determinado por aparelho Branquímetro, marca Zaccaria, modelo MBZ-1, operado conforme recomendações do fabricante, sendo avaliados os graus de brancura e de transparência de grãos inteiros sem defeitos, beneficiados e classificados pelo processo convencional detalhado anteriormente (BRASIL, 2009^b), com três amostras por tratamento, utilizando a escala e os padrões de calibração do próprio equipamento.

3.3.4 Características de consumo

3.3.4.1 Parâmetros de cocção

Os parâmetros de cocção dos tratamentos sem temperagem e com temperagem de 240 min foram avaliados no Laboratório de Análises Sensoriais da Universidade Federal de Pelotas, de acordo com metodologia proposta por Martinez e Cuevas (1989) e Gularte (2005) com adaptações. Foram determinados o tempo de cocção, o rendimento volumétrico e o rendimento gravimétrico de grãos inteiros sem defeitos, beneficiados e classificados pelo processo convencional detalhado anteriormente (BRASIL, 2009^b).

3.3.4.1.1 Tempo de cocção

O tempo de cozimento foi determinado pelo teste de Ranghino (MOHAPATRA e BAL, 2006). Aproximadamente 100 mL de água destilada

foram fervidos (98 ± 1 ° C) em um béquer (250 mL), e 10 g de amostra de arroz foram colocados na água fervente. A medição do tempo de cozimento foi tomada após 10 minutos e a cada minuto a partir de então. Dez grãos de arroz foram removidos e prensados entre duas placas de vidro limpas para avaliar seu grau de cozimento. O tempo final de cozimento foi verificado quando pelo menos 90% dos grãos não tinham mais um núcleo opaco ou um centro não cozido. Em seguida, 2 min foram adicionados ao tempo determinado para padronização.

3.3.4.1.2 Rendimento volumétrico e rendimento gravimétrico

Amostras oriundas de grãos inteiros sem defeitos, referentes às três repetições por tratamento testado, foram cozidas simultaneamente sobre chapa aquecida por resistências elétricas, com uso de panelas metálicas, de escala laboratorial, desenvolvidas e confeccionadas especialmente para a realização de análises de cocção.

No experimento, para cada repetição, foram colocados 35 g de grãos, em cada panela (previamente pesada), verificando-se por meio de proveta de 50 mL, o seu volume inicial (V_i). Assim que as amostras foram colocadas nas panelas, adicionou-se água pré-aquecida, à temperatura de 95°C, na proporção de 2,1:1 (água : grãos), sendo esta proporção definida em de testes preliminares realizados para encontrar a relação ideal de água e de grãos, visando ao adequado cozimento dos grãos do cultivar de arroz estudado. Imediatamente após a adição da água quente, as panelas, parcialmente tampadas, foram colocadas sobre a chapa aquecida, regulada por termostato, com suas temperaturas controladas por termômetro.

O tempo de cocção, previamente determinado para cada tratamento conforme detalhado anteriormente, foi averiguado com auxílio de cronômetro digital, inicializado a partir do momento em que a temperatura da água de cozimento e da massa de grãos contida na panela atingisse 80°C. Durante o cozimento havia o controle e o cuidado para que não ocorresse o transbordamento da água contida nas panelas. O cozimento foi concluído quando o tempo de cocção determinado foi atingido. A partir daí, a panela era tampada, retirada da chapa, colocada em uma mesa durante 30 minutos para reduzir a temperatura, e posteriormente, com cuidado para não comprimir a

massa de grãos, era verificada a altura final (h_f), através de paquímetro, e a massa final (M_f) da amostra de arroz cozido, em balança eletrônica de 0,01g de precisão.

Para avaliação do rendimento volumétrico e do rendimento gravimétrico utilizou-se a metodologia desenvolvida pelo Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, baseada em metodologia proposta por Gularte (2005), a qual consiste na avaliação do volume e da massa dos grãos de arroz antes e após o cozimento. O rendimento volumétrico (R_v) foi determinado pela relação entre o volume final (V_f), calculado por meio das dimensões da panela e da altura final (h_f) da massa de arroz cozido, e o volume inicial (V_i) do arroz cru, previamente medido por proveta. No cálculo do volume final (V_f), utilizou-se também a equação do volume do cilindro, $\Pi \cdot r^2 \cdot h$, onde Π é uma constante matemática igual a 3,14, r é o raio do recipiente (panela), e h a altura ocupada pela massa de grãos. Conforme o volume final (V_f) do arroz cozido e o volume inicial (V_i) do arroz cru, pela Equação 01, calculou-se o rendimento volumétrico, expresso em percentagem (%).

$$R_v = \frac{V_f}{V_i} \times 100$$

Onde:

R_v (%) = Rendimento volumétrico;

V_f (cm³) = Volume final (arroz cozido);

V_i (cm³) = Volume inicial (arroz cru).

Equação 01 – Rendimento volumétrico.

De forma semelhante, conforme a massa final (M_f) do arroz cozido e a massa inicial (M_i) do arroz cru, medidos através de balança eletrônica de 0,01g de precisão, foi calculado o rendimento gravimétrico, que está relacionado com a absorção de água, expresso aqui em percentagem (%), de acordo com a Equação 02.

$$Rg = \frac{Mf}{Mi} \times 100$$

Onde:

Rg (%) = Rendimento gravimétrico;

Mf (g) = Massa final (arroz cozido);

Mi (g) = Massa inicial (arroz cru).

Equação 02 – Rendimento gravimétrico.

3.3.4.2 Atributos sensoriais

Amostras de 100g de grãos de arroz cru inteiros sem defeitos, previamente beneficiados e classificados conforme detalhado anteriormente (BRASIL, 2009^b), referentes aos tratamentos sem temperagem e com temperagem de 240 min, foram avaliados no Laboratório de Análises Sensoriais da Universidade Federal de Pelotas, de acordo com metodologia proposta por Gularte (2005).

No cozimento das amostras utilizou-se a proporção de 2,1:1 (água por grãos) e tempo de cocção previamente determinado nos testes iniciais realizados. Após a adição da água, com temperatura de 95°C, as panelas de alumínio, parcialmente tampadas, foram colocadas em chapa aquecida, por resistências elétricas, com termostato regulado para 300°C de temperatura. O tempo de cocção era avaliado com auxílio de cronômetro digital, inicializado a partir do momento em que a temperatura da água de cozimento e da massa de grãos atingisse 80°C. Durante o cozimento havia o controle e o cuidado para que não ocorresse o transbordamento da água contida nas panelas. O cozimento foi concluído quando o tempo de cocção pré-determinado foi atingido. Após o cozimento concluído, as panelas com as amostras foram retiradas da chapa de aquecimento e mantidas em condição apropriadas para serem servidas aos julgadores, com temperaturas próximas a 60°C.

As análises sensoriais foram realizadas em cabines com controle de luz, com 15 julgadores previamente treinados. Foi utilizado o teste de avaliação de atributos com escala não estruturada de nove centímetros, com termos

descritivos caracterizando os atributos odor, sabor, solubilidade e firmeza do arroz cozido, devidamente registrados em ficha de avaliação padrão, apresentada pela Figura 02, conforme metodologia proposta por Gularte (2005).

3.3.5 Análise estatística

Os resultados das avaliações das características biológica, industriais e de consumo foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em parcelas subdivididas, com delineamento experimental inteiramente casualizado, e comparação de médias pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Nesse estudo foi utilizado o programa Microsoft Excel 7.0, operando no ambiente Windows 2010.

Teste de avaliação de atributos, escala não estruturada – PPGCTA/UFPEL
AVALIAÇÃO SENSORIAL DE ARROZ COZIDO

NOME: _____ DATA ____/____/____

INSTRUÇÕES: Você vai receber amostras de arroz cozido. Avalie da esquerda para a direita as seguintes características sensoriais, registrando com um traço vertical na escala.

ODOR

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	não característico	regularmente característico	característico arroz branco
_____	_____		
_____	_____		
_____	_____		
_____	_____		
_____	_____		

SABOR

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	não característico	regularmente característico	característico arroz branco
_____	_____		
_____	_____		
_____	_____		
_____	_____		
_____	_____		

SOLTABILIDADE

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	grãos pastosos	grãos grudados	regularmente soltos	parcialmente separados	grãos bem separados
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				

FIRMEZA

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	grãos com centro duro	grãos firmes mastigáveis	grãos macios firmes	grãos moles	grãos em massa mole
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				

Comentários adicionais:

Figura 02 – Ficha para avaliação de odor, sabor, soltabilidade e firmeza do arroz cozido, com escala não estruturada.

4 Resultados e discussão

4.1 Parâmetros operacionais das secagens

4.1.1 Variáveis psicrométricas, temperaturas e umidades dos grãos

As Figuras 03 e 04; 05 e 06; 07 e 08 apresentam as curvas de tendência das variáveis psicrométricas, representadas pelas temperaturas de bulbo seco e umidades relativas: do ar ambiente (T_{bsamb} e UR_{amb}), do ar de secagem (T_{bssec} e UR_{sec}) e do ar de saída do secador ($T_{bssaida}$ e UR_{saida}), além das temperaturas e umidades medidas na massa de grãos (T_{mg} e U_{mg}), relativas as secagens com temperaturas médias de 25°C; 40°C e 55°C, respectivamente. Os resultados apresentados são as médias de três repetições por tratamento de secagem.

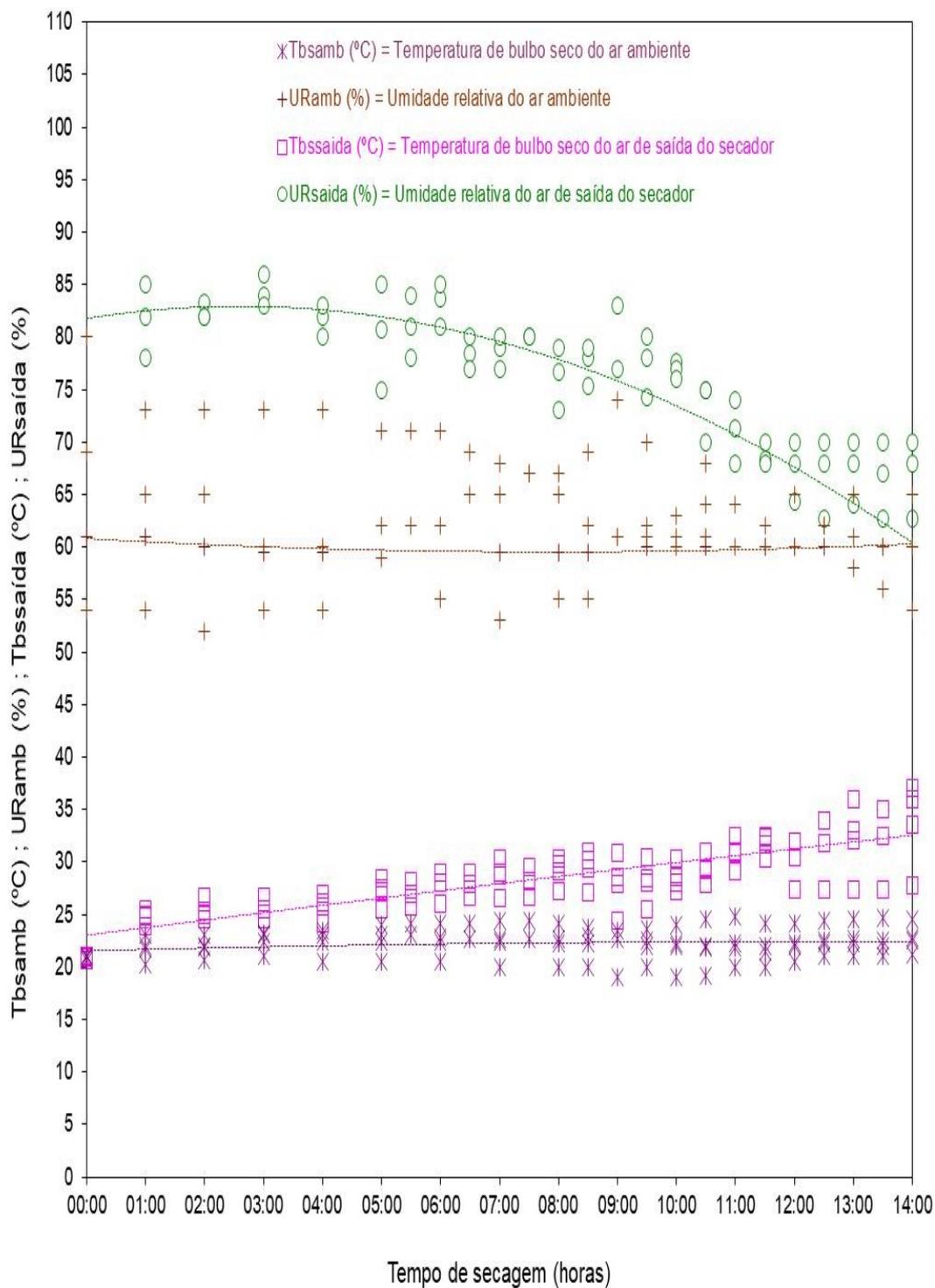


Figura 03 – Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar ambiente (Tbsamb e URamb) e do ar de saída do secador (Tbssaída e URsaída), no decorrer de secagem com temperatura de 25°C. Resultados de três repetições.

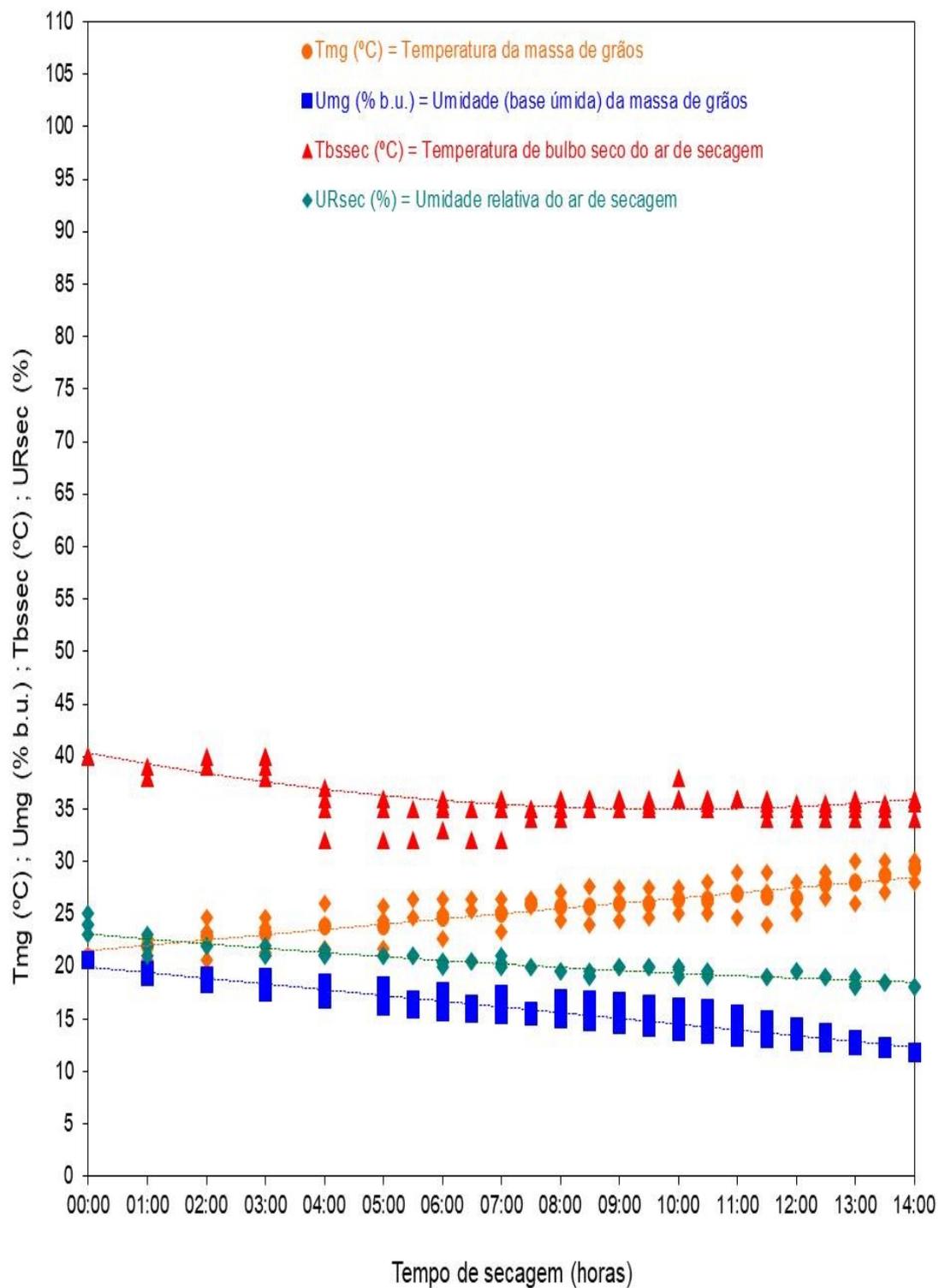


Figura 04 – Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar de secagem (Tbssec e URsec) e temperatura e umidade (b.u.) da massa de grãos (Tmg e Umg), no decorrer de secagem com temperatura de 25°C. Resultados de três repetições.

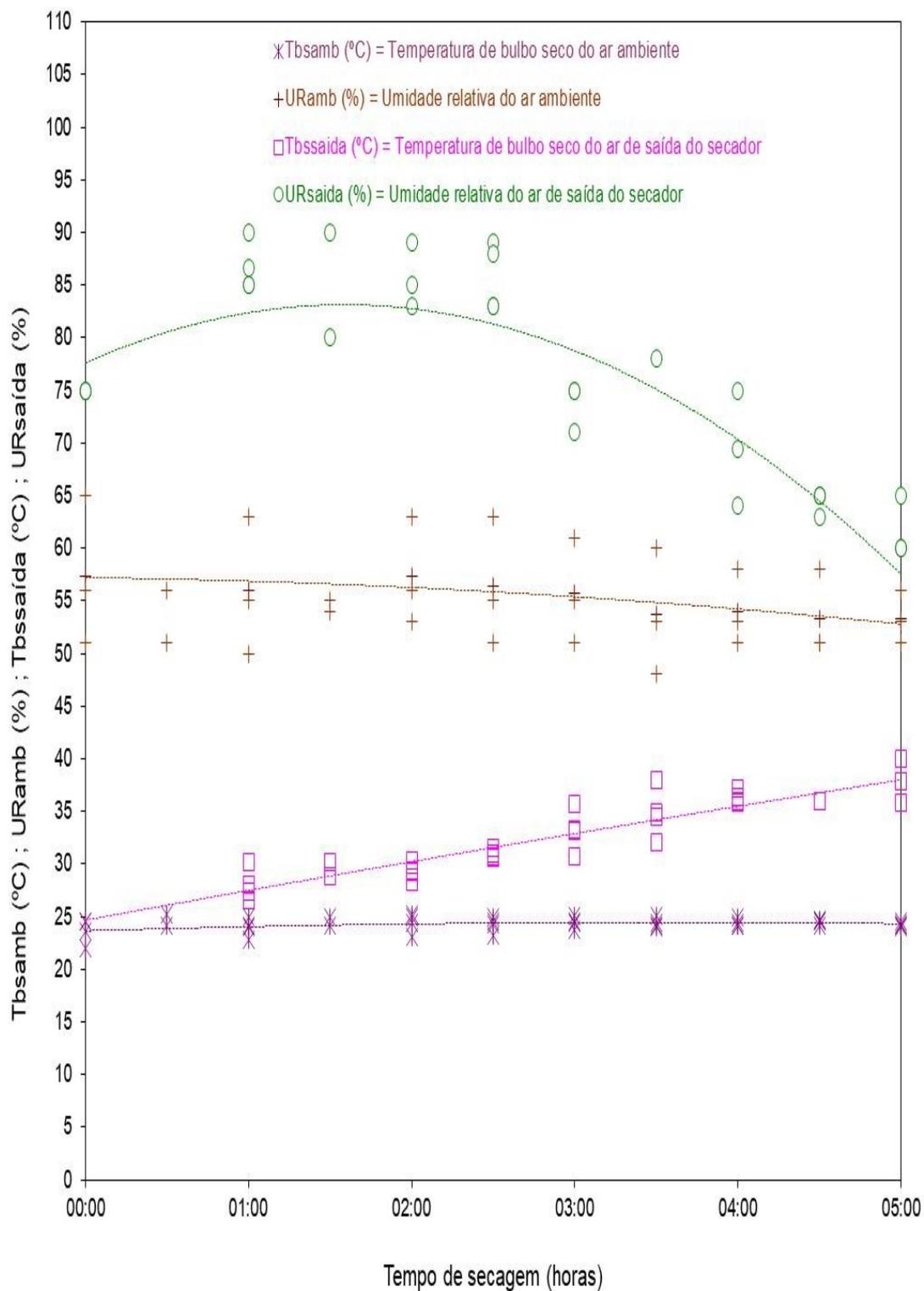


Figura 05 – Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar ambiente (Tbsamb e URamb) e do ar de saída do secador (Tbssaída e URsaída), no decorrer de secagem com temperatura de 40°C. Resultados de três repetições.

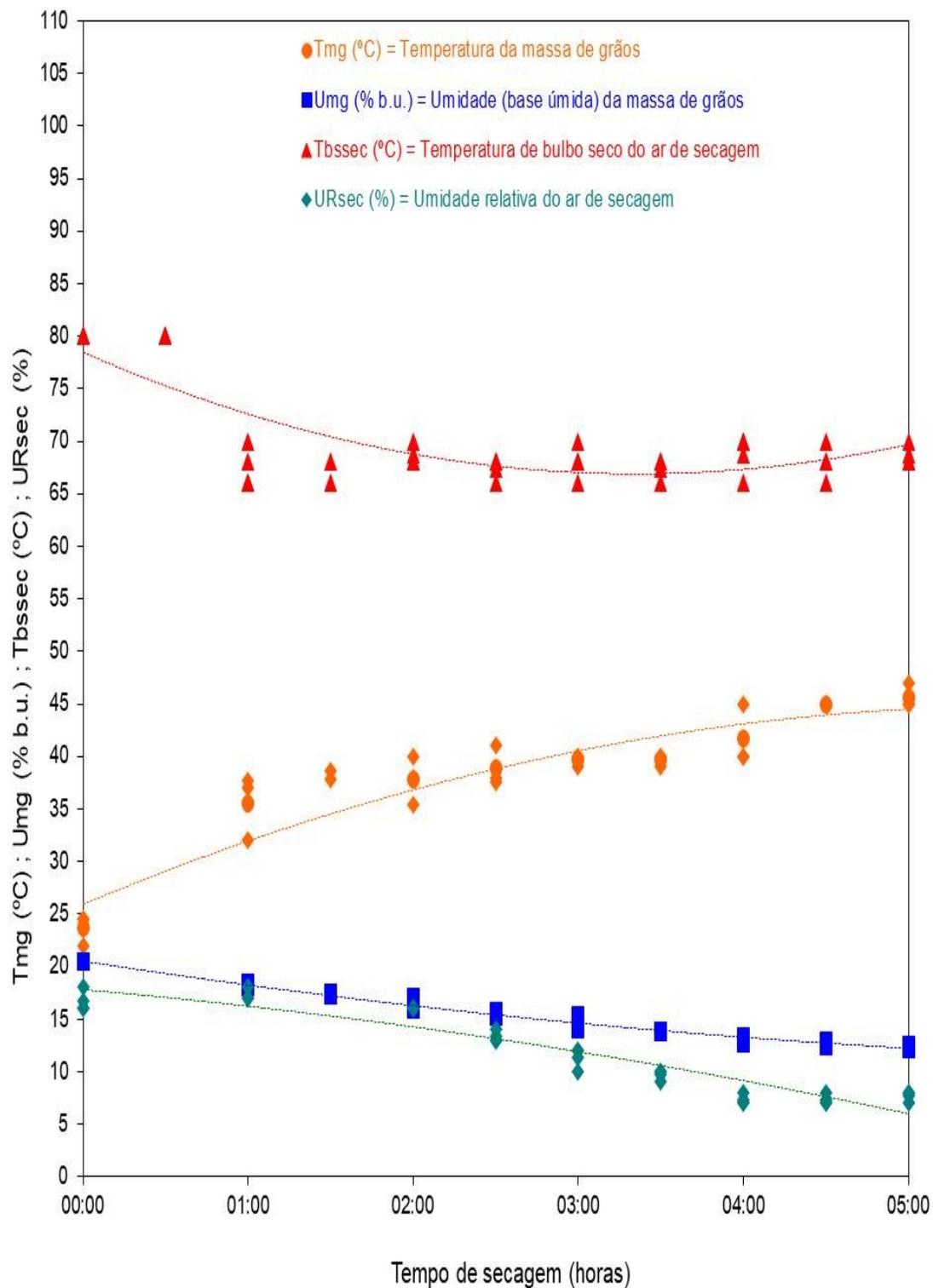


Figura 06 – Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar de secagem (Tbssec e URsec) e temperatura e umidade (b.u.) da massa de grãos (Tmg e Umg), no decorrer de secagem com temperatura de 40°C. Resultados de três repetições.

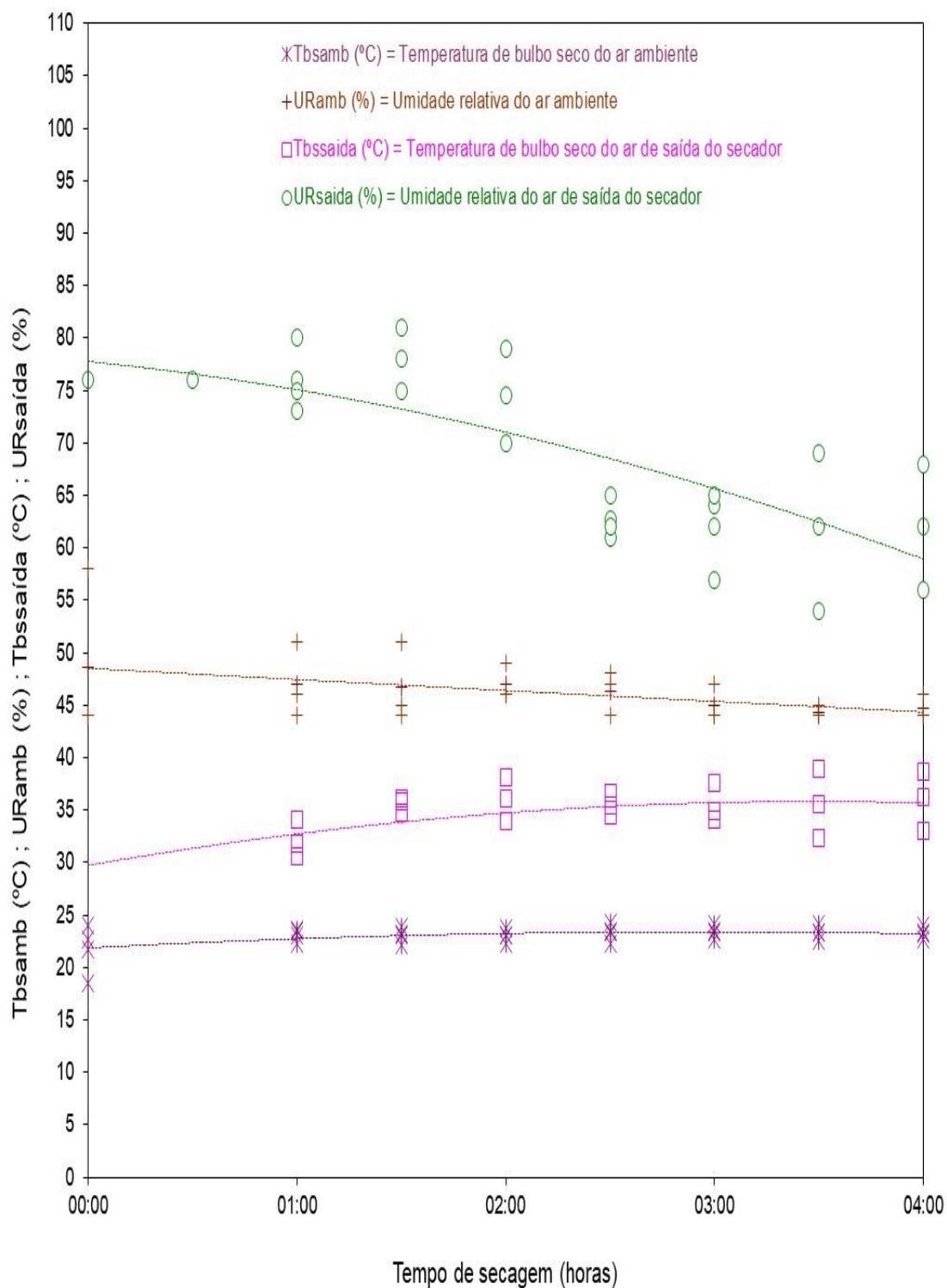


Figura 07 – Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar ambiente (Tbsamb e URamb) e do ar de saída do secador (Tbssaida e URsaiida), no decorrer de secagem com temperatura de 55°C. Resultados de três repetições.

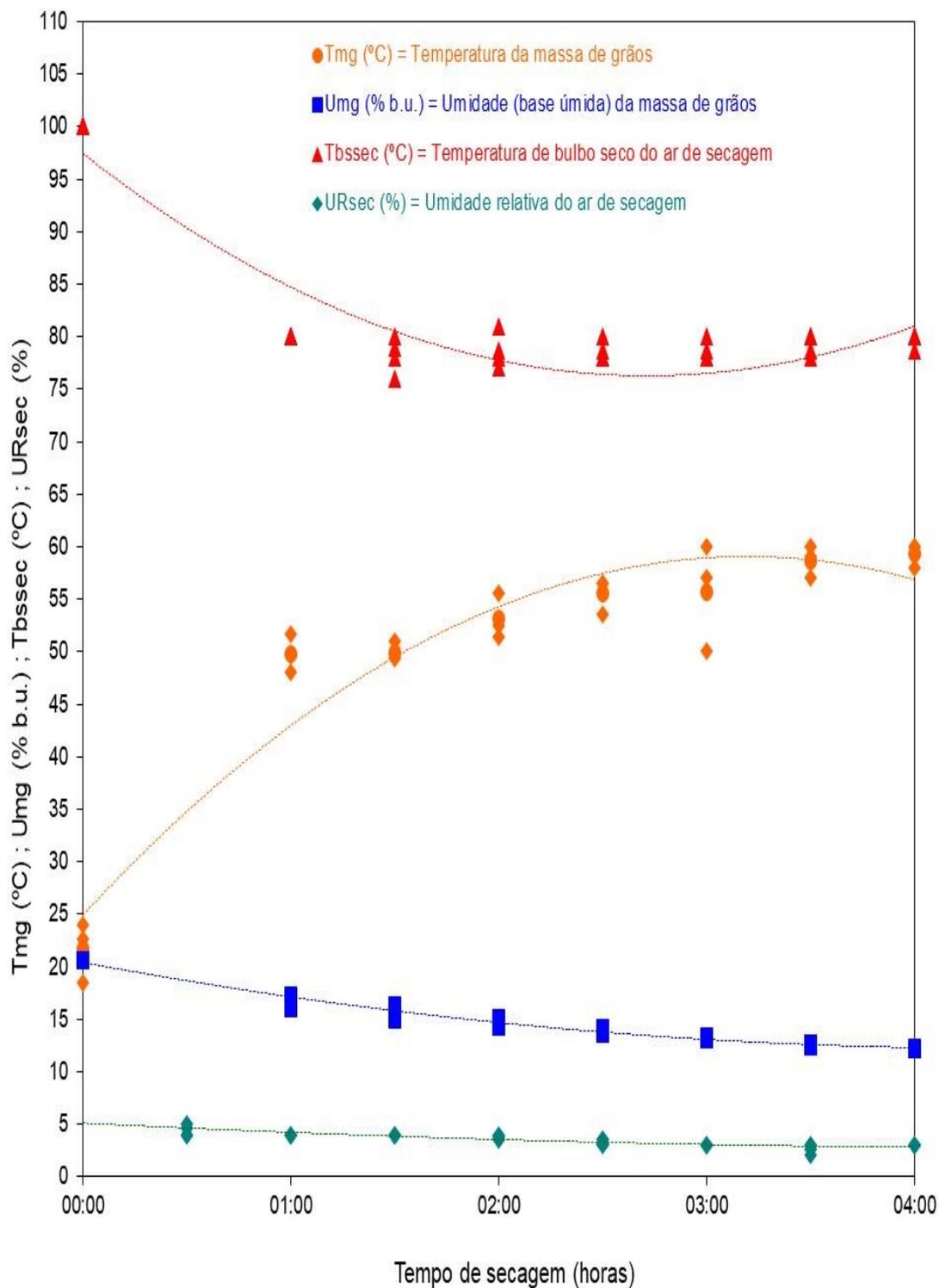


Figura 08 – Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar de secagem (Tbssec e URsec) e temperatura e umidade (b.u.) da massa de grãos (Tmg e Umg), no decorrer de secagem com temperatura de 55°C. Resultados de três repetições.

A análise conjunta das curvas de tendência das variáveis psicrométricas, representadas nas Figuras 03, 05 e 07 indica que em todas as secagens a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa do ar ambiente se mantiveram com tendência e valores semelhantes, demonstrando que as secagens foram realizadas em condições ambientais similares e sem ocorrência de grandes variações ambientais. Já em relação ao ar de saída do secador, verificam-se comportamentos simétricos entre as temperaturas e as umidades relativas, com grandes amplitudes de variação, demonstrando as conseqüências psicrométricas dos fenômenos de transferência de calor e massa que ocorrem entre o ar e os grãos durante a secagem. Em todas as secagens, a temperatura de bulbo seco do ar de saída apresenta tendência crescente e a umidade relativa deste ar possui comportamento decrescente, indicando que ao longo das secagens o ar sai mais quente e menos saturado de umidade, refletindo diretamente na redução da eficiência de secagem, fato que se intensifica quanto maior for a temperatura de secagem utilizada. As Figuras 04, 06 e 08, mostram que os valores das temperaturas do ar de secagem utilizados foram adequados para manterem as temperaturas da massa de grãos de acordo com as condições de secagem previamente desejadas, apresentando médias de 25°C, 40°C e 55°C, respectivamente, com variações de ± 5 °C. Nota-se ainda que, em todas as secagens, a temperatura da massa de grãos apresenta tendência crescente enquanto a umidade dos grãos possui tendência decrescente, ocorrendo redução mais acentuada da umidade dos grãos na etapa inicial do processo, principalmente no caso das secagens com uso de temperaturas mais elevadas. Isso acontece porque o processo de secagem é composto por duas etapas hidrotérmicas distintas e complementares, que incluem ciclos de evaporação da água periférica e de difusão da água do interior do grão para sua periferia, sendo a primeira de característica isoentálpica e a segunda endotérmica, ocorrendo então, os fenômenos de transferência de massa e calor, de acordo com os princípios da termodinâmica. Verifica-se também que as secagens com temperaturas de 25°C, 40°C e 55°C apresentaram tempos de secagem de 14 h, 5 h e 4 h, respectivamente, confirmando que o aumento da temperatura de secagem intensifica a evaporação e a difusão da água no grão, ampliando a velocidade do processo (YU et al., 2017; ODEK et al., 2018).

4.2 Comparação: Curvas das secagens e da transição vítrea do arroz

A Figura 09 apresenta as curvas das secagens, decorrentes da relação entre as temperaturas e as umidades médias medidas na massa de grãos, plotadas junto à curva de transição vítrea de arroz do cultivar “Bengal”, determinada por Perdon (1999), incluída aqui apenas para efeito comparativo.

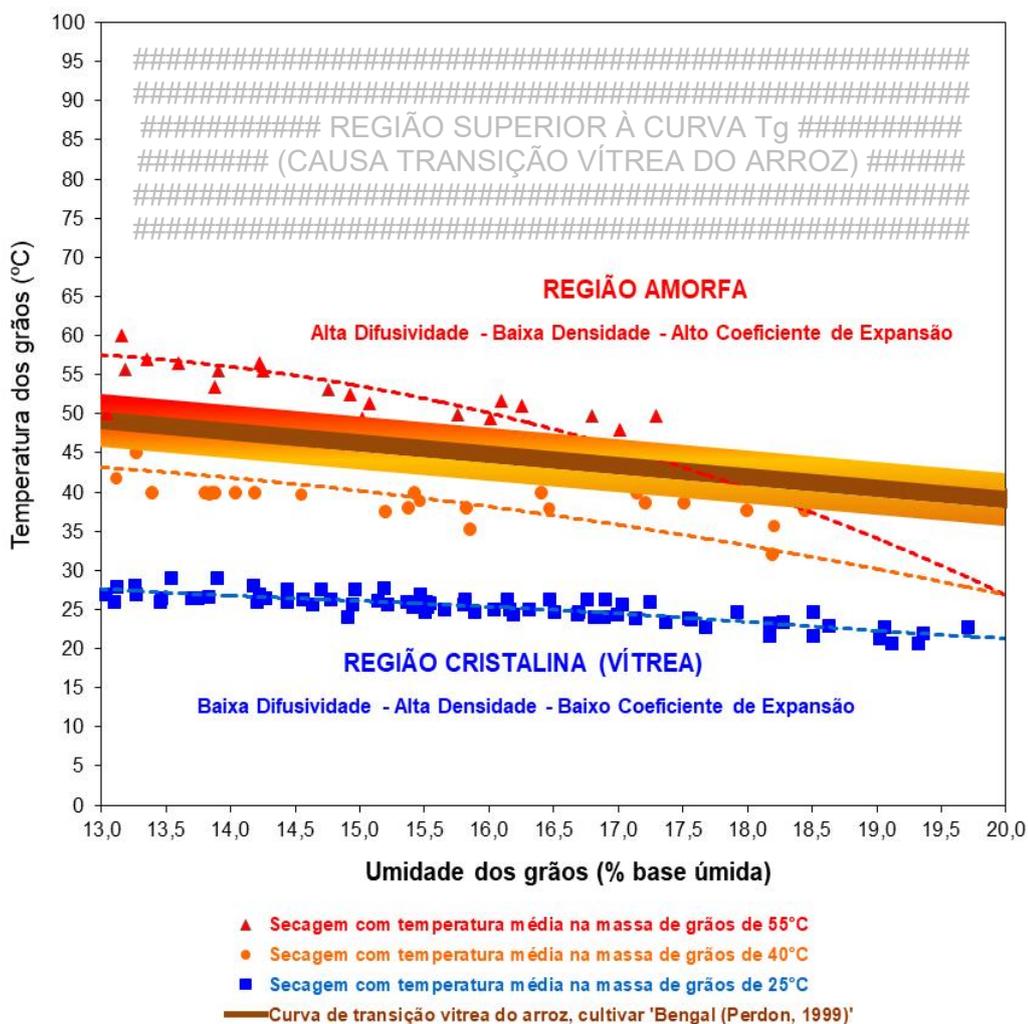


Figura 09 – Comparação entre a curva de transição vítrea (Tg) do arroz em casca do cultivar “Bengal” e as curvas elaboradas pela relação entre as temperaturas da massa de grãos e suas respectivas umidades, medidas durante as secagens de 25°C, 40°C e 55°C. Resultados de três repetições por tratamento.
Fonte: Adaptado de Perdon (1999).

Pela Figura 09 observa-se que a secagem com 25°C manteve seus grãos sempre na região de estado vítreo (cristalino), sem mudanças significativas no nível de suas propriedades físicas. No caso da secagem de 40°C, os grãos durante parte do processo (principalmente no início e ao final

da secagem) estiveram no limite da curva de transição vítrea, configurando provavelmente uma condição de mudança de estado físico de pelo menos alguma porção do grão. Todavia, a secagem com temperaturas de 55°C levou seus grãos totalmente para a região do estado amorfo, promovendo a alteração de seu estado físico. Nota-se que a secagem de 55°C foi a condição mais crítica, pois seus grãos ficaram sujeitos à temperaturas bem acima do limite de transição vítrea durante praticamente toda a secagem. Quando os grãos apresentaram alto teor de umidade, o efeito plastificante que a água exerce sobre o endosperma do arroz, composto principalmente por amido, é responsável pela diminuição da temperatura de transição vítrea, portanto em grãos mais secos, uma quantidade maior de calor é necessária para que a transição vítrea ocorra (ODEK et al, 2018; LAN et al, 2018).

4.3 Umidades dos grãos

A Tabela 01 apresenta as umidades dos grãos de arroz em casca, úmidos (Umidade inicial - U_i) e secos (Umidade final - U_f), medidos respectivamente antes do processo de secagem e após a estabilização e o armazenamento dos grãos secos.

Tabela 01 – Umidade inicial (antes da secagem) e final (após a estabilização), de grãos de arroz em casca, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem.

Temperatura - Temperagem**	Umidade Inicial (% b.u.)	Umidade Final (% b.u.)
0) 25°C	A 20,57 ± 0,06 a	B 13,03 ± 0,06 bc
1) 40°C- 0 min	A 20,48 ± 0,12 a	B 13,10 ± 0,17 ab
2) 40°C-120 min	A 20,48 ± 0,12 a	B 13,27 ± 0,12 ab
3) 40°C-240 min	A 20,48 ± 0,12 a	B 13,17 ± 0,06 ab
4) 55°C- 0 min	A 20,57 ± 0,06 a	B 13,33 ± 0,06 a
5) 55°C-120 min	A 20,57 ± 0,06 a	B 12,70 ± 0,10 d
6) 55°C-240 min	A 20,57 ± 0,06 a	B 12,80 ± 0,10 cd

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 2) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 5) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Analisando-se os resultados da Tabela 01, verifica-se que as umidades iniciais dos grãos de arroz em casca, relativas a todos os tratamentos, não apresentaram diferenças significativas entre si. Entretanto em relação aos resultados das umidades finais dos grãos armazenados (após realização dos processos de secagem, temperagem e armazenamento), observam-se algumas diferenças entre si, no entanto, nota-se que as secagens foram todas eficientes, pois todos os tratamentos testados apresentaram umidades ao redor de 13% (b.u.), valor recomendado para armazenamento de arroz em casca (BRASIL, 2009^b).

A Tabela 02 apresenta as umidades dos grãos de arroz em casca, avaliadas ao completar o 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento.

Tabela 02 – Umidades de grãos de arroz em casca, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Umidades (% b.u.)			
	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
0) 25°C	C 13,03±0,06 bc	C 13,05±0,01 c	B 13,23±0,06 c	A 13,43±0,06 c
1) 40°C- 0 min	B 13,10±0,17 ab	AB 13,37±0,06 b	A 13,55±0,03 b	A 13,60±0,10 bc
2) 40°C-120 min	B 13,27±0,12 ab	B 13,30±0,10 b	B 13,50±0,02 b	A 13,80±0,10 ab
3) 40°C-240 min	B 13,17±0,06 ab	A 13,80±0,17 a	A 13,94±0,06 a	A 13,97±0,06 a
4) 55°C- 0 min	B 13,33±0,06 a	B 13,37±0,06 b	AB 13,45±0,01 b	A 13,60±0,10 bc
5) 55°C-120 min	B 12,70±0,10 d	AB 12,93±0,06 c	A 12,99±0,12 d	A 13,03±0,12 d
6) 55°C-240 min	B 12,80±0,10 cd	AB 12,97±0,03 c	A 12,99±0,07 d	A 13,07±0,06 d

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05);

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 2) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 5) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Pela Tabela 02 verifica-se que as umidades dos grãos em todos os tratamentos aumentaram seus valores com o tempo de armazenamento. A reduzida amplitude de variação entre as umidades foi devido ao manejo técnico operacional mantido durante o armazenamento, com controle de temperatura e de pragas. Grãos de arroz, mesmo não tendo boa

condutibilidade térmica, mas por serem organismos vivos, com estruturas intra e intergranular porosa e composição química que lhes confere higroscopicidade, estão em constantes trocas de calor e de umidade com o ar ambiente, sendo esses expostos aos efeitos das variações das características psicrométricas do ar ambiente (ELIAS et al., 2015).

4.4 Característica biológica

4.4.1 Germinação

A qualidade dos grãos foi avaliada por meio da germinação de grãos de arroz em casca, mostrados pela Tabela 03,

Tabela 03 – Germinação de grãos de arroz em casca, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL®, sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Germinação (%)			
	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
0) 25°C	A 87,00±1,15 a	A 86,00±0,00 a	A 89,67 ± 4,04 a	B 80,00±1,00 a
1) 40°C- 0 min	A 74,50±1,91 b	A 73,50±1,91 c	A 78,67 ± 5,03 bc	A 72,00±1,73 c
2) 40°C-120 min	A 84,50±3,00 a	A 83,50±1,00 b	A 84,67 ± 4,16 ab	B 75,00±3,61 bc
3) 40°C-240 min	A 86,00±1,63 a	A 86,00±0,00 a	A 86,00 ± 0,00 a	B 79,00±1,00 ab
4) 55°C- 0 min	B 63,50±1,91 c	B 63,50±1,00 d	A 72,00 ± 3,46 c	B 63,33±1,15 d
5) 55°C-120 min	C 63,50±1,00 c	C 63,50±0,58 d	A 73,33 ± 1,15 c	B 71,00±1,00 c
6) 55°C-240 min	C 65,00±1,15 c	C 65,00±1,15 d	A 74,67 ± 1,15 c	B 71,33±1,15 c

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05);

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 2) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 5) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Analisando-se os resultados da Tabela 03 verifica-se que a secagem com 25°C (controle) apresentou o maior percentual de germinação, similar à secagem com 40°C e temperagem de 240 min. Em relação ao processo de secagem, pode-se afirmar que quanto maior a temperatura empregada, maior é o dano biológico causado, pois menores são os percentuais de germinação. Secagens com temperaturas elevadas, portanto, provocam reduções na

germinação de sementes. Madamba e Yabes (2005) encontraram resultados semelhantes, na secagem intermitente, relativos à percentagem de germinação do arroz em casca, em experimento realizado com diferentes tratamentos de temperatura de secagem e duração de temperagem. Quanto especificamente ao processo de temperagem pode-se observar que para a temperatura de secagem de 40°C na massa de grãos, a temperagem interferiu significativamente na germinação, apresentando germinação sem diferenças significativas em relação às apresentadas pela secagem de 25°C (controle), isto quando utilizado duração de temperagem mínima de 240 min. No entanto, especificamente para a temperatura de secagem de 55°C na massa de grãos, os tratamentos de temperagem, nas condições testadas, praticamente não apresentaram germinação com diferenças significativas entre si. Pesquisadores (NGUYEN e KUNZE, 1984; PEREIRA, 1989; CNOSSSEN e SIEBENMORGEN, 2000) tem demonstrado que temperagens adequadas, com uso de temperaturas acima da ambiente, podem minimizar o potencial de danos de grãos submetidos a condições severas de secagem. A temperagem reduz o número de grãos fissurados e quebrados decorrentes de secagem com temperaturas elevadas, e grãos íntegros, sem danos em sua estrutura física, possibilitam maiores percentuais de germinação. Quanto ao armazenamento, nota-se que em praticamente todos os tratamentos os percentuais de germinação reduziram com o aumento do tempo de armazenamento. Elias et al. (2015) relatam que o decréscimo da qualidade fisiológica das sementes é potencializado pelo tempo de armazenamento, provocando uma redução de sua germinação, caracterizando o efeito latente na qualidade fisiológica das sementes.

4.5 Características industriais

4.5.1 Grãos com fissuras (fissurados)

A formação de fissuras perceptíveis foi avaliada e os resultados estão mostrados pela Tabela 04.

Tabela 04 – Percentagem de grãos de arroz com fissuras, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Grãos com fissuras (%)			
	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
0) 25°C	A 9,00±2,58 d	A 8,50±2,89 d	A 7,00±1,73 c	A 8,33±0,58 d
1) 40°C- 0 min	A 19,00±2,58 ab	AB 15,25±0,50 bc	B 11,33±0,58 bc	B 12,67±3,51 cd
2) 40°C-120 min	A 16,00±2,83 bc	AB 14,00±1,41 bc	B 9,67±3,06 bc	AB 11,00±0,00 d
3) 40°C-240 min	A 12,00±3,65 cd	A 11,75±1,26 cd	A 8,33±2,08 c	A 8,67±3,51 d
4) 55°C- 0 min	A 23,00±2,58 a	A 23,00±2,16 a	A 19,33±4,62 a	A 25,00±1,00 a
5) 55°C-120 min	A 18,00±2,83 abc	A 18,00±2,83 b	A 15,67±2,31 ab	A 20,00±1,00 ab
6) 55°C-240 min	A 14,50±1,91 bcd	A 14,25±1,26 bc	A 13,67±2,08 abc	A 17,33±1,15 bc

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05);

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 2) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 5) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Pela Tabela 04 verifica-se que os tratamentos com temperatura de secagem de 25°C (controle) e de 40°C com temperagem de 240 min, apresentaram os menores percentuais de grãos com fissuras, e a secagem a 55°C de temperatura sem temperagem apresentou os maiores percentuais de grãos com fissuras. Em relação ao processo de secagem, observa-se que quanto maior a temperatura empregada, em uma mesma condição de temperagem, maiores são os percentuais de grãos com fissuras, resultado semelhante aos encontrados por outros autores (CNOSSEN et al., 2003; IGUAZ et al., 2006; ONDIER et al., 2010; ODEK et al., 2018). Já em relação ao processo de temperagem, nota-se que a sua duração interfere significativamente no resultado possibilitando reduzir o percentual de grãos com fissuras com o aumento do tempo de duração desta etapa. Os resultados mostram ainda que a temperagem de 240 min, para a temperatura de secagem de 40°C, em todo o tempo de armazenamento testado, proporcionou percentuais de grãos com fissuras sem diferença significativa em relação à secagem com temperatura de 25°C (controle). Pode-se observar ainda que a duração de 240 min de temperagem, em comparação aos tratamentos sem temperagem, possibilitou reduções significativas, na ordem de 37%, na

percentagem de grãos com fissuras. Portanto, os resultados encontrados indicam que o uso da temperagem possibilitou que as tensões geradas durante as secagens com temperaturas elevadas, que provocam fissuras nos grãos, tendem a serem reduzidas. Dong et al. (2010) estudando a temperagem realizada logo após a secagem de arroz em casca, concluíram que a secagem e a duração de temperagem tiveram influências significativas no gradiente de umidade e na formação de fissura nos grãos, sendo que a percentagem de grãos com fissura aumentou com o acréscimo do tempo de secagem e reduziu com o aumento da duração da temperagem, cujos resultados demonstram que grãos de arroz em casca, após secagem a 50°C na temperatura do ar, e com temperagem de 60 min à temperatura de 50°C, reduzem a incidência de fissuras de 32 a 50% em comparação com temperagem a 20°C. Quanto ao armazenamento, nota-se que alguns tratamentos tiveram seus percentuais de grãos fissurados reduzidos até o oitavo mês, indicando a necessidade de um período de repouso para que as tensões internas geradas nos grãos reduzam de intensidade, resultado semelhante também encontrado por Santos (2004).

4.5.2 Rendimento de grãos inteiros com defeitos

A qualidade, quanto ao rendimento de grãos inteiros com defeitos, foi avaliada através da percentagem de grãos inteiros de arroz, beneficiados pelo processo convencional (branco polido), classificados conforme a norma oficial (BRASIL, 2009^b), mostrados pela Tabela 05.

Tabela 05 – Rendimento de grãos de arroz inteiros com defeitos, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Rendimento de grãos inteiros com defeitos (%)			
	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
0) 25°C	A 64,44±1,49 a	A 64,14±0,86 a	B 58,01±0,99 a	B 59,58±0,02 a
1) 40°C- 0 min	A 40,55±1,52 c	A 39,96±1,01 d	A 39,08±0,99 b	A 41,05±0,72 c
2) 40°C-120 min	A 45,77±0,71 b	A 45,42±0,01 b	C 40,25±0,31 b	B 42,11±0,90 c
3) 40°C-240 min	B 63,26±0,81 a	A 64,85±0,32 a	C 59,08±0,32 a	C 58,29±0,05 b
4) 55°C- 0 min	C 21,76±0,16 e	B 30,41±0,32 e	A 32,13±1,15 c	A 32,64±0,02 f
5) 55°C-120 min	C 36,86±1,18 d	A 40,23±1,33 cd	AB 39,31±0,01 b	BC 37,89±0,10 e
6) 55°C-240 min	A 43,07±1,03 bc	A 42,40±0,92 c	B 39,92±0,52 b	B 39,77±0,06 d

* Médias aritméticas simples de três repetições \pm desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 2) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 5) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Pela Tabela 05 verifica-se que os tratamentos com temperatura de secagem de 25°C (controle) e de 40°C com temperagem de 240 min, apresentaram os maiores rendimentos de grãos inteiros (com defeitos). Já a secagem com 55°C de temperatura sem temperagem ofereceu os menores percentuais. Em relação ao processo de secagem, portanto, pode-se constatar que quanto maior a temperatura empregada, menores são as percentagens de grãos inteiros, confirmando que grãos de arroz em casca não suportam secagem com temperaturas elevadas, pois altas taxas temporais de remoção de água contribuem para aumentar o percentual de grãos quebrados no beneficiamento industrial (ONDIER et al., 2010; CNOSSEN e SIEBENMORGEN, 2000; SCHULTERMAN e SIEBENMORGEN, 2007; ODEK et al., 2018). Já em relação a temperagem, nota-se que esta interfere significativamente no resultado, possibilitando reduzir o percentual de grãos quebrados com o seu uso, sendo que no caso da secagem a 40°C de temperatura obteve-se um ganho médio próximo a 20 pontos percentuais no rendimento de grãos inteiros quando compara-se o uso de temperagem por 240 min à essa mesma secagem sem temperagem. Os resultados apresentados pela Tabela 05 indicam também que a secagem de 40°C e

temperagem de 240 min proporcionam rendimento de grãos inteiros (com defeitos) sem diferença significativa em relação à secagem de 25°C (controle) até pelo menos o oitavo mês de armazenamento. Já para a secagem de 55°C, mesmo que o acréscimo da duração da temperagem tenha melhorado significativamente o rendimento de grãos inteiros, o tempo de 240 min não foi suficiente para que os percentuais fossem equivalentes aos apresentados pela secagem de 25°C (controle). Pereira (1989) testando, em secagem intermitente, três temperaturas do ar de secagem, 70°C, 80°C e 90°C, com quatro durações de temperagem, 30 min, 60 min, 120 min e 240 min, concluiu que a temperagem de 240 min com temperatura de 70°C apresentou maior rendimento de grãos inteiros. Destaca-se que a temperagem decresce o gradiente de umidade do grão de arroz, permitindo que a umidade migre gradualmente do interior para sua camada periférica. Este gradiente causa tensões diferentes dentro do grão, que se suficientemente grandes, originariam fissuras no interior do grão, prejudicando sua qualidade (SCHLUTERMAN e SIEBENMORGEN, 2007; MASATSUGU et al., 2016). Em pesquisas realizadas, Iguaz et al. (2006), Aquerreta et al. (2007) e Odek et al. (2018), concluíram que a temperagem com uso de temperatura elevada reduz significativamente a percentagem de grãos com fissuras e de grãos quebrados. Estudando a temperagem na secagem do arroz em casca, Clossen et al. (2003), mostraram que a percentagem de grãos fissurados reduziu com o aumento da duração de temperagem, salientando que algumas amostras ainda tinham muitos grãos fissurados depois da temperagem estendida, ainda que apresentassem um alto rendimento de grãos inteiros, indicando que a duração de temperagem necessária para prevenir fissuras é maior do que a necessária para manter um elevado rendimento de grãos inteiros. Dong et al. (2009) indicaram que com uso de temperagem a 50°C de temperatura, durante 120 min, foram removidos cerca de 80% dos gradientes de umidade criados no grão de arroz durante a secagem, sendo esse gradiente um fator relevante na formação de fissuras e posteriores quebras de grãos.

4.5.3 Defeitos totais

A qualidade, quanto à incidência de defeitos, foi avaliada pela percentagem de grãos de arroz com defeitos totais, beneficiados pelo processo convencional (branco polido), classificados conforme a norma oficial (BRASIL, 2009^b), mostrados pela Tabela 06.

Tabela 06 – Percentagem de grãos de arroz com defeitos totais, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1^o, 4^o, 8^o e 12^o mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Percentagem de grãos com defeitos totais (%)			
	1 ^o mês	4 ^o mês	8 ^o mês	12 ^o mês
0) 25°C	B 0,75±0,01 a	A 0,96±0,15 a	A 1,07±0,16 a	A 1,07±0,12 a
1) 40°C- 0 min	C 0,39±0,01 d	B 0,68±0,05 ab	AB 0,72±0,09 bc	A 0,83±0,02 bcd
2) 40°C-120 min	B 0,64±0,01 b	B 0,56±0,02 b	B 0,56±0,11 c	A 0,99±0,14 abc
3) 40°C-240 min	B 0,63±0,02 b	AB0,73±0,17 ab	A 0,97±0,02 ab	A 0,89±0,08 abcd
4) 55°C- 0 min	B 0,45±0,01 c	B 0,46±0,06 b	B 0,51±0,09 c	A 0,74±0,03 d
5) 55°C-120 min	B 0,65±0,01 b	B 0,59±0,06 b	B 0,55±0,04 c	A 0,79±0,05 cd
6) 55°C-240 min	C 0,29±0,01 e	B 0,58±0,14 b	B 0,68±0,13 c	A 1,05±0,09 ab

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05);

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 2) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 5) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Pelos resultados da Tabela 06, observa-se que a secagem com 25°C de temperatura apresentou os maiores percentuais de grãos com defeitos totais, e a secagem com 55°C de temperatura ofereceu os menores percentuais, principalmente nos primeiros meses de armazenamento. Em relação ao processo de secagem, avaliando-se os resultados de uma forma geral, pode-se afirmar que quanto maior a temperatura empregada, menores são os percentuais de grãos com defeitos totais. Rombaldi (1988) relata que as condições de secagem a que os grãos foram submetidos influenciam, de maneira significativa, as percentagens de defeitos. Destaca-se que a morosidade da secagem com uso de baixas temperaturas, associada à umidade elevada dos grãos por tempo prolongado, permite o crescimento da

atividade enzimática, aumentando o metabolismo dos organismos associados e dos próprios grãos, tanto durante como após o processo de secagem, resultando no aparecimento ou no aumento da intensidade dos defeitos. (ELIAS et al., 2015). Quanto à temperagem, nota-se que não é possível constatar que essa interferiu de maneira significativa nos resultados. Os resultados indicam que as secagens com uso de temperaturas mais elevadas, de 40°C ou de 55°C, independentemente da duração da temperagem, possibilitam menores percentuais de grãos com defeitos totais em relação aos apresentados pela secagem de 25°C (controle). Verifica-se ainda que quanto maior o tempo do armazenamento, maiores são os percentuais de defeitos totais dos grãos armazenados. Santos (2004) testou três secagens, em sistema estacionário, com temperaturas na massa de grãos de 30±5°C, 40±5°C e 50±5°C, e obteve percentuais médios de grãos com defeitos totais de 0,6%, 0,4% e 0,3%, respectivamente, concluindo que quanto maior a temperatura empregada nas secagens testadas, menores são os percentuais de grãos com defeitos totais resultantes.

4.5.4 Rendimento de grãos inteiros sem defeitos

A qualidade, quanto ao rendimento de grãos inteiros sem defeitos, relativa ao desempenho industrial, foi avaliada pelos percentuais de grãos inteiros de arroz sem defeitos, beneficiados pelo processo convencional (branco polido), classificados conforme a norma oficial (BRASIL, 2009^b), apresentados na Tabela 07.

Tabela 07 – Rendimentos de grãos de arroz inteiros sem defeitos, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Rendimento de grãos inteiros sem defeitos (%)			
	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
0) 25°C	A 63,69±1,50 a	A 63,17±1,01 a	B 56,94±0,83 a	B 58,51±0,14 a
1) 40°C- 0 min	A 40,16±1,53 c	A 39,28±1,06 d	A 38,36±1,08 b	A 40,22±0,73 b
2) 40°C-120 min	A 45,13±0,71 b	A 44,86±0,02 b	B 39,69±0,20 b	B 41,13±1,04 b
3) 40°C-240 min	B 62,63±0,79 a	A 64,12±0,46 a	C 58,11±0,33 a	C 57,40±0,12 a
4) 55°C- 0 min	C 21,30±0,15 d	B 29,95±0,27 e	A 31,62±1,18 c	A 31,90±0,03 e
5) 55°C-120 min	C 36,21±1,19 e	A 39,64±1,39 cd	AB 38,76±0,05 b	BC 37,10±0,14 d
6) 55°C-240 min	A 42,78±1,03 bc	A 41,82±0,80 c	B 39,25±0,60 b	B 38,73±0,05 c

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 2) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 5) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Pela análise da Tabela 07 verifica-se que os tratamentos com temperatura de secagem de 25°C (controle) e de 40°C com temperagem de 240 min, apresentaram os maiores percentuais de grãos inteiros sem defeitos e a secagem com 55°C de temperatura sem temperagem ofereceu os menores percentuais. Em relação ao processo de secagem, confirma-se que quanto maior a temperatura empregada, menores são as percentagens de grãos inteiros. Como demonstrado em outros estudos (DONG et al., 2010; SANDOVAL et al., 2009), um aumento na temperatura de secagem intensifica as mudanças térmicas, aumentando a velocidade de secagem e reduzindo o tempo de processo. ELIAS et al. (2015) salientam que a temperatura de secagem, em sistema estacionário, não deve ultrapassar 40°C na massa de grãos, devendo haver rigor no controle da uniformidade dessa temperatura para evitar (ou pelo menos reduzir) os choques térmicos, os quais predispõem os grãos à quebras, reduzindo sua conservabilidade. Em relação à temperagem, constata-se que a duração dessa etapa interfere significativamente no resultado, possibilitando redução dos grãos quebrados com o acréscimo do tempo de duração da temperagem. Os resultados indicam ainda que a secagem com temperatura de 40°C e duração de temperagem de

240 min proporciona percentuais de grãos inteiros sem defeitos equivalentes significativamente aos apresentados pela secagem de 25°C (controle). No entanto, para a secagem de 55°C, mesmo que o acréscimo da duração de temperagem tenha melhorado consideravelmente os resultados, o tempo de 240 min não foi suficiente para que os resultados fossem equivalentes aos apresentados pela secagem de 25°C (controle). Quanto ao tempo de armazenamento, verifica-se que sua ampliação promoveu a redução do rendimento de grãos inteiros sem defeitos para todos os tratamentos testados, com exceção da secagem com 50°C sem temperagem. Madamba e Yabes (2005) encontraram resultados semelhantes em um experimento realizado com diferentes condições de secagem e temperagem Wasserman et al. (1964) mostraram o aumento de rendimento de grãos inteiros e a redução da duração de temperagem com o acréscimo da temperatura de temperagem, para uma variedade de arroz de grãos curtos secos, com 43,3°C de temperatura do ar, onde o rendimento de grãos inteiros foi 2,0% mais alto para o arroz com temperatura de temperagem de 40,6°C, em relação ao arroz com temperatura de temperagem de 23,8°C, sendo que as amostras com temperatura de temperagem de 40,6°C necessitaram 4 horas de duração, enquanto as amostras com temperatura de temperagem de 23,8°C necessitaram 6 horas. A temperagem decresce o gradiente de umidade do interior do grão de arroz, permitindo que a umidade migre gradualmente do interior para a camada periférica. Este gradiente de umidade causa tensões diferentes dentro do grão, que se suficientemente grande, originaria fissuras no interior do grão, prejudicando sua qualidade devido ao aumento de fissuras e de grãos quebrados e a consequente redução do rendimento de grãos inteiros (SCHLUTERMAN e SIEBENMORGEN, 2007). Da mesma forma, Iguaz et al. (2006) e Aquerreta et al. (2007) concluíram que a temperagem com uso de temperatura elevada reduz a percentagem de grãos fissurados e de grãos quebrados, ampliando o rendimento de grãos inteiros significativamente.

4.5.5 Perfil branquimétrico

A qualidade foi avaliada pelo grau de brancura e de transparência, cujos resultados são apresentados pelas Tabelas 08 e 09 respectivamente.

Tabela 08 – Graus de brancura de grãos de arroz inteiros sem defeitos, beneficiados pelo processo convencional, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Graus de brancura de grãos inteiros sem defeitos			
	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
0) 25°C	A 48,27±0,50 a	B 44,23±0,06 a	C 43,40±0,10 a	D 38,87±0,06 ab
1) 40°C- 0 min	A 48,00±0,35 a	B 44,10±0,10 a	C 43,40±0,10 a	D 38,90±0,00 a
2) 40°C-120 min	A 48,00±0,10 a	B 44,17±0,03 a	C 43,42±0,06 a	D 38,92±0,03 a
3) 40°C-240 min	A 48,37±0,35 a	B 44,23±0,06 a	C 43,43±0,06 a	D 38,93±0,06 a
4) 55°C- 0 min	A 48,10±0,50 a	B 44,20±0,00 a	C 43,33±0,06 a	D 38,73±0,06 bc
5) 55°C-120 min	A 48,07±0,15 a	B 44,13±0,06 a	C 43,32±0,08 a	D 38,70±0,05 c
6) 55°C-240 min	A 48,03±0,23 a	B 44,07±0,12 a	C 43,30±0,10 a	D 38,67±0,06 c

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05);

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 2) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 5) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Tabela 09 – Graus de transparência de grãos de arroz inteiros sem defeitos, beneficiados pelo processo convencional, classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Graus de transparência de grãos inteiros sem defeitos			
	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
0) 25°C	C 4,10±0,09 a	A 4,58±0,10 a	B 4,38±0,05 c	D 3,66±0,02 a
1) 40°C- 0 min	B 4,13±0,14 a	A 4,61±0,07 a	A 4,42±0,05 bc	C 3,68±0,02 a
2) 40°C-120 min	C 4,28±0,02 a	A 4,64±0,06 a	B 4,48±0,05 abc	D 3,70±0,01 a
3) 40°C-240 min	B 4,29±0,10 a	A 4,68±0,10 a	A 4,54±0,06 a	C 3,72±0,03 a
4) 55°C- 0 min	C 4,14±0,02 a	A 4,59±0,01 a	B 4,50±0,03 ab	D 3,68±0,04 a
5) 55°C-120 min	C 4,04±0,03 a	A 4,60±0,00 a	B 4,51±0,02 ab	D 3,70±0,05 a
6) 55°C-240 min	B 4,15±0,03 a	A 4,61±0,01 a	A 4,52±0,02 ab	C 3,71±0,07 a

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05);

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 2) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 5) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 120 minutos; 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Pelas Tabelas 08 e 09 observa-se que os tratamentos testados, nas condições propostas, tanto em relação à temperatura de secagem quanto à duração da temperagem, não interferiram significativamente nos resultados do perfil branquimétrico pelo menos até o quarto mês de armazenamento. Madamba e Yabes (2005) encontraram resultados semelhantes, relativos ao grau de brancura do arroz, em experimento realizado com diferentes tratamentos de temperatura de secagem e duração de temperagem. Em relação especificamente à transparência dos grãos, praticamente não ocorreram diferenças estatística significativas entre os tratamentos, no entanto é possível observar principalmente no oitavo mês de armazenamento uma tendência de aumento no grau de transparência com a ampliação da temperatura de secagem e duração de temperagem, isso provavelmente se deve ao fato de que o uso de temperaturas elevadas na secagem de arroz em casca e condições de temperagem pode levar os grânulos de amido, presentes nos grãos, a alterações no seu estado físico, passando de uma condição mais cristalina para uma mais amorfa, promovendo, durante a secagem, a gelatinização de porções do grão e, durante a temperagem, o retorno para uma condição vítrea, o que lhe confere uma maior transparência ou translucidez (PERDON et al., 2000; CNOSSEN e SIEBENMORGEN, 2000; YANG et al., 2000^a e 2000^b; KAMRUZZAMAN et al., 2017). Ao realizarem experimento com arroz em casca, Jaisut et al. (2008) demonstraram que processos de secagem com alta temperatura e de temperagem adequada, podem fazer com que os grânulos de amido percam sua forma poligonal revelada por microscopia eletrônica de varredura, ocorrendo a gelatinização parcial do amido do arroz. Em estudo realizado com arroz ceroso, Jaiboon et al. (2011) relataram que o grau de gelatinização dos grãos aumentou com o acréscimo da temperatura de secagem, sendo que com temperaturas a partir de 130°C no ar de secagem e durações de 30 min de temperagem, a aparência de alguns grãos mudou de opaco para translúcido, indicando a gelatinização do amido.

Verifica-se ainda que, nos tratamentos testados, o tempo de armazenamento reduziu a brancura dos grãos de arroz, sendo que a transparência foi reduzida significativamente somente a partir do oitavo mês.

4.6 Características de consumo

4.6.1 Parâmetros de cocção

4.6.1.1 Tempo de cocção

A qualidade, quanto às características de consumo, foi avaliada pelo tempo de cocção, cujos resultados estão na Tabela 10.

Tabela 10 – Tempo de cocção de grãos de arroz inteiros sem defeitos, beneficiados pelo processo convencional, sob diferentes temperaturas de secagem e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Tempo de cocção (min)			
	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
0) 25°C	A 14,32±0,36 a	A 14,27±0,04 a	A 14,56±0,11 a	A 14,56±0,09 a
1) 40°C- 0 min	A 12,15±0,09 c	A 12,28±0,08 c	A 12,53±0,47 b	A 12,49±0,44 c
3) 40°C-240 min	A 13,22±0,22 b	A 13,31±0,09 b	A 13,53±0,47 b	A 13,63±0,41 b
4) 55°C- 0 min	A 12,11±0,01 c	A 12,24±0,03 c	A 12,53±0,47 b	A 12,74±0,23 c
6) 55°C-240 min	B 12,21±0,09 c	AB 12,38±0,11 c	A 12,72±0,17 b	AB 12,67±0,30 c

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05);

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Pela Tabela 10 verifica-se que a secagem com temperatura menor, de 25°C (controle), proporcionou os maiores tempos de cocção dos tratamentos testados. Já os tratamentos com temperaturas de secagem maiores, resultaram em tempos de cocção inferiores. Estes resultados estão de acordo com pesquisa realizada por Santos (2004), ao demonstrar que quanto maior a temperatura de secagem menor é o tempo de cocção.

Comparando-se com os resultados anteriores, verifica-se uma relação direta entre a elevação da temperatura de secagem do arroz em casca e a redução do tempo de cocção do arroz beneficiado. Observa-se que secagens com temperaturas elevadas ampliam a quantidade e a intensidade de fissuras geradas nos grãos de arroz, que por sua vez, facilitam a entrada de água e incrementam a superfície de troca entre a água e os grãos durante seu cozimento, reduzindo o seu tempo de cocção. Pela comparação pode-se ainda verificar que principalmente para a condição de temperatura de secagem de

40°C, a ampliação da duração do processo de temperagem pós-secagem do arroz em casca, reduz o percentual de grãos fissurados, que, por sua vez, amplia significativamente o tempo de cocção. Confirmando esta tendência, observa-se que a secagem com temperatura de 55°C e sem temperagem apresenta os maiores percentuais de grãos fissurados dos tratamentos testados, e também os menores tempos de cocção.

A secagem com alta temperatura de grãos aumenta a quantidade e a intensidade das fissuras geradas nos grãos de arroz, o que conseqüentemente amplia a superfície de troca entre água e grãos durante o processo de secagem e reduz o tempo de cocção (MOHAPATRA e BAL, 2006; YU et al., 2017; LAN et al., 2018).

4.6.1.2 Rendimento volumétrico e rendimento gravimétrico

A qualidade, quanto às características de consumo, foi avaliada pelo rendimento volumétrico e gravimétrico, cujos resultados estão nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Rendimento volumétrico de grãos de arroz inteiros sem defeitos, beneficiados pelo processo convencional, sob diferentes temperaturas de secagem e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Rendimento volumétrico (%)			
	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
0) 25°C	A 330,12± 5,61 a	A 325,73±8,16 a	A 325,16±0,00 a	A 332,70±2,16 a
1) 40°C- 0 min	A 327,00±11,47 a	A 334,60±9,70 a	A 324,19±0,83 a	A 329,37±3,77 a
3) 40°C-240 min	A 319,05± 9,62 ab	A 326,60±1,45 a	A 325,16±2,51 a	A 331,28±3,01 a
4) 55°C- 0 min	B 306,02± 2,07 bc	A 326,36±1,51 a	A 326,12±1,67 a	A 332,75±4,63 a
6) 55°C-240 min	C 296,82± 5,07 c	A 338,79±0,87 a	B 326,12±0,84 a	B 329,43±1,39 a

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05);

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Quanto ao rendimento volumétrico, observa-se pela Tabela 11 que no primeiro mês os tratamentos com temperaturas de 55°C apresentaram valores significativamente menores, no entanto a partir do quarto mês de armazenamento estes não apresentaram diferenças significativas.

Tabela 12 – Rendimento gravimétrico de grãos de arroz inteiros sem defeitos, beneficiados pelo processo convencional, sob diferentes temperaturas de secagem e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Rendimento gravimetrico (%)			
	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
0) 25°C	B 287,14±12,37 a	A 310,08± 2,52 a	A 318,65±5,38 a	A 319,12±5,26 a
1) 40°C- 0min	B 279,52±12,15 a	B 290,10± 8,98 ab	A 312,78±3,14 ab	A 313,45±3,27 ab
3) 40°C-240min	B 283,33± 9,07 a	B 293,95± 5,23 ab	A 312,58±3,96 ab	A 313,15±3,73 ab
4) 55°C- 0min	B 271,90± 7,05 a	AB288,51±11,06 b	A 305,67±4,50 b	A 306,24±4,38 b
6) 55°C-240min	B 280,00± 6,54 a	A 300,39± 6,59 ab	A 309,53±4,95 ab	A 309,25±5,61 ab

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05);

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

No rendimento gravimétrico, que está relacionado com a absorção de água ocorrida durante o cozimento, a secagem com temperatura de 55°C sem temperagem apresentou a partir do quarto mês de armazenamento valores menores significativamente em relação aos demais tratamentos. Em relação ao tempo de armazenamento, o rendimento gravimétrico apresentou percentuais maiores significativamente principalmente a partir do oitavo mês de armazenamento, em todos os tratamentos testados. Clossen et al. (2003) relatam que a presença de grãos fissurados pode alterar o cozimento. Jaiboon et al. (2011), em estudo realizado com arroz ceroso, mostraram que grãos processados com altas temperaturas de secagem (de 90°C a 150°C no ar) e com temperagem de 30 min, quando cozidos, apresentaram maior absorção de água. Valores mais baixos de rendimento volumétrico e gravimétrico foram associados com menor absorção e retenção de água (ARNS et al., 2014; YU et al., 2017).

4.6.2 Atributos sensoriais

A qualidade, quanto aos atributos sensoriais, foi avaliada pelo odor, sabor, solubilidade e firmeza do arroz cozido, com resultados mostrados pelas Tabelas 13, 14, 15 e 16.

Tabela 13 – Odor de grãos inteiros de arroz sem defeitos cozidos, beneficiados pelo processo convencional (branco polido), classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1^o, 4^o, 8^o e 12^o mês de armazenamento*.

Temperatura – Temperagem**	Odor do arroz cozido (cm)			
	1 ^o mês	4 ^o mês	8 ^o mês	12 ^o mês
0) 25°C (controle)	A 6,78 a	A 6,66 a	B 4,67 a	AB 5,17 a
1) 40°C – 0 min	A 6,25 a	A 5,21 a	A 4,37 a	A 5,53 a
3) 40°C – 240 min	A 6,11 a	A 5,32 a	A 4,25 a	A 5,71 a
4) 55°C – 0 min	A 6,87 a	AB 5,12 a	B 4,50 a	B 4,91 a
6) 55°C – 240 min	A 6,43 a	A 5,21 a	A 4,47 a	A 5,07 a

* Médias aritméticas simples, de quinze repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$); valoração de acordo com escala sensorial: de 0,0 a 3,00cm – não característico ao arroz branco; de 3,00 a 6,00cm – regularmente característico ao arroz branco; de 6,00 a 9,00cm – característico ao arroz branco.

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Tabela 14 – Sabor de grãos inteiros de arroz sem defeitos cozidos, beneficiados pelo processo convencional (branco polido), classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL[®], sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1^o, 4^o, 8^o e 12^o mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Sabor do arroz cozido (cm)			
	1 ^o mês	4 ^o mês	8 ^o mês	12 ^o mês
0) 25°C	A 5,71 a	A 4,37 a	A 5,09 a	A 4,90 a
1) 40°C- 0 min	A 5,54 a	A 4,69 a	A 5,29 a	A 5,86 a
3) 40°C-240 min	A 4,89 a	A 4,39 a	A 5,76 a	A 6,00 a
4) 55°C- 0 min	A 5,62 a	A 4,79 a	A 5,68 a	A 5,43 a
6) 55°C-240 min	A 5,78 a	A 5,09 a	A 5,23 a	A 5,59 a

* Médias aritméticas simples, de quinze repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$); valoração de acordo com escala sensorial: de 0,0 a 3,00cm – não característico ao arroz branco; de 3,00 a 6,00cm – regularmente característico ao arroz branco; de 6,00 a 9,00cm – característico ao arroz branco.

**0) secagem da massa de grãos a 25±5°C (controle); 1) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 3) secagem da massa de grãos a 40±5°C e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 6) secagem da massa de grãos a 55±5°C e duração de temperagem de 240 minutos.

Pelas Tabelas 13 e 14 verifica-se que os tratamentos testados, nas condições propostas, tanto em relação à temperatura de secagem quanto à duração do processo de temperagem, não interferiram significativamente nos resultados relativos ao odor e ao sabor do arroz cozido, apresentando em

todos tratamentos, até o primeiro mês de armazenamento, odor “característico ao arroz branco” e a partir do quarto mês apresentando odor “regularmente característico ao arroz branco”. O sabor se apresentou para todos os tratamentos e em todo o tempo de armazenamento como sendo “regularmente característico ao arroz branco”.

Tabela 15 – Soltabilidade de grãos inteiros de arroz sem defeitos cozidos, beneficiados pelo processo convencional (branco polido), classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL®, sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem, no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Soltabilidade do arroz cozido (cm)			
	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
0) 25°C	A 4,94 a	A 3,71 a	A 3,91 a	A 3,90 a
1) 40°C- 0 min	A 3,25 b	A 3,84 a	A 4,53 a	A 3,43 a
3) 40°C-240 min	A 3,81 ab	A 3,69 a	A 4,19 a	A 3,44 a
4) 55°C- 0 min	A 2,97 b	A 3,34 a	A 4,15 a	A 3,21 a
6) 55°C-240 min	A 3,64 ab	A 3,61 a	A 3,73 a	A 3,41 a

* Médias aritméticas simples, de quinze repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$); valoração de acordo com escala sensorial: de 0,0 a 1,80cm – grãos pastosos; de 1,80 a 3,60cm – grãos grudados; de 3,60 a 5,40cm – grãos regularmente soltos; de 5,40 a 7,20cm – grãos parcialmente separados; e 7,20 a 9,00cm – grãos bem separados.

**0) secagem da massa de grãos a $25 \pm 5^\circ\text{C}$ (controle); 1) secagem da massa de grãos a $40 \pm 5^\circ\text{C}$ e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 3) secagem da massa de grãos a $40 \pm 5^\circ\text{C}$ e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a $55 \pm 5^\circ\text{C}$ e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 6) secagem da massa de grãos a $55 \pm 5^\circ\text{C}$ e duração de temperagem de 240 minutos.

Através da Tabelas 15 verifica-se que, no primeiro mês de armazenamento, as secagens com temperaturas de 40°C e 55°C sem temperagem apresentaram “grãos grudados”, sendo que o uso da temperagem nessas mesmas temperaturas de secagem promoveu grãos “regularmente soltos”, indicando que o uso de temperaturas elevadas na secagem do arroz em casca promove grãos cozidos mais grudados, prejudicando a característica original desse tipo de arroz, e que a implantação da etapa de temperagem pós-secagem pode proporcionar grãos mais soltos, favorecendo essa importante característica de preferência de consumo.

Tabela 16 – Firmeza de grãos inteiros de arroz sem defeitos cozidos, beneficiados pelo processo convencional (branco polido), classe longo-fino, cultivar GURI INTA CL®, sob diferentes condições de temperatura de secagem da massa de grãos e duração de temperagem no 1º, 4º, 8º e 12º mês de armazenamento*.

Temperatura - Temperagem**	Firmeza do arroz cozido (cm)			
	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
0) 25°C	A 5,97 a	AB 4,75 a	B 3,92 a	B 3,63 a
1) 40°C- 0 min	A 4,66 ab	A 4,93 a	A 3,93 a	A 4,11 a
3) 40°C-240 min	A 4,65 ab	A 4,73 a	A 4,46 a	A 3,88 a
4) 55°C- 0 min	A 4,04 b	A 4,75 a	A 4,11 a	A 3,62 a
6) 55°C-240 min	A 4,42 ab	A 4,95 a	A 4,44 a	A 3,98 a

* Médias aritméticas simples, de quinze repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$); valoração de acordo com escala sensorial: de 0,0 a 1,80cm – grãos com centro duro; de 1,80 a 3,60cm – grãos firmes mastigáveis; de 3,60 a 5,40cm – grãos macios firmes; de 5,40 a 7,20cm – grãos moles; e 7,20 a 9,00cm – grãos em massa mole.

**0) secagem da massa de grãos a $25 \pm 5^\circ\text{C}$ (controle); 1) secagem da massa de grãos a $40 \pm 5^\circ\text{C}$ e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 3) secagem da massa de grãos a $40 \pm 5^\circ\text{C}$ e duração de temperagem de 240 minutos; 4) secagem da massa de grãos a $55 \pm 5^\circ\text{C}$ e duração de temperagem de 0 minutos (sem temperagem); 6) secagem da massa de grãos a $55 \pm 5^\circ\text{C}$ e duração de temperagem de 240 minutos.

Pela Tabela 16 observa-se que, no primeiro mês de armazenamento, a elevação da temperatura de secagem interferiu significativamente nos resultados, passando de “grãos moles”, no caso da secagem com temperatura de 25°C , para “grãos macios firmes” nas secagens com temperaturas de 40°C e 55°C . Nesse atributo não é possível afirmar que houve interferência significativa da etapa de temperagem.

Valores mais baixos de rendimento volumétrico e gravimétrico foram associados com menor absorção e retenção de água, e indicaram grãos mais firmes após o cozimento (ARNS et al., 2014). Em experimento realizado, Jaisut et al. (2008) relataram que secagem com temperatura elevada torna os grãos mais firmes. Em estudo realizado com arroz ceroso, Jaiboon et al. (2011) mostraram que grãos processados com altas temperaturas de secagem (de 90°C a 150°C no ar) e com temperagem de 30 min, quando cozidos, não diferiram significativamente em relação aos atributos sensoriais testados (brancura, pegajosidade, plasticidade, dureza e aceitabilidade global). A presença de grãos fissurados pode alterar o cozimento e a quebra durante a manipulação final, sendo que esta quebra do grão irá reduzir a qualidade do produto cozido e/ou produzir resíduos significativos (CNOSSEN et al., 2003; YU et al., 2017).

5 Considerações Finais

Tratamentos de secagem e temperagem do arroz em casca foram investigados em relação à transição vítrea e na qualidade dos grãos pela avaliação das características biológica, industriais e de consumo, ao longo do tempo de armazenamento, sendo as seguintes conclusões extraídas desse trabalho: I) A implantação da etapa de temperagem com isolamento térmico e hídrico e duração de 120 min e 240 min, realizada imediatamente após as secagens com temperaturas de 40°C e 55°C, atenuou os efeitos prejudiciais causados nas características biológica e industriais dos grãos de arroz, sendo que o tratamento com secagem de 40°C e temperagem de 240 min proporcionou percentuais de germinação, de grãos com fissuras, de grãos inteiros sem defeitos e perfil branquiométrico sem diferenças significativas em relação à secagem com temperatura de 25°C, ao longo do tempo de armazenamento testado; II) A temperatura de secagem tem efeito significativo sobre a transição vítrea e nas características biológica e industriais dos grãos, de modo que o acréscimo da temperatura promove aumento na velocidade de secagem e na percentagem de grãos com fissuras e redução nos percentuais de germinação e de grãos inteiros; III) Nas características de consumo, a ampliação da temperatura de secagem reduziu significativamente o tempo de cocção do arroz, e nos atributos sensoriais, o “odor” e o “sabor” não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, mantendo-se com odor “regularmente característico ao arroz branco” e “característico ao arroz branco” e sabor “regularmente característico ao arroz branco”. No atributo “soltabilidade”, os tratamentos com temperaturas de secagem de 40°C e 55°C sem temperagem, promoveram no primeiro mês de armazenamento “grãos grudados”, prejudicando a característica original desse tipo de arroz, sendo que estas mesmas secagens com a implantação da etapa de temperagem de 240 min proporcionou “grãos regularmente soltos”, favorecendo, portanto, esta característica. No atributo “firmeza”, a elevação da temperatura de secagem, pelo menos no primeiro mês de armazenamento, interferiu positivamente nos resultados, passando de “grãos moles”, no caso da secagem com temperatura de 25°C, para “grãos macios firmes” nas secagens com temperaturas de 40°C e 55°C.

Referências

ABRAPEX - Associação brasileira de poliestireno expandido. <http://www.abrapex.com.br> . Acesso em março de 2019.

ANDRADE, E. T. **Efeito imediato e latente de danos mecânicos sobre a qualidade de sementes de feijão, submetidas a diferentes velocidades de impacto**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 37p.

AMATO, G. W. **Arroz no programa mundial de alimentação das nações unidas**. Porto Alegre: IRGA, 2017. 80p.

AQUERRETA, J., IGUAZ, A.; ARROQUI, C.; VÍRSEDA, P. Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. **Journal of Food Engineering**. n. 80. p. 611-618, 2007.

ARNS, B.; PARAGINSKI, R. T.; BARTZ, J.; SCHIAVON, R. A.; ELIAS, M.C.; ZAVAREZE, E.; DIAS, A.R.G. Os efeitos do tratamento térmico-úmido de grãos de arroz sobre o perfil de viscosidade e propriedades físico-químicas. **Revista Internacional de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n. 49, p. 1939-1945, 2014.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P.A. **Introdução à química de alimentos**. São Paulo: Editora Varela, 1992. 232p.

BRASIL. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2009^a.

BRASIL. **Regulamento Técnico do Arroz**. Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento. Brasília, 2009^b.

BUALUANG, O.; TIRAWANICHAKUL, Y.; TIRAWANICHAKUL, S. Estudo Comparativo entre Ar Quente e Secagem por Infravermelho do Arroz Parboilizado: Aspectos Cinéticos e Qualidades. **Jornal de Processamento e Preservação de Alimentos**, v. 37, n. 6, p. 1119-1132, 2013.

BUGGENHOUT, J.; BRIJS, K.; VAN OEVELEN, J.; DELCOUR, J. Suscetibilidade de quebra de moagem e propriedades mecânicas de grãos de arroz parboilizado. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, n. 1, p. 369-375, 2014.

CHUNG, H.; CHANG, H.; LIM, S.. Envelhecimento físico de amidos de arroz vítreos normais e cerosos: Efeito da cristalinidade na transição vítrea e no relaxamento da entalpia. **Carbohydrate Polymers**, n. 58, p. 101-107, 2004.

CNOSSEN, A.G.; SIEBENMORGEN, T.J. O conceito de temperatura de transição vítrea na secagem e revenimento de arroz: efeito na qualidade de beneficiamento. **Transactions of the ASAE**, v. 43, n. 6, p. 1661-1667, 2000.

CNOSSEN, A. G.; SIEBENMORGEN, T. J.; REID, J. D.; PERDON, A. A. Characteristics of rough rice during tempering. **Transactions of the ASAE**, Paper 6033, 1998.

CNOSSEN, A. G.; JIMÉNEZ, M. J.; SIEBENMORGEN, T. J. Rice fissuring response to high drying and tempering temperatures. **Journal of Food Engineering**, n. 59, p. 61-69, 2003.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://conab.gov.br>. Acesso em: Fevereiro de 2019.

DENYER; BARBER; BURTON; HEDLEY; HILTON; TOMLINSON; WANG. **Novel low-amylose mutants of pea**. John Innes Centre and Sainsbury Laboratory: Annual Report, p.29, 1995.

DONG, R.; LU, Z.; LIU, Z.; NISHIYAMA, Y.; CAO, W. Moisture distribution in a rice kernel during tempering drying. **Journal of Food Engineering**, n. 91, p. 126-132, 2009.

DONG, R.; LU, Z.; LIU, Z.; KOIDE, S.; CAO, W. Effect of drying and tempering on rice fissuring analysed by integrating intra-kernel moisture distribution. **Journal of Food Engineering**, n. 97, p. 161-167, 2010.

ELIAS, M.C.; LOECK, A.E.; CONRAD, V.J.D. **Recomendações técnicas para colheita, secagem, armazenamento e industrialização de arroz para o sul do Brasil**. Pelotas: Polo de Modernização Tecnológica em Alimentos da Região Sul - UFPEL-FAEM-DCTA, 2003. 30p.

ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N.L. **Qualidade de arroz na pós-colheita e na agroindústria: análise, conservação e tipificação**. Pelotas: Editora e cópias Santa Cruz, 2015. 221p.

ELIAS, M.C.; ROMBALDI, C.V. Secagem intermitente e industrialização de arroz, variedade BR-IRGA 409. **Lavoura Arrozeira**. Porto Alegre, IRGA, v. 42, n. 388, p.28-33, 1989.

FUNDACION PROARROZ. <http://proarroz.com.ar/informacion-de-interes/variedades-de-arroz/guri-inta-cl> . Acesso em março de 2016.

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

GRECA, C.; NETTO DERBLY, J. A. **Polímeros**. São Paulo, 2003. Disponível em: http://escolainterativa.com.br/canais/quero_passar/como/sites_temat/miscel/quimi_misce41.html. Acesso em: Junho de 2003.

GUIMARÃES, E.P. **Reunião Técnica do Arroz Irrigado, 7**. 22-25 Agosto, 1989, Campinas, S.P. Anais... Campinas: UNICAMP, 1989.

GWINNER, J.; RÜDIGER, H.; MÜCK, O. **Manual sobre prevenção das perdas de grãos na pós-colheita**. Projeto de proteção dos produtos armazenados do Ministério Federal da Cooperação Econômica e de Desenvolvimento (BMZ) da República Federal da Alemanha. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn - FRG, 1997. 143p.

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

IGUAZ, A.; RODRÍGUEZ, M.; VÍRSEDA, P. Influence of handling and processing of rough rice on fissures and head rice yields. **Journal of Food Engineering**, n. 77, p. 803-809, 2006.

IGUAZ, A.; VÍRSEDA, P. Moisture desorption isotherms of rough rice at high temperatures. **Journal of Food Engineering**, n. 79, p. 794-802, 2007.

INPRASIT, C.; NOOMHORM, A. Efeito da temperatura do ar de secagem e temperatura de grãos de diferentes tipos de operação do secador na qualidade do arroz. **Drying Technology**, v. 19, n. 1, p. 389-404, 2001.

JAISUT,D.; PRACHAYAWARAKORN,S.; VARANYANOND,W.; Tungtrakul,P.;Soponronnarit, S. Effects of drying temperature and tempering time on starch digestibility of brown fragrant rice. **Journal of Food Engineering**, n. 86, p. 251-258, 2008.

JAIBOON, P.; PRACHAYAWARAKORN, S.; DEVAHASTIN, S.; TUNGTRAKUL, P.; SOPONRONNARIT, S. Effect of high-temperature fluidized-bed drying on cooking, textural and digestive properties of waxy rice. **Journal of Food Engineering**, n. 105, p. 89-97, 2011.

KAMRUZZAMAN, M. D.; UYEH, D. D.; JANG, I. J.; WOO, S. M.; YU, S. H. Drying characteristics and milling quality of parboiled Japonica rice under various drying conditions. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 10, n. 4, p. 292-297, 2017.

KEPLER WEBER. Catálogo geral de produtos. <http://www.kepler.com.br> . Acesso em janeiro de 2019.

KUNZE, O.R. Fissuring of the rice grain after heaved air drying. **Transactions of the ASAE**, Paper 1207, 1979.

KUNZE, O.R.; CHOUDHURY, M.S.U. Moisture adsorption related to the tensile strength of rice. **Cereal Chemistry**, v. 49, n. 6, p. 684-696, 1972.

LAN T. T. B., ROSS A. C.; ROGER A. S. Properties of rehydrated freeze dried rice as a function of processing treatments. **LWT - Food Science and Technology**, n. 91, p. 143-150, 2018.

LASSERAN, J.C. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa. v.3, n.3, p. 17-45, 1978.

MADAMBA, P.S. & YABES, R.P. Determination of the optimum intermittent drying conditions for rough rice (*Oryza sativa*, L.). **Lebensm-Wiss. u.-Technol.** n. 38, p. 157-165. 2005.

MANSKI, J.M.; MATSLER, A.L.; SIEBENMORGEN, T.J. Influência do armazenamento de arroz integral com alto teor de umidade nas características de secagem subsequentes e qualidade de moagem. **Cereal Chemistry**, v. 82, n. 2, p. 204-208, 2005.

MARTINEZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz**. Guia de estudo. Cali. CIAT, 1989, 75p.

MASATSUGU, T.; JASOREET, S.; LOVEDEEP, K.; YUKIHARU, O. Impact of structural characteristics on starch digestibility of cooked rice. **Food Chemistry**, v. 191, p. 91-97, 2016.

MERYNDA, I. S.; FILLI, P.; F. S.; ACHMAD, F. Effects of varieties and cooking methods on physical and chemical characteristics of cooked rice. **Rice Science**, v. 23, n. 5, p. 282-286, 2016.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Qualidade de cozimento e atributos texturais instrumentais do arroz cozido para diferentes frações de moagem. **Journal of Food Engineering**, n. 73, p. 253-259, 2006.

NAGHAVI, A., MOHEB, SZ.; ZIAEI-RAD, S. Simulação numérica da secagem do arroz em condições de secagem em secador profundo utilizando modelo de não-equilíbrio. **Conversão e Gestão de Energia**, n. 51, p. 258-264, 2010.

NGUYEN, C.N.; KUNZE, O.R. Fissures related to post-drying treatments in rough rice. **Cereal Chemistry**, v.61,n.1,p.63-68, 1984.

ODEK, Z.; SIEBENMORGEN, T. J.; MAUROMOUSTAKOS, A. Relative impact of kernel thickness and moisture content on rice fissuring during drying. **Appl. Eng. Agric.**, v. 34, n. 1, p. 239-246, 2018.

OLI, P., WARD, R., ADHIKARI, B. E TORLEY, P. Arroz parboilizado: entendimento a partir de uma abordagem da ciência dos materiais. **Journal of Food Engineering**, n. 124, p. 173-183, 2014.

ONDIER, G.O.; SIEBENMORGEN, T.J.; MAUROMOUSTAKOS, A. Low-temperature, low-relative humidity drying of rough rice. **Journal of Food Engineering**. n. 100, p. 545-550, 2010.

PENG, L.; ZHONGDONG, L.; KENNEDY, J., F. The study of starch nano-unit chains in the gelatinization process. **Carbohydrate Polymers**, v. 68, p. 360-366, 2007.

PERDON, A. A. **Amorphous state transition in rice during the drying process**. Fayetteville, 1999. Tese (Ph. D.) – Department of Food Science, University of Arkansas, 1999.

PERDON, A. A.; SIEBENMORGEN, T. J.; MAUROMOUSTAKOS, A. Transição de estado vítreo e secagem de arroz: Desenvolvimento de um diagrama de estado de arroz integral. **Cereal Chemistry**, v. 77, n. 6, p. 708-713, 2000.

PEREIRA, A.L.R.M. Rendimento do arroz com casca (*Oryza sativa* L., cultivar Inca), em relação ao período de repouso e à temperatura de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.13-14, n.1-2, p. 3-7, 1989.

PERES, W.B. **Manutenção da qualidade de grãos**. Pelotas: Editora e gráfica da UFPEL, 2001. 78p.

PROLAB – Laboratório de propriedades termofísicas e prototipação. http://www.protolab.com.br/Condutividade_Termica.htm . Acesso em fevereiro de 2019.

ROMBALDI, C.V. **Condições de secagem e tempo de armazenamento na qualidade industrial do arroz (*Oryza sativa*, L.)**. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas. Dissertação (Mestrado). Pelotas, 1988. 124p.

SANDOVAL, A. J.; NUÑEZ, M.; MÜLLER, A. J.; VALLE, G. D.; LOURDIN, D. Temperaturas de transição vítrea de uma formulação de cereal matinal pronta para consumo e seus principais componentes determinados pelo DSC e pelo DMTA. **Carbohydrate Polymers**, n. 76 , p. 528-534, 2009.

SANTOS, G. L. **Manejo térmico no tempo de secagem, na eficiência energética e nas características industriais e de consumo de arroz**. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas. Dissertação (Mestrado). Pelotas, 2004. 160p.

SARKER, M.S.H.; IBRAHIM, M.N.; AZIZ, N.A.; SALLEH, P.M. Energy and rice quality aspects during drying of freshly harvested paddy with industrial inclined bed dryer. **Energy Conversion and Management**, n. 77, p. 389-395, 2014.

SCHLUTERMAN, G.J.; SIEBENMORGEN, T.J. Air and rice property profiles within a commercial cross-flow rice dryer. **Transactions of the ASAE**, v. 20, n. 4, p.487-494, 2004.

SCHLUTERMAN, G.J.; SIEBENMORGEN, T.J. Relating rough rice moisture content reduction and tempering duration to head rice yield reduction. **Transactions of the ASAE**, v. 50, n.1, p. 137-142, 2007.

SHARMA, A. D.; KUNZE, O. R. Post-drying fissure developments in rough rice. **Transactions of the ASAE**, n. 25, p. 465-468, 474, 1982.

SIEBENMORGEN, T. J.; YANG, W.; SUN, Z. Glass transition temperature of rice kernels determined by dynamic mechanical thermal analysis. **Transactions of the ASAE**, v. 47, n. 2, p. 835-839, 2004.

STEFE, J. F.; SINGH, R. P. Theoretical and practical aspects of rough rice tempering. **Transactions of the ASAE**, v.23, n.3, p.775-782, 1980.

STEFE, J. F.; SINGH, R. P.; BAKSHI, A. S. Influence of tempering time and cooling on rice milling yields and moisture removal. **Transactions of the ASAE**, v. 22, n.5, p.1214-8, 1979.

TERAN-ORTIZ, G.P.T. **Estado cristalino e vítreo em açúcares e sua influência nas propriedades funcionais de alimentos**. Disponível em: <http://interacao.unis.edu.br/n2/art1.htm>. Acesso em janeiro de 2015.

TORKI-HARCHEGANI, M.; SADEGHI, M.; MOHEB, A.; NAGHAVI, Z. Investigação em cinética de secagem de arroz em várias camadas finas de uma cama profunda. **Transferência de Massa de Calor**, n. 50, p. 1717–1725, 2014.

TORO, D. C.; LOPES, A. A. H.; GALLARD, I. D. Propriedades físico-químicas del grano del arroz y su calidad. In: **Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz**, 4. Anais... Goiânia, p.47, 1990.

VANIER, N.L.; PARAGINSKI, R.T.; BERRIOS, J. J.; OLIVEIRA, L. C.; ELIAS, M.C. Teor de tiamina e propriedades de qualidade tecnológica do arroz parboilizado tratado com bissulfito de sódio: Benefícios e risco à segurança alimentar. **Jornal de Composição e Análise de Alimentos**, n. 41, p. 98-103, 2015.

VASCONSELLOS, J.C. **O arroz**. Lisboa: Ministério da Economia de Portugal, 1963. 307p.

WASSERMAN, T.; FERREL, R. E.; HOUSTON, D. F.; BREITWEISER, E.; SMITH, G. S. Tempering western rice. **Rice Journal**, n. 67, p. 16-22, 1964.

WEBER, E.A. **Armazenagem Agrícola**. Porto Alegre: Kepler Weber Industrial, 1998. 395p.

YANG, W.; SIEBENMORGEN, T.J.; JIA, C.; HOWELL, T.A.; CNOSSEN, A.G. Cross-flow drying of rough rice as mapped on its glass transition state diagram. Paper n. 068, Proceedings of the 12th International Drying Symposium IDS2000, Noordwijkerhout, The Netherlands, August 28-31, 2000. **Elsevier Science**, Amsterdam, the Netherlands. 2000^a.

YANG, W.; JIA, C.; SIEBENMORGEN, T.J.; CNOSSEN, A.G. Intrakernel moisture gradients and glass transition temperatures in relation to head rice yield variation during heated air drying of rough rice. Paper n. 069, Proceedings of the 12th International Drying Symposium IDS2000, Noordwijkerhout, The Netherlands, August 28–31, 2000. **Elsevier Science**, Amsterdam, the Netherlands. 2000^b.

YAOQI, T.; JIANWEI Z.; ZHENGJUN X.; JINPENG W.; XUEMING X.; ZHENGYU, J. Effect of different pressure-soaking treatments on color, texture, morphology and retrogradation properties of cooked rice. **LWT - Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 3688-373, 2014.

YU L.; TURNER, M. S.; FITZGERALD, M.; STOKES, J. R.; WITT, T. Review of the effects of different processing technologies on cooked and convenience rice quality. **LWT - Food Science and Technology**, n. 59, p. 124-138, 2017.