

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial
Curso de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos



Dissertação

**Qualidade de grãos de diferentes genótipos de arroz produzidos em Pelotas-
RS e industrializados por processo convencional e por parboilização**

Edimara Polidoro

Eng. Agrônoma

Pelotas, 2018

Edimara Polidoro

**Qualidade de grãos de diferentes genótipos de arroz produzidos em Pelotas-
RS e industrializados por processo convencional e por parboilização**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional 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 Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Comitê de orientação:

Prof. Dr. Nathan Levien Vanier

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Dra. Jessica Fernanda Hoffmann

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

P766q Polidoro, Edimara

Qualidade de grãos de diferentes genótipos de arroz produzidos em Pelotas-RS e industrializados por processo convencional e por parboilização / Edimara Polidoro ; Nathan Levien Vanier, Moacir Cardoso Elias, orientadores ; Jessica Fernanda Hoffmann, coorientadora. — Pelotas, 2018.

68 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Arroz gessado. 2. Rendimento industrial de arroz. 3. Arsênio em arroz. 4. Grau de gelatinização de arroz. I. Vanier, Nathan Levien, orient. II. Elias, Moacir Cardoso, orient. III. Hoffmann, Jessica Fernanda, coorient. IV. Título.

CDD : 633.18

Edimara Polidoro

**Qualidade de grãos de diferentes genótipos de arroz produzidos em Pelotas-
RS e industrializados por processo convencional e por parboilização**

Dissertação aprovada como requisito parcial, para a obtenção do grau de Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pelo Curso de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 26 de janeiro de 2018.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Nathan Levien Vanier (Orientador). Professor Adjunto da Universidade Federal de Pelotas. Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

Profa. Dra. Giniani Carla Dors. Professora Adjunta da Universidade Federal de Pelotas. Doutora em Engenharia e Ciência dos Alimentos pela Universidade Federal de Rio Grande.

Prof. Dr. Leonardo Nora. Professor Associado da Universidade Federal de Pelotas. Doutor em Biologia Molecular de Plantas pelo *John Innes Centre* da *University of East Anglia*, Inglaterra.

Dra. Rosana Colussi. Pós-Doutoranda na Universidade Federal de Pelotas. Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

**Dedico este trabalho
aos produtores rurais com quem trabalho.**

Agradecimentos

A Deus, por ter me guiado e amparado em todos os momentos da vida, por ter me fortalecido e assim poder estar aqui.

A Jesus Cristo, pela sua coragem, determinação, humildade e espírito de liderança, por me inspirar a lutar pelos meus ideais.

Ao meu pai Angelin (*in memoriam*), por sempre ter apoiado meus estudos e ter deixado seu legado de honestidade e respeito ao próximo.

A minha mãe Salete e meus irmãos Elizandro e Daniel (*in memoriam*), que compreenderam meu desejo de estudar.

A minha madrinha Anelise, por ser minha maior inspiração, por compartilhar seu carinho e me incentivar a estudar sempre.

Ao meu esposo Diogo, que me apoiou para prosseguir nos estudos, que me ensinou a erguer a cabeça e acreditar em dias melhores.

Ao orientador Prof. Dr. Nathan Levien Vanier, pelos ensinamentos compartilhados, humildade e por estimular meu crescimento profissional e pessoal.

Ao orientador Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias, pela serenidade em seus ensinamentos, amizade e carinho ao longo do curso.

A Dr. Jéssica Fernanda Hoffmann, pelo apoio e orientação no decorrer do trabalho.

Aos demais professores do Curso de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal de Pelotas (CMPCTA – UFPel), por compartilharem seus conhecimentos profissionais no período desses dois anos de curso.

A estagiária Gabrielle Leivas de Leivas, pela amizade e parceria, pela ajuda prestada na colheita e avaliações do trabalho.

Aos colegas de turma, por enriquecerem minha base profissional e terem compartilhado informações relevantes para minha caminhada.

Aos colegas do Laboratório de Grãos da UFPel, que auxiliaram e colaboraram para a execução deste trabalho, em especial a doutoranda Franciene Villanova, pela amizade e ajuda nas avaliações deste trabalho, e ao doutorando Igor da Silva Lindemann, pela ajuda e apoio na condução das avaliações do trabalho.

Ao Eng. Agrônomo e produtor rural Delcio Orni Laux por ceder área para a instalação do experimento e por compartilhar suas vivências que muito contribuíram para minha carreira profissional e pessoal.

A toda equipe da Granja Coodel, por todo apoio prestado e dedicação total para instalação do trabalho, em especial ao Liandro Silveira por ser exemplo de ser humano e dedicar-se aos cuidados com o trabalho.

Ao Marlon Scursone, pela ajuda no momento do plantio.

A empresa Puro Grão Ind. e Com. de Arroz e Soja Ltda, pela oportunidade a mim concedida para poder cursar o mestrado e realizar a pesquisa.

A equipe do Laboratório de Grãos da empresa Puro Grão Ind. e Com. de Arroz e Soja Ltda, pela ajuda nas avaliações e pelos ensinamentos durante o processo.

Aos produtores rurais com quem trabalho, por serem fonte de inspiração todas as manhãs, meu carinho e respeito.

Aos demais amigos que me apoiaram e estiveram comigo durante minha jornada.

“Eu nunca vi algo selvagem ter pena de si mesmo, um pássaro cairá morto de um galho sem nunca ter sentido pena de si mesmo.”

David Herbert Lawrence

Resumo

POLIDORO, Edimara. **Qualidade de grãos de diferentes genótipos de arroz produzidos em Pelotas-RS e industrializados por processo convencional e por parboilização**. 2018. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Curso de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

A cultura do arroz é uma das mais cultivadas no mundo, sendo o Brasil país de destaque na produção. No cenário nacional, o estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor do cereal, contribuindo com mais de 70% do total produzido. Os produtores têm buscado genótipos cada vez mais produtivos, porém nem sempre este incremento produtivo está associado ao desempenho industrial buscado pelas indústrias. O preço pago ao produtor está associado aos aspectos relacionados a qualidade industrial, dessa forma a busca por maiores rendimentos e baixo percentual de defeitos são características que conferem valor ao produto comercializado. O consumidor está mais exigente aos aspectos ligados a qualidade dos grãos e assim a seleção de cultivares que atendam a esses padrões é necessária. Nesse contexto, objetivou-se com o estudo avaliar a qualidade físico-química e tecnológica de grãos dos genótipos convencionais Puitá INTA CL, Guri INTA CL e Irga 424 RI e dos genótipos híbridos Inov CL, Titan CL e Lexus CL produzidos em Pelotas-RS e industrializados por processo convencional e por parboilização. A renda do benefício, o rendimento de grãos inteiros e quebrados, o teor de remoção do farelo, o percentual de defeitos, o perfil branquimétrico, a composição centesimal, o teor de amilose, o teor de arsênio, o tempo de cocção, as isotermas de hidratação, as propriedades viscoamilográficas (RVA) e a difração por raios-X foram determinadas. O genótipo convencional Puitá INTA CL apresentou o melhor desempenho industrial, apresentando maior rendimento de inteiros, menor percentual de defeitos e menor tempo de cocção no arroz integral. As cultivares híbridas apresentaram maior facilidade de remoção de farelo e, via de regra, maior incidência de grãos gessados, apresentando, assim, maior grau de brancura do que as cultivares convencionais. O genótipo Titan CL apresentou teor intermediário de amilose, enquanto os demais foram classificados como arroz de alta amilose. O teor de arsênio, apesar de diferir entre os genótipos, foi inferior ao limite máximo definido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Através das isotermas de hidratação foram definidas as condições ótimas de hidratação de 65°C por 360 min e autoclavagem de 0,5kgf.cm⁻² por 10 min. Nessas condições o genótipo Titan CL apresentou menor intensidade de gelatinização dos grânulos de amido, já que apresentou maior tempo de cocção e maior área cristalina do que os demais genótipos avaliados. Para esse genótipo, recomenda-se que sejam testadas outras condições de hidratação e autoclavagem, mais severas.

Palavras-chave: arroz gessado, rendimento industrial de arroz, arsênio em arroz, grau de gelatinização de arroz.

Abstract

POLIDORO, Edimara. **Quality of grains from different rice genotypes grown in Pelotas-RS and processed by conventional and parboiling methods.** 2018. 70f. Dissertation (Master Degree in Food Science and Technology) - Curso de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Rice is one of the most cultivated crops in the world. In Brazil, the Rio Grande do Sul state contributes with more than 70% of the production. Farmers have been looking for productive genotypes, but this increase in production is not always accompanied by suitable industrial performance required by rice industries. Brazilian industries better remunerate rice farmers when samples exhibit high head rice yield and low percentage of defects. Consumers are demanding rice grains with high quality and thus the selection of genotypes that meet these standards are necessary. In this context, the objective of this study was to evaluate the physicochemical and technological quality properties of grains from the conventional genotypes Puitá INTA CL, Guri INTA CL and Irga 424 RI, and from the hybrid genotypes Inov CL, Titan CL and Lexus CL grown in Pelotas-RS and industrialized by conventional and parboiling processes. The dehulling yield, head rice yield, degree of milling, percentage of defects, whiteness, proximate composition, amylose content, total arsenic content, cooking time, hydration isotherms, viscoamlographic properties and the X-ray diffractograms were determined. Puitá INTA CL genotype exhibited the best industrial performance, presenting the higher head rice yield, the lower percentage of chalky grains and the lowest cooking time in brown rice. The bran removal was facilitated in hybrid cultivars obtaining a higher degree of whiteness, compared to conventional cultivars. Titan CL genotype presented intermediated amylose content, while the others were classified as high amylose content. Arsenic content varied among the genotypes, but the results obtained are below the maximum limit allowed by the regulatory agencies. Through the hydration isotherms, the optimum hydration conditions were 65 °C for 360 min and autoclaving of 0.5 kgf.cm⁻¹ for 10 min. Under these conditions, the Titan CL genotype exhibited the lowest gelatinization degree of starch granules, since it presented the highest cooking time and the highest crystalline area, compared to the other five genotypes. For this genotype, more severe hydration and autoclaving conditions are recommended.

Keywords: chalky rice, industrial characteristics of rice, arsenic in rice, gelatinization degree in parboiled rice.

Lista de Figuras

Figura 1	Percentual de produção nacional da safra 2016/17.....	17
Figura 2	Estrutura da amilose [polímero linear composto por D-glicoses unidas em α -(1-4)] (A) e estrutura da amilopectina [polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em α -(1-4) e α -(1-6)] (B).....	22
Figura 3	Representação de uma curva típica obtida na análise das propriedades viscoamilográficas de amido de batata em um <i>Rapid Visco Analyzer</i> (RVA).....	23
Figura 4	Diagrama de beneficiamento para obtenção do arroz branco polido e do parboilizado.....	26
Figura 5	Renda do benefício (A), rendimento de grãos inteiros (B) e percentual de grãos quebrados (C) em função do tempo de polimento de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.....	37
Figura 6	Percentual de farelo removido em função do tempo de polimento de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.....	39
Figura 7	Percentual de defeitos e grãos gessados, de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.....	41
Figura 8	Grau de brancura dos grãos em função do tempo de polimento de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.....	42
Figura 9	Teor de proteína bruta (A), extrato etéreo (B) e cinzas (C) dos grãos integrais de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.....	45
Figura 10	Teor de amilose aparente (%), de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.....	46
Figura 11	Teor de Arsênio dos grãos, de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.....	47

Figura 12	Tempo de cocção no tempo de polimento de 60 s de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.....	48
Figura 13	Isotermas de hidratação dos genótipos Puitá INTA CL (A), Guri INTA CL (B), Irga 424 RI (C), Titan CL (D), Lexus CL (E), Inov CL (F) nas temperaturas de hidratação de 60, 65 e 70°C.....	50
Figura 14	Grau de brancura do arroz parboilizado.....	51
Figura 15	Tempo de cocção de arroz parboilizado (encharcamento a 65°C por 6 h e autoclavagem a 0,5 kgf.cm ⁻² por 10 min) polido (60 s de polimento)	52
Figura 16	Padrões de difração de raios-X de grãos de diferentes genótipos de arroz não parboilizados (1) e parboilizados (2). Genótipos utilizados foram: Puitá INTA CL (A), Guri INTA CL (B), Inov CL (C), Titan CL (D), Lexus CL (E) e Irga 424 RI (F).....	54

Lista de Tabelas

Tabela 1	Arroz Beneficiado Polido - Limites máximos de tolerância de defeitos expressos em %.....	20
Tabela 2	Teor de arsênio em grãos de arroz cultivados em diferentes países.....	25
Tabela 3	Variáveis climáticas em Pelotas-RS na safra 2016/17.....	30
Tabela 4	Propriedades viscoamilográficas em arroz beneficiado polido.....	53
Tabela 5	Propriedades viscoamilográficas de arroz parboilizado polido.....	54
Tabela 6	Resultados de cristalinidade relativa (%).....	56

Sumário

1	Introdução.....	14
1.1	Hipóteses.....	16
1.2	Objetivos.....	16
1.2.1	Objetivo geral.....	16
1.2.2	Objetivos específicos.....	16
2	Revisão de literatura.....	17
2.1	Produção e consumo de arroz.....	17
2.2	Qualidade de arroz: rendimento industrial, teor de amilose, temperatura de gelatinização e características de cocção.....	19
2.3	Arsênio em arroz.....	24
2.4	Operações de industrialização de arroz.....	25
2.4.1	Descascamento e polimento	25
2.4.2	Parboilização.....	27
3	Material e métodos.....	29
3.1	Materiais.....	29
3.2	Métodos.....	30
3.2.1	Preparo das amostras.....	30
3.2.2.1	Descascamento e polimento.....	31
3.2.2.2	Isotermas de hidratação.....	31
3.2.2.3	Parboilização.....	31
3.2.3	Avaliações.....	32
3.2.3.1	Renda do benefício, rendimento de grãos inteiros e quebrados.....	32
3.2.3.2	Teor de remoção do farelo.....	32
3.2.3.3	Percentual de defeitos.....	32
3.2.3.4	Perfil branquimétrico.....	33
3.2.3.5	Composição centesimal	33
3.2.3.6	Teor de amilose.....	33
3.2.3.7	Teor de Arsênio.....	33
3.2.3.8	Tempo de cocção.....	34
3.2.3.9	Propriedades viscoamilográficas (RVA).....	34
3.2.3.10	Difração por raios-X.....	34
3.2.4	Análise estatística.....	35

4	Resultados e discussão.....	36
4.1	Processo convencional.....	36
4.1.1	Renda do benefício e rendimento de grãos inteiros e quebrados.....	36
4.1.2	Teor de remoção do farelo.....	39
4.1.3	Percentual de defeitos.....	40
4.1.4	Perfil branquimétrico.....	42
4.1.5	Composição centesimal.....	44
4.1.6	Teor de amilose.....	46
4.1.7	Teor de Arsênio.....	47
4.1.8	Tempo de cocção.....	48
4.1.9	Isotermas de hidratação	49
4.2	Processo de parboilização.....	51
4.2.1	Brancura do arroz parboilizado	51
4.2.2	Tempo de cocção do arroz parboilizado.....	52
4.2.3	Propriedades viscoamilográficas (RVA)	53
4.13	Difração de raios-X	54
5	Considerações finais.....	57
	Referências.....	58

1 Introdução

Aprimoramentos em manejos e melhorias na produtividade colocaram o arroz (*Oryza sativa* L.) entre os cereais mais cultivados, produzidos e consumidos no mundo. Fatores como a rusticidade das plantas, a facilidade de adaptação da cultura às condições edafoclimáticas e o valor energético dos grãos fazem do arroz um importante aliado no combate à fome no mundo (GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

O Brasil é o maior produtor de arroz dentre os países da América do Sul. No país, os estados do Sul, particularmente Rio Grande do Sul e Santa Catarina, são os principais produtores, sendo que somente o Rio Grande do Sul responde por mais de 70% da produção brasileira de arroz (CONAB, 2017).

Apesar dos avanços, o incremento em produtividade e a manutenção da qualidade industrial dos grãos têm sido um grande desafio para os produtores de arroz irrigado. A qualidade industrial tem influência direta no valor de mercado alcançado pelo arroz no momento da comercialização e na seleção de novas cultivares (JULIANO, 2003; FITZGERALD et al., 2009), de forma que aquele produto com maior rendimento de grãos inteiros e sem defeitos é desejado tanto por indústrias como por produtores. Além disso, as indústrias remuneram melhor os produtores por grãos de genótipos específicos, como o IRGA 417 e o Puitá INTA CL, justificando esta conduta pelo menor teor de gessados e pela maior aceitabilidade do mercado consumidor por grãos destes genótipos.

De maneira geral, o consumidor de arroz tem preferência por um produto uniforme, com baixo percentual de grãos quebrados e com defeitos. Da mesma forma, o desempenho adequado no beneficiamento, com elevado rendimento de grãos inteiros e baixo percentual de defeitos, é almejado por produtores e indústrias, uma vez que o índice de quebra durante o beneficiamento dos grãos e o percentual de defeitos afeta o valor do produto no mercado e consiste em fator determinante para aceitação de novas cultivares (CASTRO et al., 1999).

A implantação da lavoura exige planejamento do produtor, incluindo tomada

de decisões acerca das práticas agrícolas empregadas e da escolha dos genótipos a serem cultivados. Entre os genótipos cultivados no Rio Grande do Sul destacam-se cultivares híbridas (cruzamento de duas linhagens parentais distintas) e convencionais, sendo que a escolha está relacionada ao ciclo, à produtividade e à quantidade de água disponível para irrigação durante a estação de cultivo.

A supressão da água de irrigação seria uma alternativa para minimizar o problema, mas isso pode acarretar em problemas na fase de enchimento de grãos e, assim, diminuir o rendimento industrial no beneficiamento (CRUSCIOL et al., 2003; FOFANA et al., 2010). Desta forma, com conhecimento dos ciclos dos genótipos o produtor pode escolher cultivares de acordo com a disponibilidade hídrica da propriedade, além de escalonar o momento da colheita, facilitando as operações de transporte, secagem e armazenagem do produto.

O incremento em produtividade tem sido um aliado dos produtores devido ao alto custo da lavoura. De acordo com levantamento do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA, 2017), o custo na safra 2016/17 ficou em 146,19 sacas/ha, sendo calculado com o preço de venda de R\$ 48,48 a saca de 50 kg de arroz. Portanto, selecionar cultivares com teto produtivo elevado tem sido o foco da maioria dos produtores, mas nem sempre este incremento vem aliado a qualidade industrial exigida pelas indústrias arroseiras.

Dentre os fatores que influenciam a qualidade dos grãos estão: (a) características varietais; (b) condições para o desenvolvimento da cultura; (c) manejo e condições edafoclimáticas, principalmente durante o período de maturação; (d) época e condição de colheita; (e) método e sistema de secagem; (f) sistema de armazenamento; (g) métodos adotados para conservação; e (h) processo e operações de industrialização. Em relação aos parâmetros de qualidade é importante que os grãos apresentem umidade uniforme e relativamente baixa, baixo percentual de impurezas e/ou matérias estranhas, de grãos quebrados e de defeitos; baixa suscetibilidade à quebra; alto peso específico; boa conservabilidade; baixos índices de contaminação por microrganismos; ausência de micotoxinas e alto valor nutricional (BARBOSA et al., 2005).

1.1 Hipóteses

1.1.1 Grãos de arroz da cultivar convencional Puitá INTA CL apresentam qualidade industrial superior aos grãos das cultivares convencionais Guri INTA CL e Irga 424 RI e das cultivares híbridas Inov CL, Lexus CL e Titan CL;

1.1.2. O teor de arsênio nos grãos é dependente do genótipo e grãos cultivados em Pelotas-RS, sob condições idênticas de manejo agrônomo, apresentam teor de arsênio abaixo dos limites máximos das agências reguladoras;

1.1.3 Há diferenças no grau de gelatinização e na qualidade tecnológica dos grãos de arroz parboilizado em função do genótipo, quando comparados em condições ótimas de hidratação e de autoclavagem.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade físico-química e tecnológica de grãos de diferentes genótipos de arroz produzidos em Pelotas-RS e industrializados por processo convencional e por parboilização.

1.2.2 Objetivos específicos

Avaliar o rendimento de grãos inteiros e quebrados dos genótipos Puitá INTA CL, Guri INTA CL, Irga 424 RI, Titan CL, Lexus CL e Inov CL, cultivados lado a lado sob as mesmas condições de manejo agrônomo;

Determinar o teor de amilose, o tempo de cocção e as propriedades viscoamilográficas e texturométricas;

Determinar arsênio total para os grãos de arroz;

Definir as melhores condições para hidratação de grãos no processo de parboilização;

Comparar o grau de gelatinização e a qualidade industrial de grãos dos genótipos quando parboilizados em mesmas condições.

2 Revisão de literatura

2.1 Produção e consumo de arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um alimento básico consumido por mais da metade da população mundial, sendo o alimento responsável por fornecer mais de 21% das necessidades calóricas diárias da população mundial e até 76% do consumo calórico diário do Sudeste da Ásia (FITZGERALD et al., 2009). Segundo Elias e Franco (2006), a preferência de consumo nacional pelo arroz branco polido é de 70 a 80%, parboilizado de 20 a 25%, enquanto grãos na forma integral e os demais, como aromáticos e pigmentados, ficam em torno de 10% do total consumido.

O arroz é o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando área aproximada de 168 milhões de hectares, com produção de cerca de 741,0 milhões de toneladas de grãos em casca correspondendo a 29% do total de grãos utilizados na alimentação humana (CONAB, 2017). O continente asiático é responsável por mais de 90% da produção mundial, sendo também o maior consumidor deste cereal. A cultura caracteriza-se pela importância alimentar para a África, a América Latina e o Oriente Médio (KHUSH, 1997; SELLAPAN et al., 2009). A produção brasileira na safra 2016/17 foi de 12,3 milhões de toneladas, sendo o estado do Rio Grande do Sul o maior produtor, respondendo por cerca de 70% da produção nacional (CONAB, 2017). Na Figura 1 está representada a produção nacional da safra 2016/17, com a representatividade por estado.

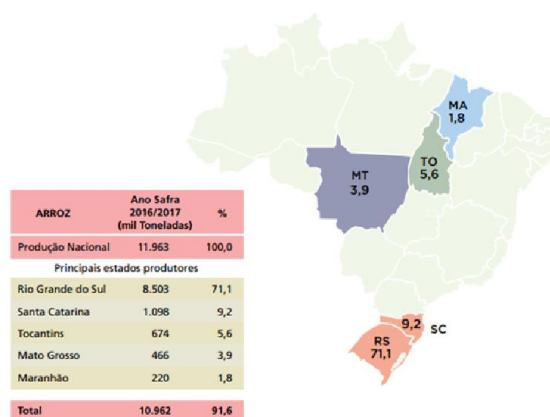


Figura 1 - Percentual de produção nacional da safra 2016/17.
Fonte: CONAB, 2017.

O desempenho industrial entre genótipos híbridos e convencionais gera discussões entre indústrias e produtores. Em trabalho desenvolvido por Blanche et al. (2009), onde foram analisadas interações genotípicas e ambientais entre cultivares híbridas e convencionais de arroz, os rendimentos de grãos inteiros foram significativamente inferiores em grãos de cultivares híbridas. De acordo com Yang e Zhang (2010), ao comparar-se tamanhos de panículas, os genótipos híbridos apresentaram maior comprimento. Essa característica pode influenciar diretamente no momento da maturação, que tende a ser desuniforme apresentando impacto negativo no desempenho industrial (WANG; CHENG, 2004; DONG et al., 2008). Nesse sentido, no momento da colheita, grãos ainda imaturos da base da panícula são colhidos juntamente com grãos já maduros, o que tende a aumentar o percentual de grãos gessados e, portanto, diminuir o rendimento de inteiros.

As características que conferem qualidade aos grãos podem variar entre genótipos. De acordo com Vanier (2017), os consumidores de arroz dividem-se em níveis de aceitação de padrões de qualidade, sendo alguns exigentes com relação a grãos livres de defeitos metabólicos e não metabólicos, outros a grãos livres de defeitos com propriedades nutricionais e sensoriais diferenciadas e há ainda os que buscam valor agregado ao produto com propriedades diferenciadas. Essas características podem ser atribuídas a poder aquisitivo e a aspectos culturais.

2.2 Qualidade de arroz: rendimento industrial, teor de amilose, temperatura de gelatinização e características de cocção

Os aspectos ligados à qualidade de grãos de arroz são variados e complexos. O que determina o valor comercial do arroz é a qualidade industrial dos grãos, principalmente a porcentagem de grãos inteiros. Este valor é obtido em função do rendimento de benefício, que é determinado pela relação entre as quantidades de grãos inteiros e quebrados após o beneficiamento dos grãos com casca (CASTRO et al., 1999).

O rendimento de grãos inteiros na cultura do arroz é influenciado por fatores inerentes à genética da cultivar, às condições de cultivo, ao momento de colheita e aos processos mecânicos no beneficiamento (JONGKAEWWATTANA; GENG, 2001) ou seja, quanto maior a intensidade do polimento, maiores as perdas na renda e no rendimento. A qualidade do grão de arroz é fator fundamental para sua comercialização, visto que grãos inteiros e sem defeitos apresentam maior valor de mercado (CANELLAS; SANTOS; MARCHEZAN, 1997). Portanto, produtividade no campo e qualidade de grãos na pós-colheita é o grande desafio dos produtores.

A escolha da cultivar no momento da semeadura está associada a qualidade industrial pós-colheita, às condições de manejo como disponibilidade de água e suscetibilidade a doenças, e também o preço pago ao produtor rural. O genótipo com maior percentual de área cultivada na safra 2016/17 no Rio Grande do Sul – RS foi o IRGA 424 RI, representando 48% do total (IRGA, 2017), esse percentual significativo está associado a resistência aos herbicidas do grupo químico das Imidazolinonas e ao bom desempenho industrial do genótipo.

O rendimento da cultura pode ter impactos negativos devido a competição da cultura por água e nutrientes com plantas invasoras. A fim de minimizar as perdas e realizar o controle das plantas invasoras como o arroz vermelho (*Oryza sativa* L.) os agricultores adotam cultivares CL (Clearfield). Esta nomenclatura indica que os materiais possuem resistência aos herbicidas do grupo químico das Imidazolinonas. O mecanismo de ação das imidazolinonas caracteriza-se pela inibição da enzima ALS (acetolactatosintase), responsável pela rota dos aminoácidos de cadeia ramificada (valina, leucina e isoleucina) em plantas (SHANER, 1991). A presença desses aminoácidos é importante para realização da divisão celular, sendo que na

ausência deles a planta morre devido a incapacidade de sintetizar proteínas (SHANER et al., 1984).

Algumas características do arroz influenciam diretamente no preço e nos países da América Latina são exemplos a translucidez e o aspecto vítreo dos grãos polidos. Independentemente do mercado, nacional ou estrangeiro, o gessamento do arroz é a variável mais crítica, estando associada, via de regra, ao rendimento de grãos inteiros (EFFERSON, 1985; SRISWASDILEK et al., 1992).

O gesso é a parte opaca do endosperma do arroz. Estudos mostraram que ele ocorre devido a um distúrbio no arranjo de moléculas de amido e proteínas, ficando frouxamente organizadas e tendo o espaço entre moléculas preenchido com ar (SHEN, 2000), o que acarreta em maior facilidade do grão quebrar ao ser beneficiado (LIU et al., 2009). O gesso tem impactos negativos nas características da qualidade do cozimento como textura e palatabilidade, que, logo, reduzem o valor de mercado (LISLE et al., 2000; CHUN et al., 2009). A ocorrência de grãos gessados é influenciada por fatores ambientais no cultivo e por fatores genéticos (EDWARDS; JACKSON; MCCLUNG, 2017), desta forma, é natural que ocorram variações entre os genótipos. Segundo a Instrução Normativa nº 06/2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o arroz beneficiado polido é classificado em tipos de acordo com os limites máximos de tolerância de defeitos expressos em % (Tabela 1).

Tabela 1 - Arroz Beneficiado Polido - Limites máximos de tolerância de defeitos expressos em %

Tipo	Matérias estranhas e impurezas	Mofados e ardidos	Picados ou manchados	Gessados e verdes	Rajados	Amarelos	Quebrados e quirera
1	0,1	0,15	1,75	2	1	0,5	7,5
2	0,2	0,3	3	4	1,5	1	15
3	0,3	0,5	4,5	6	2	2	25
4	0,4	1	6	8	3	3	35
5	0,5	1,5	8	10	4	5	45

Fonte: BRASIL, 2009.

A presença e a intensidade de manchas brancas nos grãos de arroz são parcialmente controladas por fatores genéticos, porém fatores ambientais, principalmente a temperatura imediatamente após o florescimento, podem favorecer ou inibir a expressão desta característica (JENNINGS et al., 1979).

Para boa aceitação de mercado, o arroz deve apresentar bom desempenho industrial e boa qualidade culinária e sensorial (CASTRO; FERREIRA; MORAIS, 2003). Qualidade culinária e sensorial tipicamente inclui avaliação de características como: tempo de cozimento, propriedades de textura, aroma e retenção do aroma após o cozimento e a habilidade de permanecer macio ao esfriar (FITZGERALD; MCCOUCH; HALL, 2009). Os fatores que controlam o comportamento culinário e de processamento do arroz estão relacionados às características físico-químicas do grão, sendo de fundamental importância conhecer essas características para entender as modificações que ocorrem no produto durante o cozimento (VIEIRA; RABELO, 2006).

As características de cocção, como tempo de cocção e textura dos grãos de arroz, são extremamente influenciadas pela composição e estrutura do amido, localizado no endosperma da cariopse do arroz (ZHU et al., 2012). Quanto maior a porção de endosperma amiláceo no grão de arroz (grãos mais polidos), menor será o tempo para cocção dos grãos (MOHAPATRA; BAL, 2006).

Os grânulos de amido são os principais responsáveis pela absorção de água durante a cocção e exercem grande influência na qualidade do arroz cozido, devido as suas propriedades físico-químicas (ZHU et al., 2017). A qualidade culinária do arroz é usualmente determinada por três características físico-químicas do amido: temperatura de gelatinização, teor de amilose aparente e consistência de gel (CAGAMPANG; PEREZ; JULIANO, 1973; JULIANO, 2003).

O tempo de cozimento do arroz é influenciado pela temperatura de gelatinização que ao atingi-la os grânulos de amido intumescem de forma irreversível em água quente, com perda de cristalinidade e de birrefringência (JULIANO, 2003). Em arroz, a temperatura de gelatinização (TG) varia de 55-85°C, sendo que o arroz com alta TG requer mais tempo para cozinhar (FITZGERALD; MCCOUCH; HALL, 2009).

A TG é comumente estimada de forma indireta, pela medida do grau de dispersão e clarificação dos grãos de arroz em solução alcalina (VIEIRA; RABELO, 2006). Este teste avalia a resistência do grão à cocção e é empregado para prever o tempo de cozimento do arroz (CUEVAS et al., 2010). A temperatura de gelatinização é classificada em baixa (55-69,5°C), intermediária (70-74°C) ou alta (74,5-80°C) e é medida pelo teste de dispersão alcalina (ASV – *álcali spreading value*) do arroz beneficiado (JULIANO, 2003).

O teor de amilose (Figura 2) é outra característica utilizada como medida indireta da qualidade do arroz (CASTRO; FERREIRA; MORAIS, 2003), sendo considerado um dos principais parâmetros para a qualidade tecnológica e de consumo do arroz (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). Quando analisados os grãos cozidos, o teor de amilose é considerado um importante parâmetro de qualidade (CHAMPAGNE et al., 1999).

O teor de amilose nos grãos pode ser classificado de acordo com o seu percentual, sendo considerados grãos cerosos ou glutinosos os que apresentam de 0 a 4% de amilose; grãos com muito baixa amilose os que apresentam de 5 a 12% de amilose; de baixa amilose os grãos que apresentam de 12 a 20% amilose; de teor intermediário de amilose os grãos que apresentam de 20 a 25% de amilose; e de alto teor de amilose os grãos que apresentam teor entre 25 e 33% de amilose (JULIANO, 2003). O maior percentual de consumo mundial de arroz está entre os grãos não glutinosos que apresentam de 13 a 32% de amilose (JENNINGS et al., 1981; GULARTE, 2002).

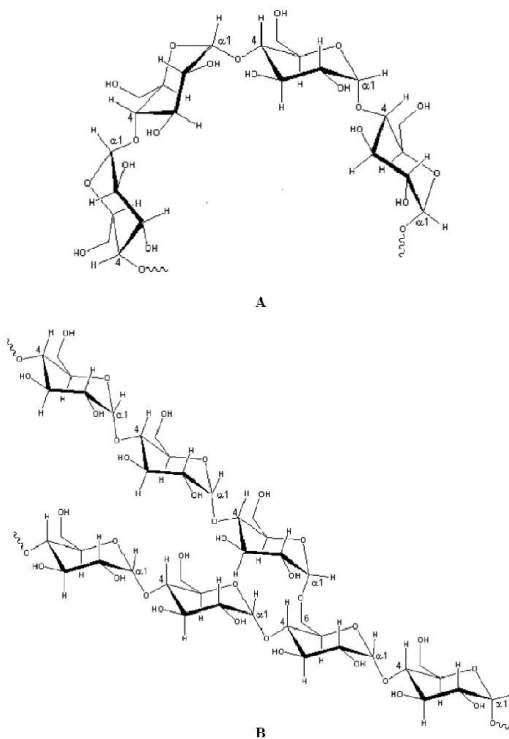


Figura 2 – Estrutura da amilose [polímero linear composto por D-glicoses unidas em α -(1-4)] (A) e estrutura da amilopectina [polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em α -(1-4) e α -(1-6)] (B). Ambos os polímeros constituem os grânulos de amido.

A consistência de gel é determinada na análise viscoamilográfica – em analisador rápido de viscosidade acoplado à técnica de avaliação de textura. Na Figura 3 é apresentada uma curva típica de amido de batata no *Rapid Visco Analyzer* (RVA).

No período inicial da análise de RVA o grânulo de amido absorve água, seguido por um rápido aumento na viscosidade com o aumento da temperatura. Após atingir o máximo, a viscosidade do gel começa a diminuir, como resultado do rompimento e da fragmentação dos grânulos durante a agitação contínua durante a análise. Este comportamento é conhecido como quebra de viscosidade, que é a medida da facilidade com que os grânulos intumescidos se desintegram com a agitação do gel (VANIER, 2012).

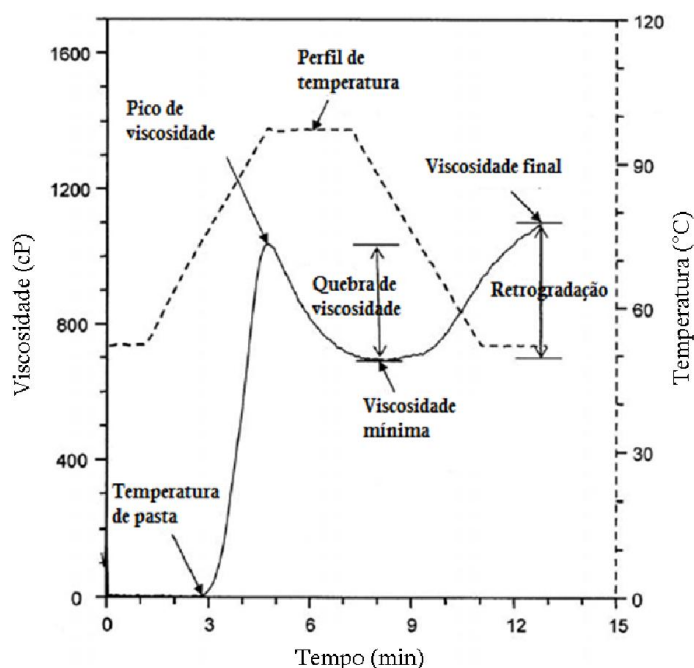


Figura 3 – Representação de uma curva típica obtida na análise das propriedades viscoamilográficas de amido de batata em um *Rapid Visco Analyzer* (RVA).
Fonte: Adaptado de KAUR et al., 2007.

O baixo valor de quebra de viscosidade pode ser atribuído a baixa desintegração dos grânulos de amido que apresentam alto teor de amilose (SINGH et al., 2006). Grãos de arroz devidamente parboilizados apresentam baixo valor de pico de viscosidade.

2.3 Arsênio em arroz

O arsênio (As) é um elemento químico, podendo ser encontrado no solo, na água, nos alimentos e até mesmo em partículas do ar, apesar da sua concentração no meio ambiente ser geralmente baixa (MANDAL; SUZUKI, 2002). A contaminação de grãos de arroz com arsênio pode gerar um problema de saúde global, devido a importância deste cereal como alimento básico (ZHU et al., 2008). A Comissão do Codex Alimentarius estabelece o limite de $0,2 \text{ mg/kg}^{-1}$ de arsênio inorgânico em arroz integral (FAO, 2016), enquanto a ANVISA estabelece limite máximo de arsênio inorgânico em arroz de $0,3 \text{ mg/kg}^{-1}$ (BRASIL, 2013).

A absorção de arsênio (As) pelas plantas de arroz é maior quando comparada aos cereais trigo e cevada (WILLIAMS et al., 2007; MEHARG et al., 2009). Essa facilidade de absorção ocorre devido a sua solubilidade na água, sendo assim facilmente absorvido pelas plantas. O destino ambiental e o comportamento do arsênio receberam atenção crescente devido a poluição no Sudeste Asiático (SINGH et al., 2015). O arsênio e seus compostos preocupam por serem cancerígenos para os seres humanos (CHEN et al., 2015) podendo afetar a qualidade do arroz e seus produtos que são alimentos básicos no Sudeste e no Sul da Ásia (MA et al., 2016).

Existem muitos trabalhos que relacionam o arroz com arsênio, especialmente onde os solos são naturalmente contaminados ou o consumo deste cereal é alto (WILLIAMS et al., 2005; BATISTA et al., 2012), como é o caso de Bangladesh e de determinadas regiões na China (MEHARG; RAHMAN, 2003; WILLIAMS et al., 2006).

O cultivo de arroz irrigado ocorre em solos inundados e como o arsênio tem uma melhor mobilização nessas condições, as plantas ficam mais expostas, proporcionando uma maior absorção via sistema radicular. A espécie mais tóxica é o arsenito que tem sua solubilidade em água aumentada. Logo, se as plantas estão em condições alagadas e em locais com elevados teores de arsênio, o mesmo será absorvido facilmente pelas raízes e chegará aos grãos em formação que serão destinados a alimentação (XU et al., 2008; MA et al., 2016).

Na tabela 2 estão apresentados os teores de Arsênio em grãos de arroz cultivados em diferentes países.

Tabela 2 - Teor de arsênio em grãos de arroz cultivados em diferentes países.

País	As (mg/kg⁻¹)	Número de amostras avaliadas
Bangladesh	0,05 a 2,05	35
China	0,02 a 0,46	124
Espanha	0,05 a 0,82	76
Estados Unidos	0,10 a 0,66	134
Índia	0,18 a 0,31	133
Taiwan	0,10 a 0,63	280
Vietnam	0,03 a 0,47	31

Fonte: Syu et al., 2015.

Segundo estudo realizado por Syu et al. (2015), a absorção e translocação de arsênio varia entre genótipos. Desta forma, cultivares expostas as mesmas condições de manejo, solo e ambiente podem apresentar diferentes teores deste elemento. No mesmo estudo, os autores compararam variedades de arroz Indica e Japônicas e concluíram que cultivares Japônicas translocam e metabolizam de forma mais eficiente o arsênio.

2.4. Operações de industrialização de arroz

2.4.1 Descascamento e polimento

Para obtenção do grão polido, primeiramente ocorre a remoção da casca, que representa de 15 a 30% do peso do grão. Este percentual pode variar entre genótipos, manejos agrícolas, temperaturas durante o estágio de desenvolvimento da cultura e local de cultivo (GUTKOSKI; ELIAS, 1994; SALUNKHE; CHAVAN; KADAM, 1999).

Realizada a etapa de descascamento obtém-se o arroz integral, que será polido para obtenção do arroz beneficiado polido. O processo de polimento consiste na remoção do farelo do arroz, que inclui o pericarpo, o gérmen e a camada de aleurona da cariopse do arroz. De acordo com Parrado et al. (2006), o percentual de farelo removido pode variar de 8 a 11%. A Figura 4 detalha o processo de beneficiamento de arroz.

Com a remoção da casca ocorre remoção de proteínas, lipídeos, vitaminas e sais minerais que estão presentes na composição da camada mais externa do grão (SALUNKHE; CHAVAN; KADAM, 1999). De acordo com Lamberts et al. (2007) a remoção do farelo varia de acordo com a indústria, sendo que o mercado

consumidor impacta na definição da maior ou menor intensidade no processo de remoção, conforme o grau de polimento exigido.

Quanto maior o tempo de polimento que os grãos são expostos, maiores os danos mecânicos e isso tem influência direta no desempenho industrial, aumentando o rendimento de grãos quebrados. Durante o beneficiamento pode ocorrer a quebra dos grãos, sendo que genótipos que apresentam fissuras antes do processo de descascamento estão mais sujeitos a quebra (FAGUNDES et al., 2007).

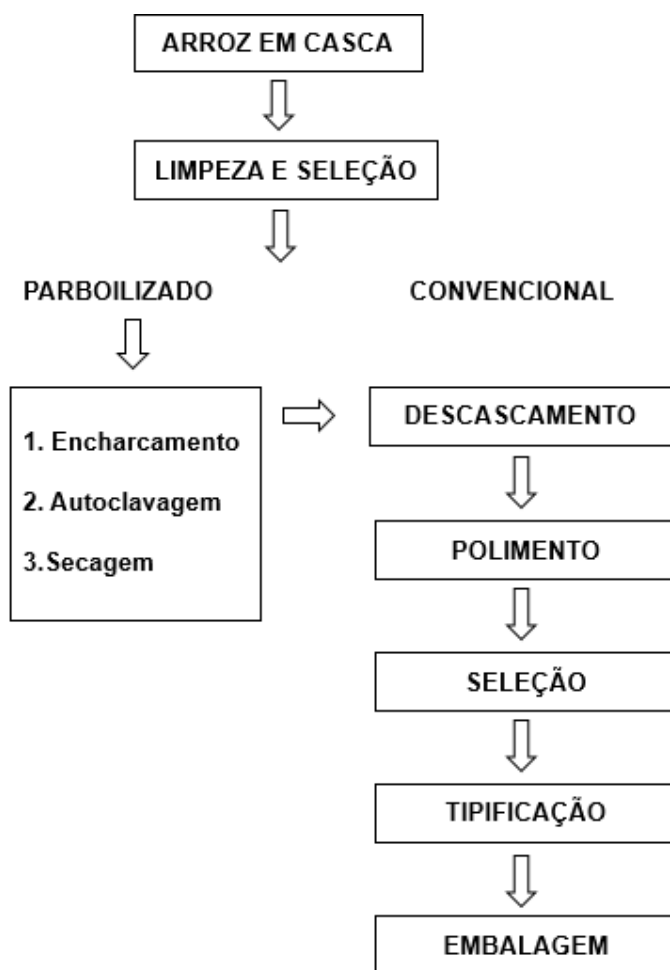


Figura 4 - Diagrama de beneficiamento para obtenção do arroz branco polido e parboilizado.

Expondo mais o endosperma e retirando as camadas menos solúveis periféricas à cariopse, principalmente fibras, o tempo para gelatinização do amido reduz. A intensidade desta alteração varia entre os genótipos, bem como a maior ou menor remoção de farelo, sendo que alguns materiais apresentam maior facilidade

na remoção das camadas mais externas ou apresentam um endosperma mais branco, opaco. Quanto maior o tempo de polimento, maior o gasto de energia na indústria, influenciando de forma negativa no desempenho industrial (PARK; KIM; KIM, 2001).

Conhecer os efeitos da intensidade das operações de beneficiamento do arroz em sua qualidade é importante para inserção do arroz no mercado nas suas diferentes formas de aceitação e padrões exigidos (ZHOU et al., 2002).

2.4.2 Parboilização

O arroz parboilizado representa de 20 a 25% do consumo mundial. Quando comparado ao arroz beneficiado polido, o arroz parboilizado apresenta maior teor de vitaminas do complexo B, minerais, fibras (JULIANO, 1985; HEINEMANN et al., 2005), e amido resistente (WALTER et al., 2005). Características benéficas a saúde do consumidor, principalmente para os que necessitam de dietas restritas, como diabéticos e celíacos.

A indústria arroseira e os consumidores passaram a exigir cada vez mais qualidade dos grãos. O processo de parboilização, além de minimizar a remoção de compostos nutricionais importantes na operação de polimento, minimiza a quebra dos grãos durante o beneficiamento e proporciona melhor conservação pela inativação de enzimas lipolíticas (GUTKOSKI; ELIAS, 1994; AMATO; ELIAS, 2005).

O processo inicia com o arroz ainda em casca. Os grãos são imersos em água a uma determinada temperatura, que visa a gelatinização parcial do amido (BOTELHO et al., 2010). O processo de absorção de água pode variar entre os genótipos, dependendo da temperatura e do tempo de exposição do arroz. A etapa de encharcamento para cada genótipo é determinada em isotermas de hidratação. Geralmente é necessário um percentual de água de 30% para finalização desta etapa (ELIAS et al., 2015). A casca de alguns genótipos abre mais facilmente do que outros durante o encharcamento. Esta característica não é desejável e conhecer o comportamento nas isotermas é de grande valia para a indústria.

Preservar características de cor, aroma e sabor nos grãos é desejável para manutenção da qualidade. Desta forma, é necessário no processo de encharcamento, evitar fermentações de origens enzimática e microbiana, buscando

manter os grãos somente o tempo necessário para sua hidratação (ELIAS et al., 2015).

De acordo com Elias et al. (2015) a pressão de autoclavagem varia de 0,5 a 1,2 Kgf.cm⁻², durante 10 a 30 min. A autoclavagem é realizada logo após o encharcamento. Ocorrendo a gelatinização parcial ou total do amido. Durante a formação dos grãos, ainda na planta, os grânulos de amido se organizam em estruturas semicristalinas, e ao ser submetido ao tratamento hidrotérmico ocorre perda na cristalinidade de forma irreversível (AMATO et al., 2002).

Realizado o processo de autoclavagem, os grãos precisam ser secos até umidade de 12 a 13% antes do descascamento. A secagem dos grãos exige uma sequência de operações para obtenção do melhor desempenho industrial dos grãos. Inicialmente, utiliza-se secador de leito fluidizado, que proporciona redução de umidade de 30-34% para 24-28%. Em seguida os grãos são encaminhados para o secador de coluna inteira, adaptado de contínuo para duas câmaras de ar quente, onde a umidade passa para 18-20%. A secagem final ocorre em secadores intermitentes onde a umidade reduz para 13% (AMATO; ELIAS, 2005).

Segundo Elias et al. (2015), repouso por período que varia de 48 a 72 h preserva a textura e a uniformidade dos grãos parboilizados, bem como seu desempenho industrial. Uma vez concluídas as operações de encharcamento, autoclavagem e secagem, o arroz segue o fluxograma de industrialização tal como no processo convencional (Figura 4).

3 Material e métodos

As avaliações foram realizadas no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (LABGRÃOS) do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial (DCTA) da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” (FAEM) da Universidade Federal de Pelotas, e do Laboratório da Empresa Puro Grão Indústria e Comércio de Arroz e Soja Ltda.

3.1 Materiais

O experimento foi realizado em uma propriedade rural do município de Pelotas, Rio Grande do Sul (Latitude 31°35'20"S; Longitude 52°16'96"O), na safra 2016/17. Foram utilizados grãos de arroz (*Oryza sativa* L.) da classe longo fino dos genótipos convencionais Puitá INTA CL, Guri INTA CL, Irga 424 RI e híbridos Titan CL, Lexus CL, Inov CL cultivados sob sistema irrigado na Granja Coodel (Latitude 31°35'20"S; Longitude 52°16'96"O) em talhões de 10 x 30 m, lado a lado. A semeadura foi realizada em 03 de outubro de 2016, com espaçamento entre linhas de 15 cm. As densidades de semeadura foram de 90 kg/ha⁻¹ para os genótipos de Puitá INTA CL, Guri INTA CL e Irga 424 RI e de 45 kg/ha⁻¹ para Titan CL, Lexus CL e Inov CL.

Os tratos culturais foram os mesmos para todos os genótipos: adubação de base de 306 kg/ha⁻¹ da fórmula N-P-K “00-18-36”; adubação de cobertura fracionada em duas épocas, sendo a primeira com 250 kg/ha⁻¹ “36-00-12” e 70 kg/ha⁻¹ “40-00-00”; na segunda aplicação após entrada da água na lavoura foram aplicados 60 kg/ha⁻¹ de “40-00-00”. O controle de plantas invasoras foi realizado com aplicação dos herbicidas Glifosato Atanor grupo químico (glicina substituída) no momento de ponto de agulha do arroz e pós emergência com Imazetapir na dose de 1,5 L/ha⁻¹ e com Kifix na dose de 120 g/ha⁻¹, ambos pertencentes ao grupo químico das (imidazolinonas). A época de supressão de água foi estabelecida de acordo com a recomendação para cada material.

Na Tabela 3 estão apresentadas as temperaturas médias, máximas e mínimas e a precipitação média durante os meses de cultivo da safra 2016/17.

Tabela 3 - Variáveis climáticas em Pelotas-RS na safra 2016/17

Período	Temperaturas médias (°C)		Precipitação (mm)
	Máxima	Mínima	
out/16	18,6	10,3	141,6
nov/16	25,3	14,1	200,4
dez/16	28,4	17,7	137,6
jan/17	28,7	19,3	125,0
fev/17	30,1	20,4	234,4
mar/17	27,0	17,3	139,6

Fonte: Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado - Agromet (2017).

Os grãos foram colhidos com umidade de 22 a 24%, as bordaduras dos talhões e marachas foram descartadas. A colheita foi realizada em escala devido às diferenças de ciclo e de grau de maturidade. A colheita do genótipo Puitá INTA CL foi realizada no dia 23 de fevereiro de 2017, sendo realizada manualmente, fazendo-se trilhagem com trilhadeira de parcelas; a colheita dos genótipos Guri INTA CL, Inov CL, Titan CL e Lexus CL ocorreu em 02 de março de 2017; e a colheita dos grãos do genótipo Irga 424 RI foi realizada no dia 11 de março de 2017, sendo estes colhidos com colheitadeira modelo New Holland. Após a colheita os grãos foram encaminhados imediatamente para Labgrãos da UFPEL. Todos os grãos foram secos em secador estacionário, escala piloto, até umidade de 12,5% e armazenados em baldes de polietileno a temperatura de 18°C até o momento das análises.

3.2. Métodos

3.2.1 Preparo das amostras

O trabalho foi dividido em dois estudos: processo convencional e parboilização. No estudo 1, para verificar a qualidade industrial dos genótipos submetidos ao processo convencional, foram avaliados seis genótipos que foram submetidos a diferentes tempos de polimento (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 s). No estudo 2, foram avaliados a qualidade industrial dos seis genótipos submetidos ao processo de parboilização.

3.2.2.1 Descascamento e polimento

Após a secagem, parte das amostras foram descascadas em engenho de provas da marca Zaccaria (Modelo PAZ-1-DTA) de acordo com as recomendações prescritas no manual de operações do equipamento. O polimento foi realizado em engenho de provas em diferentes tempos (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 s).

3.2.2.2 Isotermas de hidratação

As isotermas de hidratação foram realizadas com combinação de tempo e temperatura aplicáveis pelas indústrias parboilizadoras em função do comportamento das amostras de arroz utilizadas no estudo.

Na etapa de encharcamento as amostras de arroz em casca (50 g) foram colocadas em sacos de tule e dispostas em béquer de vidro com capacidade para 250 mL. Para os tratamentos foi adicionado água destilada e em seguida o material foi mantido em banho-maria (Dubnoff Microprocessado - Q226M, Brasil) com temperatura controlada de 60°C, 65°C e 70°C durante os tempos de hidratação de 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300, 360, 420, 480 min. As análises de brancura, tempo de cocção, RVA e difração de raio X do arroz parboilizado foram realizadas no grão polido por 60 s.

3.2.2.3 Parboilização

Para definição do tempo e da temperatura utilizados na etapa de encharcamento, foram realizados testes preliminares (isotermas de hidratação) com combinações de tempo e temperatura aplicáveis pelas indústrias parboilizadoras em função do comportamento da amostra de arroz utilizada no estudo, onde foi definida a melhor temperatura de 65°C pelo tempo de 6 h.

As amostras de arroz em casca (300 g) foram colocadas em sacos de tule e dispostas em béquer de vidro contendo 0,9 L de água destilada pré-aquecida. Em seguida o material foi mantido em banho-maria (Dubnoff Microprocessado - Q226M, Brasil) com temperatura controlada de 65°C durante o tempo de hidratação de 6,0 h

para todos os genótipos. Na sequência, drenou-se a solução de cada béquer para posterior autoclavagem dos grãos.

A operação de autoclavagem foi realizada em autoclave vertical com pressão de 0,5 kgf.cm⁻² durante 10 min, conforme metodologia desenvolvida por Elias (1998). Após a autoclavagem dos grãos, retirou-se o excesso de água livre dos mesmos via gravidade, permanecendo em repouso a temperatura ambiente (25°C) por aproximadamente 12 h. O arroz parboilizado foi seco em estufa com circulação forçada de ar (Modelo 400-2ND, Nova Ética, Brasil) a 38°C, até atingir 13% de umidade. Após a secagem, os grãos foram descascados e polidos por 60 s e armazenados a 18°C±1°C. O processo de parboilização foi realizado em triplicata.

3.2.3 Avaliações

3.2.3.1 Renda do benefício, rendimento de grãos inteiros e quebrados

A renda de descascamento foi determinada de acordo com a Instrução Normativa 06/2009 (BRASIL, 2009). A separação dos grãos quebrados e inteiros foi realizada no *trieur* (cilindro alveolado) e revisada manualmente com auxílio do paquímetro digital. Em todas as intensidades de polimento foram avaliados os teores de grãos quebrados. Foram considerados grãos quebrados aqueles que apresentaram comprimento inferior a $\frac{3}{4}$ da classe dominante, ou seja, menor que 4,49 mm.

3.2.3.2 Teor de remoção do farelo

O teor de farelo foi determinado por diferença de peso entre o arroz integral e o arroz polido.

3.2.3.3 Percentual de defeitos

A incidência de defeitos foi determinada pelo somatório de todos os defeitos presentes nos grãos de arroz após 60 s de polimento (gessados, picados, rajados e amarelos) de acordo com a Instrução Normativa 06/2009 (BRASIL, 2009). Para os defeitos barriga branca e barriginha adotaram-se os seguintes critérios: foi considerado barriga branca o grão que apresentou coloração opaca em 50 a 99% de

sua constituição e barriguinha os grãos que apresentaram coloração opaca em 25 a 49% de sua constituição.

3.2.3.4 Perfil branquimétrico

O perfil branquimétrico dos grãos polidos foi determinado com uso do branquímetro Zaccaria (modelo MBZ-1, Indústria de Máquinas Zaccaria S/A, São Paulo, Brasil), operado de acordo com recomendações do fabricante. Para determinação do grau de brancura foram preparadas duas amostras de cada genótipo e de cada amostra foram realizadas três medições, obtendo-se uma média final das seis repetições de cada material.

3.2.3.5 Composição centesimal

O teor de umidade das amostras de arroz nos grãos integrais foi determinado através do uso de estufa a 105 ± 3 °C, com circulação de ar por 24 h de acordo com o método oficial de análises de sementes preconizado pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009). O teor de nitrogênio total foi determinado pelo método de Kjeldahl n° 46-13 da American Association of Cereal Chemists (AOAC, 1997), sendo o teor de proteína bruta obtido pela multiplicação pelo fator 5,95. O teor de lipídeos foi determinado pelo método n° 30-20 da American Association of Cereal Chemists (AOAC, 1997), em extrator de Soxhlet utilizando éter de petróleo como solvente. O teor de cinzas foi analisado pelo método n° 08-01 da American Association of Cereal Chemists (AOAC, 1997), usando forno mufla a 600°C até peso constante. As análises foram avaliadas em triplicata e os resultados foram expressos em %.

3.2.3.6 Teor de amilose

O teor de amilose foi determinado por método colorimétrico com iodo, conforme método de McGrane, Cornell e Rix (1998) com modificações sugeridas por Hoover e Ratnayake (2001). O resultado foi expresso em % de amilose aparente.

3.2.3.7 Teor de arsênio

O teor de arsênio no arroz beneficiado polido foi determinado pelos métodos 2011.19 e 993.14 da *American Organization of Analytical Chemists* (AOAC, 2012), utilizando Espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). O resultado foi expresso em ppb de arsênio total.

3.2.3.8 Tempo de cocção

O tempo de cocção para as amostras foi determinado de acordo com o teste de Ranghino (MOHAPATRA; BAL, 2007). Aproximadamente 5 g de arroz foram colocadas em béquer (250 mL), com 250 mL de água destilada ($98^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) mantida em ebulição através do uso de chapa de aquecimento. Após 5 minutos de cocção foi iniciada a verificação da ausência do centro branco do grão de arroz pressionando a amostra em placas de vidro. Quando 90% dos grãos apresentaram ausência do centro branco, o tempo de cocção, em minutos, foi registrado.

3.2.3.9 Propriedades viscoamilográficas (RVA)

As propriedades viscoamilográficas dos amidos foram avaliadas pelo RVA “Rapid Visco Analyser” (modelo RVA-4, Newport Scientific, Austrália), através do perfil Standard Analysis 1, utilizando 3,0 g de amostra corrigida para 14% de umidade. Foram avaliados o pico de viscosidade, a viscosidade final, a capacidade de retrogradação e a temperatura da pasta.

3.2.3.10 Difração por raios-X

Difratogramas de raios-X dos grãos moídos foram obtidos com um difratômetro de raios-X (XRD-6000, Shimadzu, Brasil) em que a região de varredura da difração variou de 3° a 45° , com uma tensão alvo de 30 kV, uma corrente de 30 mA e velocidade de varredura de 1°min^{-1} . A cristalinidade relativa (CR) dos grânulos de amido foi calculada como descrito por Rabek (1980), seguindo a equação $RC (\%) = (A_c / (A_c + A_a)) * 100$, onde A_c é a área cristalina e A_a é a área amorfa no difratograma de raio-X.

3.2.4 Análise estatística

Os dados foram analisados quanto a sua normalidade e homocedasticidade, submetidos à análise de variância e, posteriormente, comparados pelo teste de Tukey a 5% de significância.

4 Resultados e discussão

4.1 Processo convencional

4.1.1 Renda do benefício e rendimento de grãos inteiros e quebrados

A renda do benefício dos diferentes genótipos de arroz em função dos diferentes tempos de polimento está apresentada na Figura 5A. A maior renda do benefício foi observada no genótipo convencional Guri INTA CL, para todos os tempos de polimento, enquanto o percentual de menor renda foi registrada no beneficiamento de grãos da cultivar híbrida Lexus CL. A renda do benefício diminuiu de forma linear com o aumento do tempo de polimento para todos os genótipos. Considerando o tempo de polimento mais usual de 60 s, é possível agrupar as cultivares convencionais dentre as que apresentam maiores valores de renda de benefício e as cultivares híbridas dentre as que apresentam menores valores de renda de benefício, sinalizando diferente intensidade de remoção de farelo para os grupos formados.

Grãos da cultivar convencional Puitá INTA CL apresentaram maiores percentuais de grãos inteiros, independentemente do tempo de polimento (Figura 5B). Para o tempo de 60 s de polimento o rendimento de inteiros variou de 54 a 69%, em função do genótipo. A legislação brasileira define rendimento de inteiros de 58% como base para comercialização de arroz, mas algumas indústrias definem suas próprias tabelas de rendimentos-base para compra e venda de arroz. Considerando 58% como base e o tempo de polimento de 60 s, observa-se que apenas grãos da cultivar híbrida Inov CL não apresentaram desempenho satisfatório. Os genótipos convencionais Puitá INTA CL, Guri INTA CL e Irga 424 RI apresentaram maiores rendimentos de grãos inteiros quando comparados aos híbridos Titan CL, Lexus CL e Inov CL (Figura 5B).

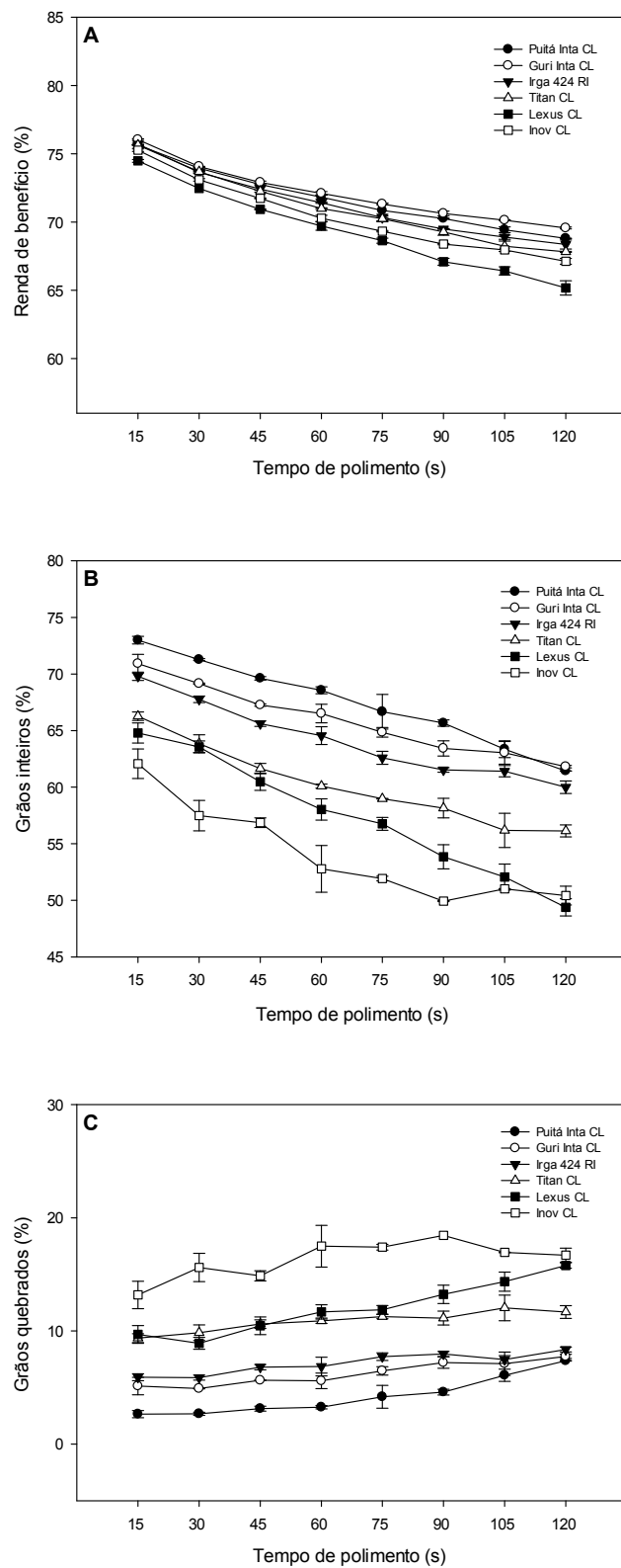


Figura 5 - Renda do benefício (A), rendimento de grãos inteiros (B) e percentual de grãos quebrados (C) em função do tempo de polimento de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.

O rendimento de grãos inteiros é influenciado por fatores genéticos, por condições ambientais em que as plantas são cultivadas e pelo momento de colheita (JONGKAEWWATTANA; GENG, 2001). Grãos com matriz amilácea-proteica mais fraca com ar ocluso em seu endosperma, tendem a quebrar mais facilmente na operação de polimento durante o beneficiamento. A suscetibilidade do genótipo a determinados estresses de campo no cultivo, interfere na ocorrência de maiores ou menores alterações na matriz amilácea-proteica. Outro fator que interfere no rendimento de inteiros e de quebrados é a ocorrência de fissuras durante a secagem dos grãos, quando se extrapola as temperaturas de transição vítrea. Este fator foi isolado no presente estudo, uma vez que os grãos foram secos em condições iguais, com temperatura branda e secagem estacionária. O incremento no tempo de polimento obviamente promove a diminuição no rendimento de grãos inteiros devido ao maior atrito grão-grão e grão-brunidor. Em estudo, Mohapatra e Bal (2007) reportaram que danos mecânicos intensificam a quebra dos grãos de arroz e alteram seu padrão de qualidade.

Blanche et al. (2009) ao avaliarem o efeito genotípico e ambiental de 15 cultivares convencionais e híbridas mostraram que o rendimento de híbridos foi inferior ao rendimento de cultivares convencionais. Londero et al. (2015) verificaram maior rendimento de grãos do genótipo Puitá INTA CL do que do genótipo híbrido Inov CL quando cultivados no município de Santa Maria.

O menor percentual de grãos inteiros em cultivares híbridas pode estar associado ao maior tamanho das panículas, o que promoveria uma desuniformidade no momento da maturação e prejudicaria o enchimento e formação de grãos, resultando em baixo percentual de grãos inteiros (WANG; CHENG, 2004; DONG et al., 2008; YANG; ZHANG, 2010).

Na Figura 5C está apresentado o rendimento de grãos quebrados de cada genótipo em função dos tempos de polimento, sendo esta informação complementar aos resultados apresentados na Figura 5B, de rendimento de grãos inteiros. Diferenças entre genótipos estão relacionadas à sua constituição e estrutura. Grãos gessados, parcialmente gessados (incluindo grãos denominados “barriga branca” e “barriguinha”) ou danificados são sempre mais sensíveis ao polimento (CASTRO et al., 1999).

De acordo com a Instrução normativa nº 06/2009, no tempo de polimento de 60 s os genótipos híbridos Titan CL e Lexus CL estariam classificados como Tipo 2

considerando-se o percentual de grãos quebrados, e o genótipo híbrido Inov CL seria enquadrado no Tipo 3. O genótipo convencional Irga 424 RI seria classificado como Tipo 2 a partir do tempo de polimento de 75 s, sendo que o genótipo Puitá Inta CL seria Tipo 1 em todos os tempos de polimento e o genótipo Guri CL seria classificado em Tipo 1 até o tempo de polimento de 105 s. (BRASIL, 2009).

4.1.2 Teor de remoção do farelo

O grau de polimento é a medida do percentual de farelo removido dos grãos. Na Figura 6 estão apresentados os percentuais de farelo removido dos genótipos em função dos diferentes tempos de polimento.

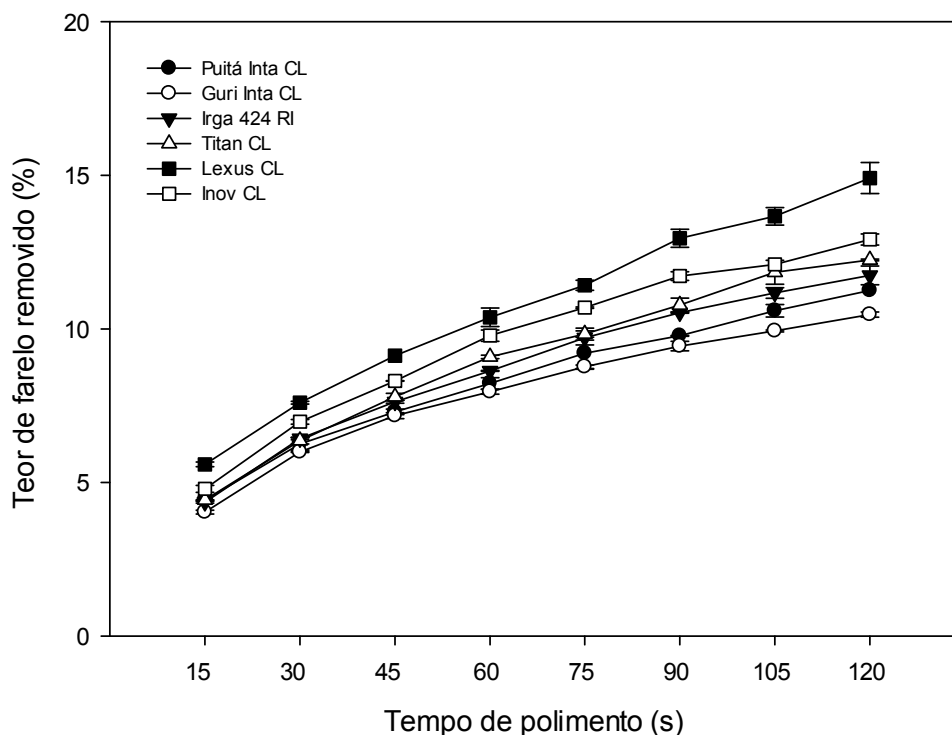


Figura 6 - Percentual de farelo removido em função do tempo de polimento de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.

Para atender a demanda dos consumidores por um produto branco e translúcido, o percentual de remoção de farelo nas indústrias de beneficiamento de arroz varia entre 8 e 14% (GULARTE, 2002; MONKS et al., 2013). Os resultados

apontam maior facilidade de remoção de farelo para grãos das cultivares híbridas, de acordo com Siebenmorgen et al. (2012), cultivares híbridas exigiram menor tempo de polimento para obter o mesmo grau de polimento quando comparadas com cultivares convencionais. No tempo de 60 s, o percentual de farelo removido variou de 7,9% (Guri INTA CL) a 10,4% (Lexus CL). Lamberts et al. (2007) reportaram que um grau de polimento de até 10% significa que houve apenas remoção de farelo. No entanto, estes percentuais podem variar em função do genótipo, devido a diferenças de dimensões dos grãos, de espessura das camadas que constituem o farelo e de composição do mesmo. Os percentuais de remoção de farelo (grau de polimento) afetam a coloração e o valor nutricional dos grãos (MONKS et al., 2013).

O farelo de arroz apresenta em sua composição de 12 a 22% de lipídeos, 11 a 17% de proteínas, 6 a 14% de fibras, 10 a 15% de umidade e 8 a 17% de cinzas, variando conforme o genótipo e condições de processamento (SHARIF et al., 2014). É considerado fonte de fibras, vitaminas E e do complexo B e minerais, como, magnésio, manganês, zinco, cobre, ferro, potássio e sódio, o que o torna um potencial ingrediente no desenvolvimento de produtos funcionais (EMBRAPA, 2004). Portanto, o grau de polimento impacta diretamente na qualidade nutricional dos grãos de arroz, pois quanto maior a remoção de farelo, maiores as perdas de nutrientes. A remoção de 8% de farelo resulta em uma redução de 72,2%, 41,6% e 65,2% no teor de ácido fólico, cinzas e lipídeos (MONKS et al., 2013).

4.1.3 Percentual de defeitos

Os percentuais de defeitos de cada genótipo avaliados quando submetidos ao polimento por 60 segundos estão apresentados na Figura 7.

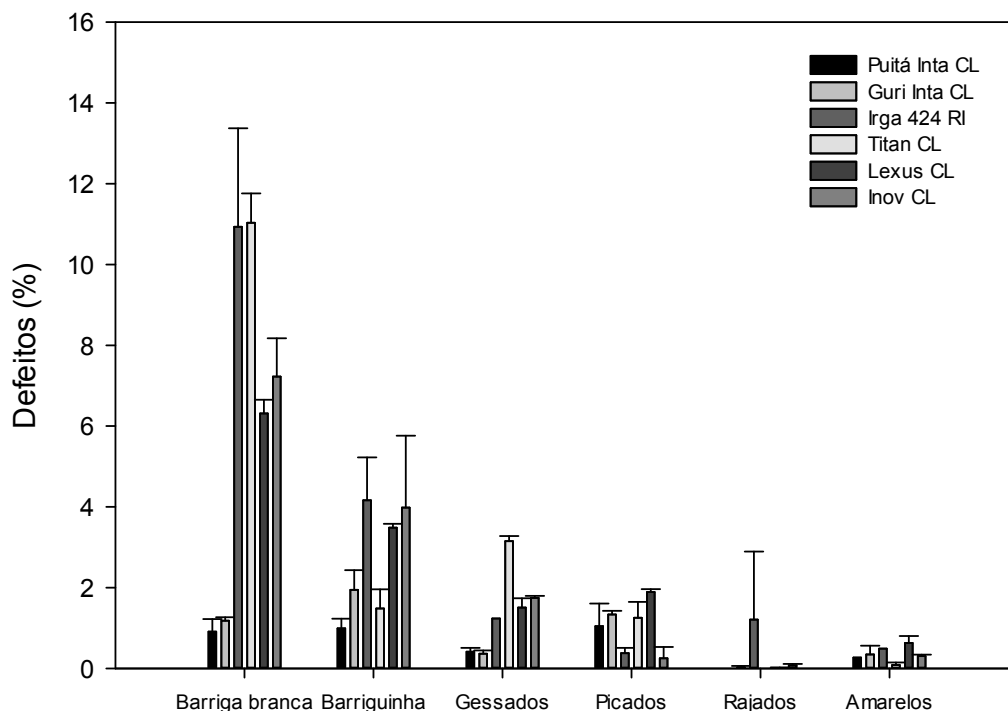


Figura 7 - Percentual de defeitos e grãos gessados, de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.

O genótipo Puitá INTA CL apresentou os menores percentuais de barriga branca e barriguinha. Cabe ressaltar que grãos denominados “barriga branca” são aqueles que apresentam opacidade em 50 a 99% de sua área enquanto grãos denominados “barriguinha” são aqueles que apresentam opacidade em 25 a 49% de sua área. Grãos barriga branca e barriguinha não são enquadrados como defeito na IN MAPA 06/2009. Os maiores valores de grãos barriga branca (aproximadamente 11%) foram observados nos materiais Titan CL e Irga 424 RI, sendo que o Irga 424 RI destacou-se também pelo alto percentual de grãos “barriguinha”. Os menores percentuais de grãos gessados foram quantificados nos genótipos Puitá INTA CL (0,42%) e Guri INTA CL (0,37%). Já o maior teor de grãos gessados foi observado no genótipo Titan CL (3,15%).

Segundo Elias et al. (2012), os tipos de defeitos existentes determinam o rendimento dos grãos no momento do beneficiamento, sendo que muitos deles podem comprometer a qualidade e a eficiência do processo de armazenagem ao qual são submetidos. Os grãos gessados apresentam pré-disposição a quebra

durante o processo de polimento e isso impacta no valor de mercado (FITZGERALD; MCCOUCH; HALL, 2009) e porém, este não é considerado um defeito metabólico, que evolua com o armazenamento.

Os genótipos híbridos Inov CL e Titan CL apresentaram os maiores percentuais de quebra no tempo de 60 s de polimento (17,5% e 10,9%, respectivamente) e isto está associado ao fato de que estes genótipos apresentaram elevados teores de grãos gessados, de grãos “barriga branca” e/ou de grãos “barriguinha”.

4.1.4 Perfil branquimétrico

O grau de brancura dos diferentes genótipos de arroz, em função do tempo de polimento, está apresentado na Figura 8.

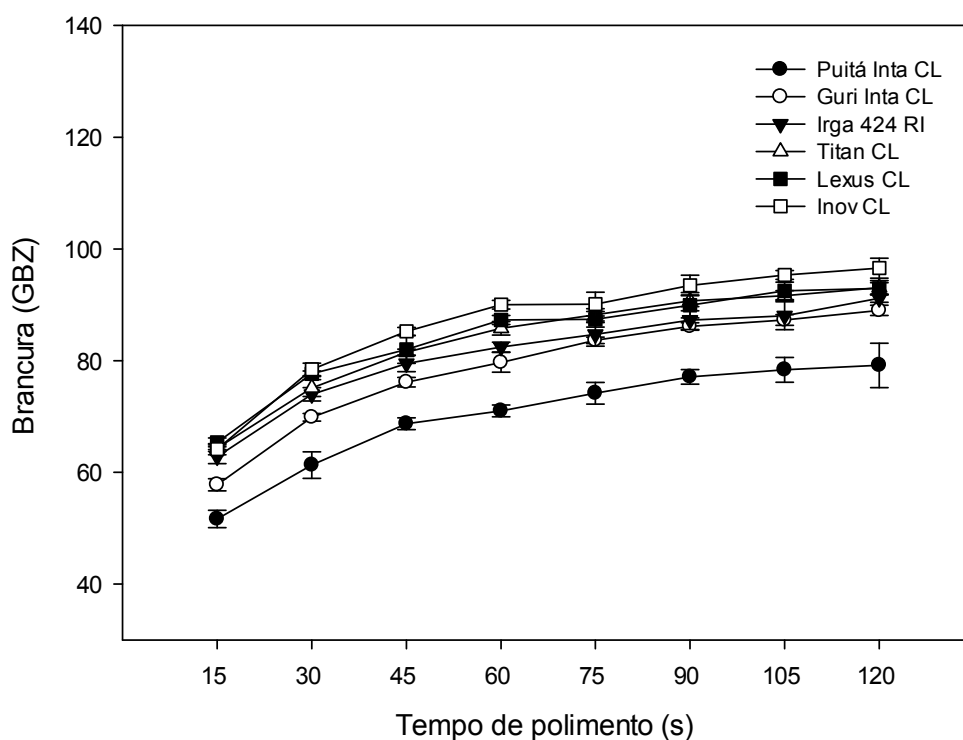


Figura 8 – Grau de brancura dos grãos em função do tempo de polimento de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.

O parâmetro de qualidade branca variou entre os genótipos e aumentou com o tempo de polimento (Figura 7). Independentemente do tempo de polimento utilizado, grãos do genótipo Puitá INTA CL apresentaram menores valores de branca, enquanto que grãos da cultivar híbrida Inov CL se destacaram por apresentar grãos mais brancos.

Observou-se que o genótipo Puitá INTA CL apresentou menores percentuais de farelo removido em todos os tempos de polimento (Figura 6). Como os compostos lipídicos e minerais presentes no farelo são responsáveis pela coloração amarelada do arroz integral (MONKS et al., 2013), isso pode ter afetado o grau de branca desse genótipo, pois o grau de polimento atingido não foi capaz de remover todo farelo, não atingindo o endosperma (LAMBERTS et al., 2007). Esta é uma possibilidade. Outra justificativa é a maior vitricidade dos grãos do genótipo Puitá INTA CL, que faz com que estes grãos sejam naturalmente menos brancos, menos opacos do que os demais, principalmente quando comparados aos grãos das cultivares híbridas. Os genótipos com maior grau de branca aos 60 s de polimento foram os híbridos Inov CL (90,03), Lexus CL (87,3) e Titan CL (85,82).

Conforme Lisle, Martin e Fitzgerald (2000), o grau de branca dos genótipos de arroz pode ser maior quando há presença de áreas gessadas, pois nesses casos há modificação na refração da luz e, conseqüentemente, na porcentagem de luz refletida pela amostra, conferindo coloração mais branca às partes gessadas do grão. Embora reduza o valor nutricional dos grãos de arroz, o aumento do grau de polimento e, conseqüentemente, do maior grau de branca, parece favorecer a comercialização do grão beneficiado polido, pois atende às exigências da maioria dos consumidores brasileiros, que preferem o produto mais branco e translúcido (GULARTE, 2002; ELIAS, 2007). No mercado internacional, países como Peru, Costa Rica, México e Venezuela são exemplos de países cujos consumidores também preferem grãos com estas características.

Os resultados observados na Figura 8 sustentam a utilização de menores tempos de polimentos quando se utiliza cultivares híbridas comparadas as convencionais, onde obtém-se melhores rendimentos de inteiros e altos graus de branca. Este ajuste no tempo de polimento de acordo com o genótipo utilizado pode representar importante aprimoramento na indústria arroseira, reduzindo perdas e melhorando a lucratividade.

4.1.5 Composição centesimal

Na Figura 9 estão apresentados os resultados da composição centesimal avaliada nos grãos integrais dos genótipos híbridos e convencionais. Os grãos do genótipo Guri INTA CL apresentaram o maior percentual de proteína bruta (8,16%) enquanto grãos da cultivar híbrida Titan CL apresentaram o menor valor (6,75%) (Figura 9A) no entanto, não houve diferença estatística entre os genótipos. Os percentuais de lipídeos variaram de 2,16% (Guri INTA CL) a 2,42% (Inov CL) (Figura 9B) e os valores de cinzas de 1,38% (Puitá INTA CL e Inov CL) a 1,53% (Irga 424 RI) (Figura 9C).

Embora as maiores variações no conteúdo proteico ocorram em função de diferenças no genótipo, esses teores podem ser influenciados também pelo ambiente e manejo da cultura. A interação amido-proteína forma uma estrutura complexa com maior resistência aos danos mecânicos durante o polimento (SINGH et al., 2000; SUJATHA et al., 2003). Estas interações amido-proteína são influenciadas pelo teor proteico e pela solubilidade das proteínas, ou seja, quanto maior o percentual de glutelinas, via de regra, mais forte será a interação amido-proteína (WU et al., 2016).

Os constituintes dos grãos como cinzas, lipídeos e proteínas, estão localizados em maiores proporções na camada mais periférica da cariopse, sendo, dessa forma, removidos no polimento. A intensificação do polimento pode remover até 100% de cinzas e lipídeos (HEINEMANN et al., 2005; WALTER et al., 2008).

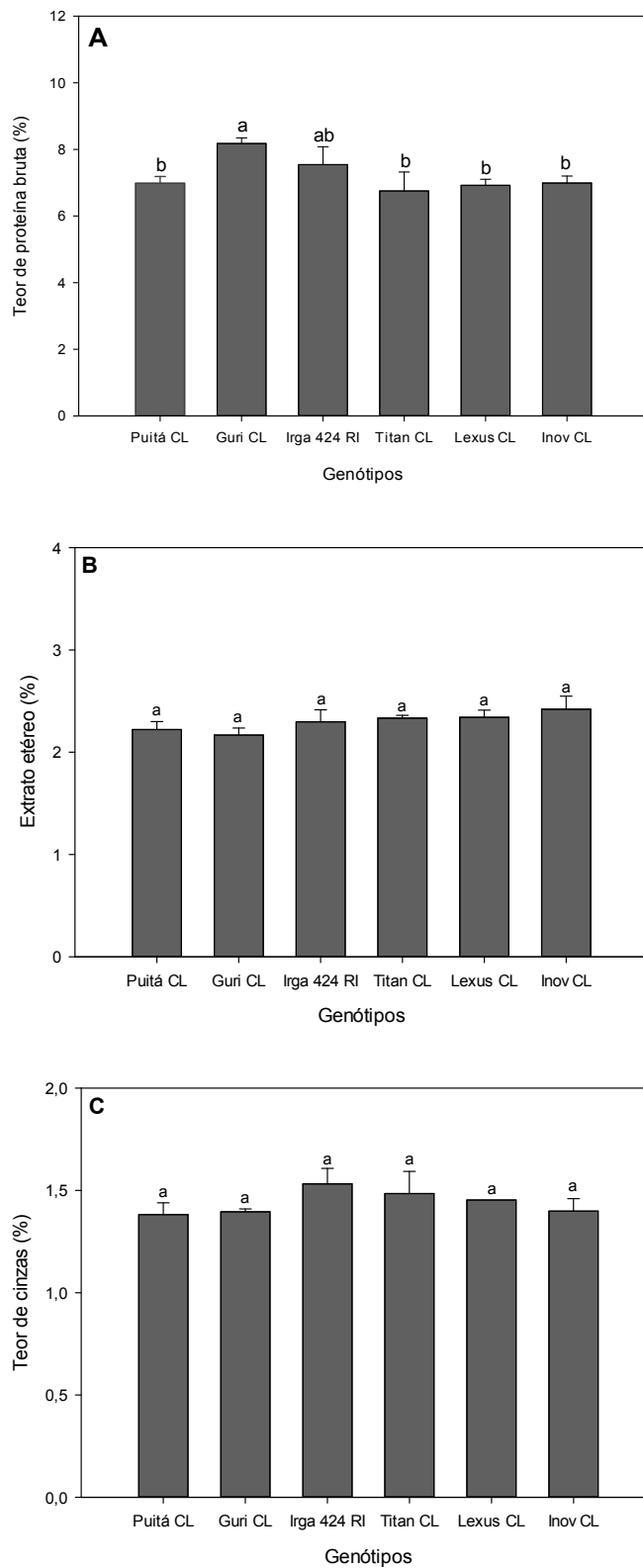


Figura 9 – Teor de proteína bruta (A), extrato etéreo (B) e cinzas (C) dos grãos integrais de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.

4.1.6 Teor de amilose

O teor de amilose dos genótipos está apresentado na Figura 10. O teor de amilose variou de 23,04% (Titan CL) a 27,40% (Lexus CL). Os genótipos Puitá INTA CL, Guri INTA CL, Inov CL, Lexus CL e Irga 424 RI são classificados como arroz de alta amilose (25 – 33%), enquanto o genótipo Titan CL é classificado como média amilose (20 – 25%) (JULIANO, 2003).

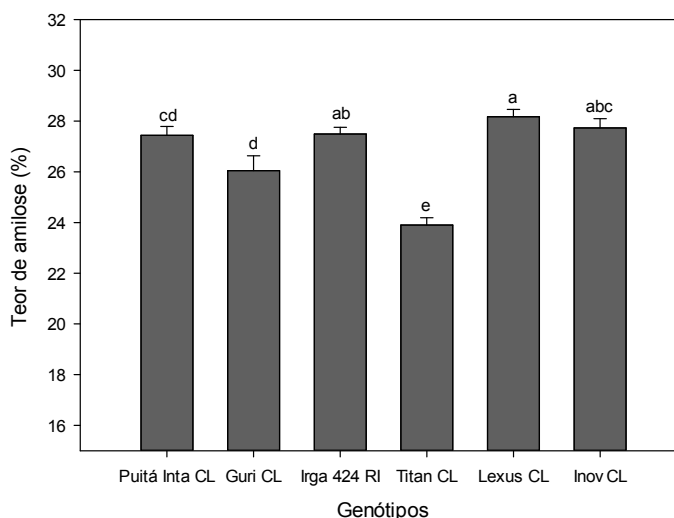


Figura 10 – Teor de amilose aparente (%) em grãos polidos de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.

O teor de amilose está relacionado com as propriedades textuométricas do arroz como maciez e coesão e ainda com cor, brilho e volume de expansão, fornecendo informações sobre as mudanças que ocorrem durante o processo de cocção (JULIANO, 2003).

Arroz com alto teor de amilose, normalmente, apresenta grãos secos e soltos após o cozimento. Estes grãos, podem ficar endurecidos no resfriamento. Os genótipos com baixo teor de amilose apresentam grãos macios, aquosos e pegajosos no cozimento. Aqueles com teor intermediário apresentam grãos enxutos, soltos e macios, mesmo após o resfriamento (JULIANO, 2003; KENNEDY; BURLINGAME, 2003; NAVES, 2007; ELIAS et al., 2012). Esta seria a característica dos grãos da cultivar Titan CL de nível intermediário.

Assim como o rendimento de inteiros e o teor de grãos gessados, “barriga branca” e “barriguinha”, o teor de amilose também varia em função das condições ambientais no cultivo. Os resultados de amilose apresentados na Figura 10

representam as condições da safra 2016/2017, no município de Pelotas, Rio Grande do Sul. O principal fator de cultivo que afeta o teor de amilose é a temperatura do ar durante a maturação do arroz entre os estádios fenológicos R4 e R8. De forma geral, maiores temperaturas têm sido associadas a menores teores de amilose (MORITA et al., 2016).

4.1.7 Teor de Arsênio

O teor de arsênio nos grãos de arroz integral variou de 220 a 319 ppb, conforme apresentado na Figura 11. O menor teor foi determinado nos grãos do genótipo Puitá INTA CL enquanto o maior valor foi determinado nos grãos do genótipo Inov CL. A ANVISA estabelece limite máximo de arsênio inorgânico de 300 ppb para arroz e seus derivados (BRASIL, 2013). Cerca de 60-65% do arsênio total do arroz está na forma inorgânica, o que permite inferir que o teor de arsênio inorgânico nas amostras de arroz analisadas está dentro dos limites estabelecidos pela ANVISA.

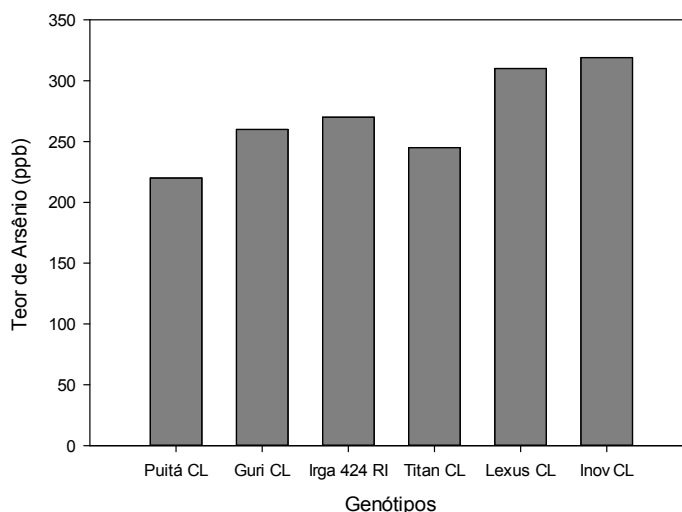


Figura 11 – Teor de Arsênio dos grãos, de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS.

Estudos têm mostrado o efeito dos genótipos e dos fatores ambientais na acumulação de arsênio nos grãos de arroz (NORTON et al., 2009). O acúmulo de arsênio nos grãos depende de fatores bióticos e abióticos (ZHENG et al., 2011),

desta forma, o local de cultivo, a água e o solo contaminados, bem como as diferenças entre os genótipos podem alterar os teores finais nos grãos. Entre os fatores abióticos, a concentração de arsênio na água de irrigação, a relação água-ar dos poros do solo e a disponibilidade de arsênio no solo são predominantes no arroz (BASU et al., 2015). No local de cultivo dos genótipos do presente estudo, pelos baixos teores de arsênio total, infere-se que não há contaminação no solo nem na água de irrigação.

Trabalho conduzido por Segura et al. (2015), com amostras de arroz de diferentes locais de cultivo do estado do Rio Grande do Sul, apontou diferenças nos teores de arsênio, porém em 85% das amostras avaliadas foram encontrados teores inferiores a 200 ppb. As diferenças observadas no presente estudo (Figura 11) indicam pequenas variações entre os genótipos avaliados, mas que dão suporte a literatura existente, onde há relatos de que alguns materiais tem maior afinidade com o arsênio e dessa forma podem absorvê-lo de forma mais eficiente ou podem metabolizá-lo de forma mais acelerada.

4.1.8 Tempo de cocção

O tempo de cocção dos grãos dos diferentes genótipos de arroz, no tempo de polimento de 60 s está apresentado na Figura 12.

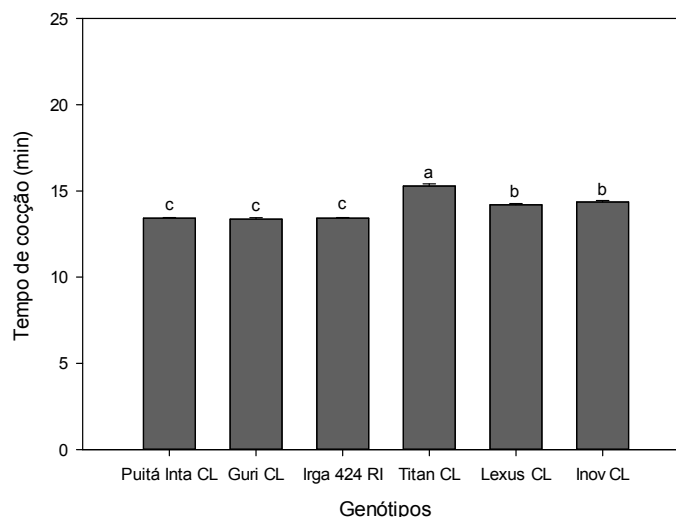


Figura 12 – Tempo de cocção no tempo de polimento de 60 s de genótipos de arroz irrigado cultivados em Pelotas, RS

As cultivares convencionais apresentaram tempo de cocção médio de 13,40 min (Figura 12). Entre as cultivares híbridas, os genótipos Lexus CL e Inov CL apresentaram tempo de cocção médio de 14,30 min, enquanto o genótipo Titan CL, levou 15,20 min para cozinhar. O tempo de cocção do arroz pode ser afetado por fatores como o teor de umidade do grão, a composição do grão (principalmente relacionada às características da amilose e proteína), método de cozimento e métodos de processamento (YU et al., 2017). Os tempos de cocção mais elevados são conhecidos como resultado de interações entre amilose-amilose, amilose-amilopectina e amido-proteína que dificultam a capacidade de absorção de água do arroz e aumentam o tempo necessário para a gelatinização de amido.

4.1.9 Isotermas de hidratação

As isotermas de hidratação na operação de encharcamento a 60, 65 e 70 °C para os genótipos Puitá INTA CL, Guri INTA CL, Inov CL, Titan CL, Lexus CL e Irga 424 RI estão apresentadas nas Figuras 13A, 13B, 13C, 13D, 13E e 13F, respectivamente. As características de hidratação foram semelhantes nas temperaturas estudadas para todos os genótipos, apresentando absorção mais rápida nas primeiras horas de encharcamento seguido de uma tendência à estabilização, com exceção da temperatura de 70°C.

Para todos os genótipos foi possível observar que na temperatura de 70°C houve rápida absorção de água e ausência de estabilidade. Nesta condição foi observada a demasiada abertura da casca dos grãos, o que, segundo Paiva (2011), dificulta a operação de autoclavagem pela lixiviação de material da cariopse. A abertura da casca também favorece a ocorrência de grãos danificados, considerados defeitos para enquadramento em tipos no regulamento técnico de classificação de arroz da IN MAPA 06/2009.

Na etapa de encharcamento é desejável que os grãos atinjam 30% de umidade para propiciar, posteriormente, adequada gelatinização do amido (FONSECA, 2011). Desta forma, percebe-se que a 65°C a umidade dos grãos estabiliza próximo a 30% a partir dos 360 min para todos os genótipos estudados, escolhendo-se, assim, essa combinação binária tempo-temperatura para a operação de hidratação (65°C por 6 h).

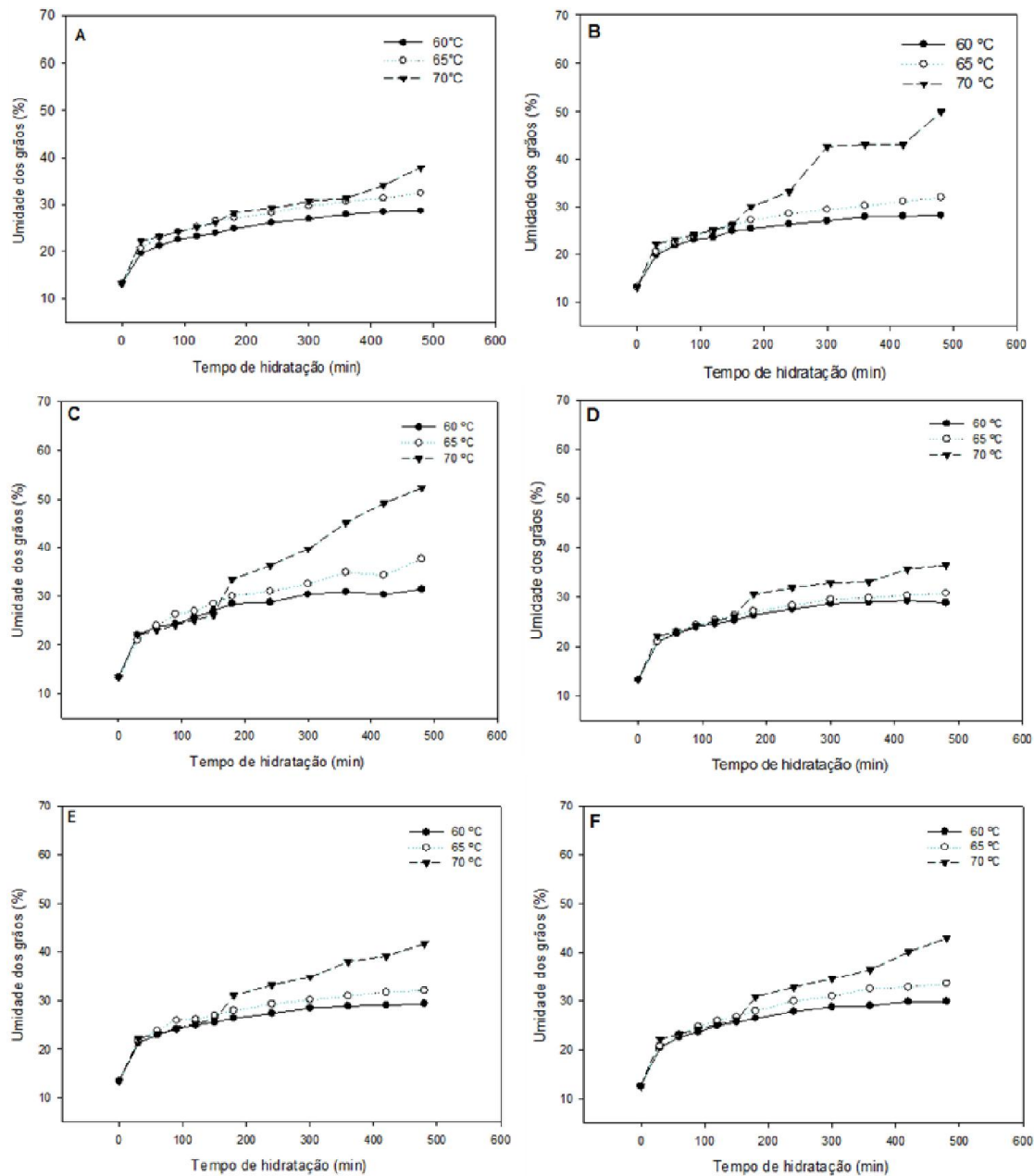


Figura 13 - Isotermas de hidratação dos genótipos Puitá INTA CL (A), Guri INTA CL (B), Irga 424 RI (C), Titan CL (D), Lexus CL (E) e Inov CLI (F) nas temperaturas de hidratação de 60, 65 e 70°C.

4.2 Processo de parboilização

4.2.1 Brancura do arroz parboilizado

A brancura do arroz parboilizado polido está apresentada na Figura 14.

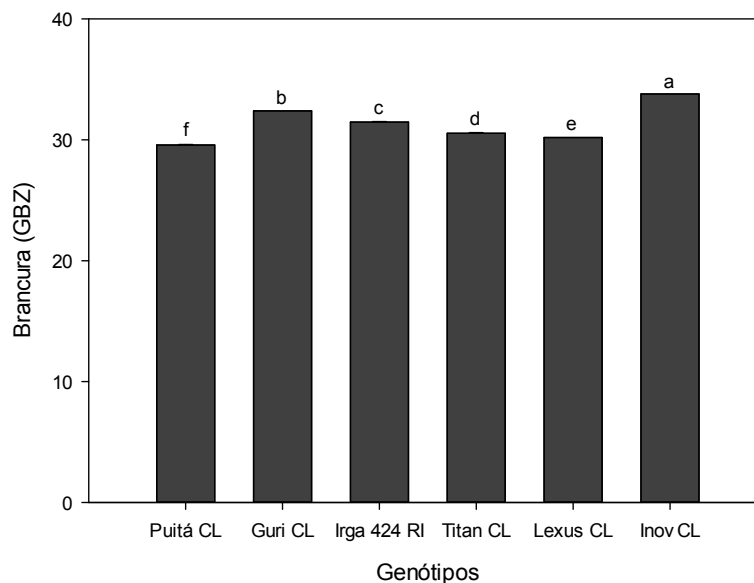


Figura 14 – Grau de brancura do arroz parboilizado polido.

Os resultados para brancura variaram de 29,57 a 33,8, valores inferiores àqueles determinados para os grãos polidos (Figura 8). Entre os genótipos convencionais o maior grau de brancura foi observado no Guri INTA CL (32,4) e entre os híbridos no Inov CL (33,8), seguindo a tendência observado para a brancura dos grãos beneficiados polidos (Figura 8).

A alteração na coloração dos grãos durante o processo de parboilização tem sido atribuída (1) a difusão de pigmentos da casca e do farelo, (2) ao escurecimento não-enzimático do tipo *Maillard* e (3) as alterações enzimáticas durante o encharcamento (ALI e BHATTACHARYA, 1980; BHATTACHARYA e RAO, 1966; LAMBERTS et al., 2007). Lamberts et al. (2007) estudaram a formação de pigmentos escuros em arroz devido as condições de parboilização, e sugeriram que a reação de *Maillard* é a principal responsável pelo escurecimento, sendo iniciadas pela reação entre o grupamento carbonila do açúcar redutor com o grupamento amina dos aminoácidos (principalmente lisina), peptídeos, ou proteínas.

Desta forma, diferenças na coloração dos grãos parboilizados podem decorrer dos teores iniciais de aminoácidos livres e de açúcares redutores da estrutura da cariopse dos grãos. Grãos que intumescem com maior facilidade e com matriz amilácea-proteica mais fraca, tendem a ser mais impactados pelas variáveis de parboilização.

4.2.2 Tempo de cocção do arroz parboilizado

O tempo de cocção dos diferentes genótipos de arroz submetidos a parboilização e polidos por 60 s está apresentado na Figura 15.

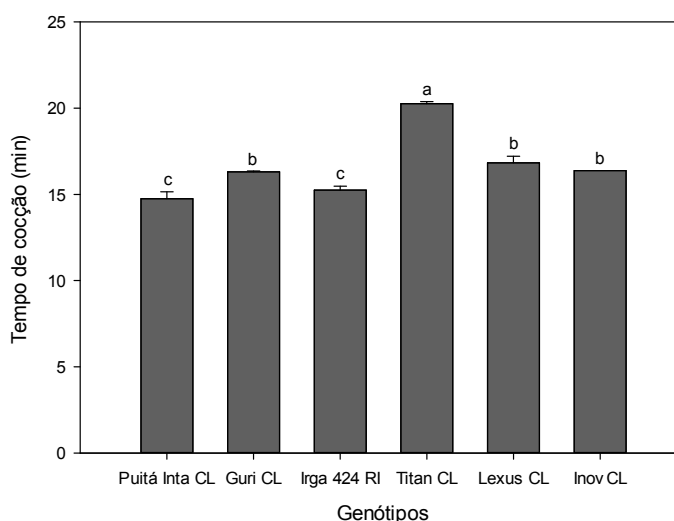


Figura 15 – Tempo de cocção de arroz parboilizado (encharcamento a 65°C por 6 h e autoclavagem a 0,5 kgf.cm⁻² por 10 min) e polido (60 s de polimento).

O maior tempo de cocção foi observado no genótipo híbrido Titan CL (20,26 min) e o menor tempo no genótipo Puitá INTA CL (14,75 min).

O processo de gelatinização do amido reestrutura os grânulos de amido e deixa a cariopse mais compacta dificultando, assim, a hidratação dos grãos no cozimento. Dessa forma, o tempo para cocção do arroz parboilizado polido é maior do que o tempo para cocção do arroz beneficiado polido (MONKS et al., 2008). De acordo com Fagundes (2010), na parboilização ocorre diminuição dos espaços internos dos grãos e isso dificulta a entrada da água, fazendo com que haja necessidade de maior quantidade absorvida para atingir o tempo ótimo de cocção e devido a essa dificuldade de hidratação o tempo de cocção aumenta.

Os genótipos híbridos obtiveram os maiores tempos de cozimento tanto no processo convencional como na parboilização, sendo que o genótipo híbrido Titan CL apresentou o maior tempo de cozimento em ambos os processos de industrialização.

4.2.3 Propriedades viscoamilográficas (RVA)

Os resultados obtidos para as propriedades viscoamilográficas dos grãos de arroz polidos por 60 s estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades viscoamilográficas em arroz beneficiado polido.

Genótipos	Pico de Viscosidade (RVU)	Viscosidade Final (RVU)	Retrogradação (RVU)	Temperatura de pasta (°C)
Puitá INTA CL	441,2±1,8 ^a	634,7±2,2 ^a	278,4±0,6 ^a	81,9±0,5 ^a
Guri INTA CL	434,8±0,2 ^b	602,5±0,5 ^b	262,7±6,1 ^b	72,3±1,0 ^c
Irga 424 RI	406,2±1,5 ^d	585,3±1,1 ^c	256,2±4,3 ^b	71,4±0,3 ^c
Titan CL	413,3±1,1 ^c	439,4±4,9 ^f	208,7±6,2 ^c	77,7±0,5 ^b
Lexus CL	382,4±0,0 ^e	548,4±0,2 ^d	256,0±4,2 ^b	71,8±0,0 ^c
Inov CL	363,3±0,7 ^f	531,8±1,9 ^e	257,2±5,5 ^b	71,8±0,1 ^c

Resultados apresentados como média ± desvio-padrão (n=3). Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O pico de viscosidade variou de 363,3 (Inov CL) a 441,2 (Puitá INTA CL). Dentre as cultivares híbridas o genótipo Titan CL apresentou maior pico de viscosidade. Este genótipo apresenta teor intermediário de amilose e por lógica, maior pico de viscosidade comparado aos outros genótipos, via de regra, quanto maior o teor de amilopectina e quanto mais perfeito o arranjo de suas duplas hélices, maior será o pico de viscosidade.

A viscosidade final que indica a capacidade do amido para formar uma pasta viscosa variou entre 439,4 (Titan CL) a 634,7 RVU (Puitá INTA CL). A viscosidade final é amplamente influenciada pelo teor de amilose e pela sua capacidade em retrogradar. Grãos do genótipo Titan CL apresentaram a menor viscosidade final, uma vez que apresentam teor de amilose bem inferior aos demais genótipos.

Houve variação significativa na retrogradação do amido das cultivares estudadas. A maior retrogradação foi observada no genótipo Puitá INTA CL e a menor foi observada no genótipo Titan CL. Os maiores valores de retrogradação

refletem o maior poder de inchamento dos grânulos de amido e a rápida agregação das cadeias de amilose lixiviadas (HUGHES et al., 2009).

A temperatura de pasta é aquela em que inicia o aumento da viscosidade do amido (SANDHU; SINGH, 2007). Para os genótipos Puitá INTA CL e Titan CL as temperaturas de pasta foram de 81,9°C e 77,7°C e para os demais genótipos a média foi de 71°C.

Os resultados obtidos para as propriedades viscoamilográficas dos grãos de arroz parboilizados estão apresentados na Tabela 5 e indicam uma redução do pico de viscosidade, da viscosidade final e da retrogradação, quando comparados aos resultados de arroz branco (Tabela 4), era esperado, comprovando que o processo de parboilização ocorreu com gelatinização parcial do amido. O alto valor de retrogradação (104,8 RVU) indica baixa solubilização da amilose e esse resultado é confirmado pelo padrão de difração de raios-X, onde se observa que a estrutura do amido foi pouco alterada nos grãos do genótipo Titan CL (Figura 16).

Tabela 5 - Propriedades viscoamilográficas de arroz parboilizado polido.

Genótipos	Pico de Viscosidade (RVU)	Viscosidade Final (RVU)	Retrogradação (RVU)	Temperatura de pasta (°C)
Puitá INTA CL	84,8±1,4 ^e	102,4±2,3 ^e	15,5±2,1 ^c	95,6±0,2 ^a
Guri INTA CL	144,8±0,3 ^b	182,3±0,8 ^b	35,7±1,9 ^b	92,6±0,4 ^c
Irga 424 RI	95,4±1,2 ^d	111,2±0,0 ^d	13,7±0,9 ^c	94,0±0,6 ^b
Titan CL	212,8±1,8 ^a	314,8±0,7 ^a	104,8±0,5 ^a	87,5±0,6 ^d
Lexus CL	110,8±0,7 ^c	127,3±0,2 ^c	14,6±1,1 ^c	94,0±0,5 ^b
Inov CL	85,3±0,2 ^e	98,4±0,2 ^f	12,4±0,4 ^c	94,4±0,6 ^{ab}

Resultados apresentados como média ± desvio-padrão (n=3). Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

4.2.4 Difração de raios-X

Os resultados de difração de raios-X estão apresentados na Figura 16. Todas as amostras apresentaram padrão de difração de raios-X tipo A que é comum de cereais, com picos principais no ângulo de difração 2θ de 15°, 17°, 18° e 23°.

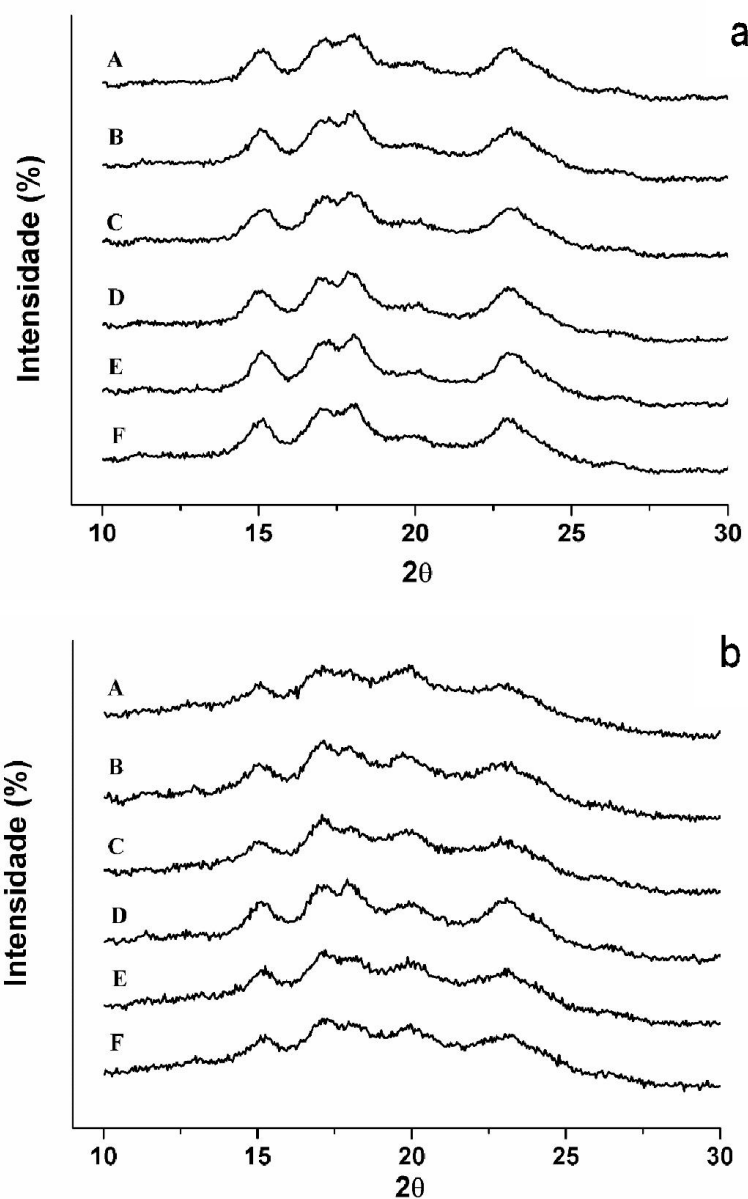


Figura 16 - Padrões de difração de raios-X de grãos de diferentes genótipos de arroz não parboilizados (a) e parboilizados (b). Genótipos utilizados: Puitá INTA CL (A), Guri INTA CL (B), Irga 424 RI (C), Titan CL (D), Lexus CL (E) e Inov CL (F).

A cristalinidade dos grânulos de amido está associada a presença de amilopectina, enquanto que as regiões amorfas se referem principalmente a presença de amilose (ZOBEL, 1988). Se as ligações de dupla hélice da amilopectina estiverem alinhadas haverá maior presença de áreas cristalinas. Isto indica que grãos do genótipo Titan CL foram menos impactados pelas condições de parboilização, mantendo maior intensidade dos picos (Figura 16) e maior área cristalina (Tabela 6) do que os demais genótipos.

Tabela 6 – Resultados de cristalinidade relativa (%).

Genótipo	Não Parboilizado	Parboilizado
Puitá INTA CL	48,5%	28,7%
Guri INTA CL	51,9%	33,9%
Irga 424 RI	47,1%	33,1%
Titan CL	48,1%	36,7%
Lexus CL	48,4%	34,1%
Inov CL	49,2%	36,1%

Estudos apresentados por Hoover e Ratnayake (2001) mostraram que a cristalinidade relativa pode diferir entre os amidos devido ao tamanho do cristal, à quantidade de regiões cristalinas (tamanho da cadeia de amilopectina e seu teor) e à orientação das duplas hélices e sua interação.

5 Considerações finais

O presente trabalho caracterizou propriedades físico-químicas e tecnológicas dos principais genótipos de arroz produzidos no Brasil. Diferente da maioria dos estudos, os grãos foram cultivados no mesmo ambiente e sob o mesmo manejo agrônomo, no município de Pelotas, considerada uma das principais regiões orizícolas do país.

O conhecimento da qualidade industrial dos diferentes genótipos auxilia na tomada de decisões, tanto de produtores como de industrialistas, no planejamento de produção e na prospecção de mercados. As exportações para países como Peru, Costa Rica e Venezuela têm movimentado as indústrias arroseiras de Pelotas. Estes países, em boa parte das negociações, exigem qualidade industrial superior. Nesse sentido, os resultados apresentados dão suporte a segregação de genótipos para cada mercado importador, de acordo com suas exigências.

O genótipo convencional Puitá INTA CL apresentou o melhor desempenho de qualidade industrial (maior rendimento de inteiros, menor percentual de defeitos e menor tempo de cocção no arroz integral) quando comparado com os genótipos convencionais Guri INTA CL, Irga 424 RI e os genótipos híbridos Inov CL, Titan CL e Lexus CL.

O teor de arsênio nos grãos integrais variou entre os genótipos cultivados sob o mesmo manejo. No entanto, os valores foram inferiores aos limites máximos estabelecidos para arsênio inorgânico, pela ANVISA.

As condições de hidratação e autoclavagem utilizadas gelatinizaram parcialmente o amido dos genótipos estudados, sendo que no genótipo híbrido Titan CL foi registrada menor intensidade de parboilização, apresentando maior tempo de cocção e maior área cristalina do que os demais genótipos avaliados. Para este genótipo, recomenda-se que sejam testadas outras condições de hidratação e autoclavagem, mais severas.

Referências

ALI, S. Z; BHATTACHARYA, K. R. Changes in sugars and amino acids during parboiling of rice. **Journal of Food Biochemistry** 4, p. 169-179, 1980.

AMATO, G. W.; CARVALHO, J. L. V.; SILVEIRA FILHO, S. **Arroz parboilizado: tecnologia limpa, produto nobre**. Porto Alegre: Ricardo Lenz, 2002. 240p.

AMATO, G. W.; ELIAS, M. C. **Parboilização do arroz**. Porto Alegre: Editora Ricardo Lenz Ziede, 2005. 160 p.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Diário Oficial da União, nº168**. Seção 1, p. 33. 2013. Disponível em: < <http://www.portal.anvisa.gov.br> >. Acesso em: 18 out. 2017.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 16 ed., Washington, DC US, 1997.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. ed., Washington, DC US, 2012.

BARBOSA et al. Efeitos das secagens estacionária e intermitente e do tempo de armazenamento no desempenho industrial e na qualidade de grãos de arroz. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 30, n.1, p. 83-90, 2005.

BASU, B.; KUNDU, M.; HEDYATULLAH, M.; KUNDU, C. K.; BANDYOPADHYAY, P.; BHATTACHARYA, K.; SARKAR, S. Mitigation of arsenic in rice through deficit irrigation in field and use of filtered water in kitchen. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 12, p. 2065-2070, 2015.

BATTACHARYAH K. R; RAO, P. V. S. Effect of Parboiling on Thiamine Content of Rice. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, vol. 14, n. 5. p. 479 – 482, 1966.

BATISTA, B. L.; NACANO, L. R.; FREITAS, R. D.; OLIVEIRA-SOUZA, V. C.; BARBOSA, F. Determination of essential (Ca, Fe, I, K, Mo) and toxic elements (Hg, Pb) in Brazilian rice grains and estimation of reference daily intake. **Food and Nutrition Sciences**, v. 3, n. 1, p. 129–134, 2012.

BLANCHE, S. B.; UTOMO, H.; WENEFRIDA, I.; MYERS, G. O. Genotype x environment interactions of hybrid and varietal rice cultivars for grain yield and milling quality. **Crop Science**, v. 49, n. 6, p. 2011-2018, 2009.

BOTELHO, F. M.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINS, M. A.; BAPTESTINI, F. M. Análise da hidratação do arroz na parboilização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 713-718, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Norma de classificação, embalagem e marcação do arroz**. Instrução Normativa Nº 6, Diário Oficial da União, Seção 1, Página 3. 2009.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: DNDV/CLAV, 2009. 365p.

CAGAMPANG, G. B.; PEREZ, C. M.; JULIANO, B. O. A gel consistency test for eating quality in Rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 24, p. 1589-1594, 1973.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; MARCHEZAN, E. Efeito de práticas de manejo sobre o rendimento de grãos e a qualidade industrial dos grãos em arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 375-379, 1997.

CASTRO, E. M.; FERREIRA, C. M.; MORAIS, O. P. Qualidade de grãos e competitividade do arroz de terras altas. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ/REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ – RENAPA, 1./ 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Documentos 153. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 220-233.

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

CHAMPAGNE et al. Effects of postharvest processing on rice texture profile analysis. **Cereal Chemistry**, v. 75, p.181-186, 1999.

CHEN et al. Arsenic speciation in rice and risk assessment of inorganic arsenic in Taiwan population. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 4481–4488, 2015.

CHUN, A.; SONG, J.; KIM, K.-J.; LEE, H.-J. Quality of head and chalky rice and deterioration of eating quality by chalky rice. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 12, p. 239–244, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento de safra brasileira: Grãos, nono levantamento, junho/2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 01 jun 2017.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, R. A. F. Produtividade e qualidade industrial de grãos de arroz de terras altas em função de lâminas de água no sistema irrigado por aspersão. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 125-130, 2003.

CUEVAS, R. P.; DAYGON, V. D.; CORPUZ, H. M.; NORA, L.; REINKE, R. F.; WATERS, D. L. E.; FITZGERALD, M. A. Melting the secrets of gelatinization temperature in rice. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 37, n.5, p. 439-447, 2010.

DONG, M. H.; ZHAO, B. H.; WU, X. Z.; TAO, C.; YANG, J. C. Difference in hormonal content and activities of key enzymes in the grains at different positions on a rice panicle during grain filling and their correlations with rice qualities. **Scientia Agricultura Sinica**, v. 41, n. 2, p. 370-380, 2008.

EDWARDS, J. D.; JACKSON, A. K.; MCCLUNG, A. M. Genetic architecture of grain chalk in rice and interactions with a low phytic acid locus. **Field Crops Research**, v. 205, p. 116-123, 2017.

EFFERSON, N. J. **Rice quality in world markets - Rice grain quality and marketing**. In: International Rice Research Conference. Los Banos. p. 1–13, 1985.

ELIAS, M. C. **Efeitos da espera para secagem e do tempo de armazenamento na qualidade das sementes e grãos do arroz irrigado**. 1998. 164 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1998.

ELIAS, M. C.; FRANCO, D. F. **Pós-Colheita e Industrialização de Arroz**. In: Magalhães Júnior, A. M.; Gomes, A. S.; Santos, A. B. Sistemas de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil. 1 ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, v.1, p.229-240, 2006.

ELIAS, M. C. **Pós-colheita de arroz: secagem, armazenamento e qualidade**. Editora e Gráfica Universitária UFPEL, Pelotas, RS, Brasil, 2007.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. **Qualidade de arroz da pós-colheita ao consumo**. 1. ed. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, 2012. 626 p.

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

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Arroz é vida. Embrapa Arroz e feijão. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/arroz-e-feijao> >. Acesso em 06 nov. 2016.

FAGUNDES, C.A.A.; LOPES, S.I.G.; LOPES, M.C.B.; ROSSO, A.F.; CRUZ, R.P.; CARMONA, P.S.; GULARTE, M.A.; ELIAS, M.C. **Características tecnológicas, propriedades de consumo e parâmetros de parboilização dos grãos de arroz dos cultivares IRGA 423 e IRGA 424**. In: V Congresso Brasileiro do Arroz Irrigado e XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, Pelotas - RS. Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado - SOSBAI, v. 2, 510-513p, 2007.

FAGUNDES, G. A. **Efeitos do tempo de encharcamento sobre parâmetros de avaliação tecnológica e nutricional de arroz parboilizado**. 2010. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel".

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

FOFANA, M.; CHERIF, M.; KONÉ, B.; FUTAKUCHI, K.; AUDEBERT, A. Effect of water deficit at grain repining stage on rice grain quality. **Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development**, Lagos, v. 2, n. 6, p. 100-107, 2010.

FONSECA, F. A.; SOARES, M. S. J.; CALIARI, M.; BASSINELLO, P. Z.; EIFERT, E. C. DA; GARCIA, D. M. Changes occurring during the parboiling of upland rice and in the maceration water at different temperatures and soaking times. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 9, p. 192-1920, 2011

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Codex Alimentarius. **Maximum level of inorganic arsenic in husked rice**, 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>>. Acesso em 20 nov. 2017.

GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. 1.ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. 900 p.

GULARTE, M. A. **Manual de Análise Sensorial de Alimentos**. Pelotas: Edigraf UFPEL, 2002. 59 p.

GUTOSKI, L. C.; ELIAS, M. C. Estudo da água de maceração de arroz a 60 °C em diferentes condições e manejo. **Instituto Rio-Grandense de Arroz – IRGA: Lavoura Arrozeira**, v. 47, n. 414, p. 6-10, 1994.

HEINEMANN, R. J. B; FAGUNDES, P. L; PINTO, E. A; PENTEADO, M. V. C; MARQUES, U. M. L. Comparative study of nutrient composition of comercial Brown, parboiled and milled rice from Brasil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.18, p.287-296, 2005.

HUGHES, T.; HOOVER, R.; LIU, Q.; DONNER, E.; CHIBBAR, R.; JAISWAL, S. Composition, morphology, molecular structure, and physicochemical properties of starches from newly released chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Canada. **Food Research International**, v. 42, n. 5-6, p. 627-635, 2009.

HOOVER, R.; RATNAYAKE, W. **Determination of total amylose content of starch**. In: R. E. Wrolstad, Current protocols of food analytical chemistry. Unit E2.3. John Wiley and Sons, USA, 2001.

IRGA, Instituto Riograndense do Arroz. In: Custo de produção ponderado do arroz irrigado do Rio Grande do Sul safra 2016/17. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br>>. Acesso em: dezembro 2017.

JENNINGS, P. R.; COFFMAN, W. R. y KAUFFMAN, H. E. Mejoramiento del Arroz. Cali, Colombia. **Centro Internacional de Agricultura Tropical**, CIAT, 1981, 233 p.

JENNINGS, P. R.; COFFMAN, W. R.; KAUFFMAN, H. E. **Rice improvement**. Los Baños: IRRI - International Rice Research Institute. 1979.

JONGKAEWWATTANA, S.; GENG, S. Inter-relationships amongst grain characteristics, grain-filling parameters and rice (*Oryza sativa* L.) milling quality. **Journal of Agronomy & Crop Science**, v. 187, n. 4, p. 223-229, 2001.

JULIANO, B.O., BECHTEL, D.B. The rice grain and its gross composition. In: **Rice Chemistry and Technology**, 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN, p. 17–57. 1985.

JULIANO, B.O. Rice properties and processing. **Food Reviews International**, v. 1, p.432–445, 1985.

JULIANO, B. O. **Rice chemistry and quality**. Philippines: Philippine Rice Research Institute, 2003. 480 p.

KAUR, A.; SINGH, N.; EZEKIEL, R.; GURAYA, H. S. Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. **Food Chemistry**, v. 101, p. 643-651, 2007.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chemistry**, v. 80, n. 4, p. 589-596, 2003.

KHUSH, G. S. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. **Plant Molecular Biology**, v. 35, p. 25–34, 1997.

LAMBERTS, L.; BIE, E. D.; VANDEPUTTE, G. E.; VERAVERBEKE, W. S.; DERYCKE, V.; MAN, W. D.; DELCOUR, J. A. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice. **Food Chemistry**, London, v. 100, n.4, p. 1496-1503, 2007.

LISLE, A. J.; MARTIN, M.; FITZGERALD, M. A. Chalky and translucent rice grains differ in starch composition and structure and cooking properties. **Cereal Chemistry**, v. 77, n. 5, p. 627-632, 2000.

LIU, Q. H.; ZHOU, X. B.; YANG, L. Q.; LI, T. Effects of chalkiness on cooking, eating and nutritional qualities of rice in two indica varieties. **Rice Science**, v. 16, n. 2, p. 161-164, 2009.

LONDERO et al. Qualidade industrial de grãos de arroz decorrente da supressão da irrigação e umidade de colheita. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 587-601, 2015.

MA, L.; WANG, L.; JIA, Y.; YANG, Z. Arsenic speciation in locally grown rice grains from Hunan Province, China: spatial distribution and potential health risk. **The Science of the total Environment**, v. 557, p. 438–444, 2016.

MANDAL, B. K.; SUZUKI, K.T. Arsenic round the world: a review. **Talanta**, v. 58, p. 201–235, 2002.

MCGRANE, S. J.; CORNELL, H. J.; RIX, C. J. A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products. **Starch/Stärke**, v. 50, p. 158-163, 1998.

MEHARG et al. Geographical variation in total and inorganic arsenic content of polished (white) rice. **Environmental Science Technology**, v. 43, p. 1612–1617, 2009.

MEHARG, A. A.; RAHMAN, M. Arsenic contamination of Bangladesh paddy field soils: implications for rice contribution to arsenic consumption. **Environmental Science & Technology**, v. 37, p. 229–234, 2003.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 253-259, 2006.

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

MONKS, J. L. F.; MONKS, L.F.; GOMES, C. MARTINELLI, L. A.; MOURA, M. O de., HELBIG, E.; ELIAS, M. C. **Efeitos do método de beneficiamento industrial sobre os parâmetros sensoriais do arroz**. In: III Simpósio Sul-Brasileiro de Qualidade de Arroz, ABRAPOS, Camaquã, 2008, p.452-457.

MONKS et al. Effects of milling on proximate composition, folic acid, fatty acids and technological properties of rice. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 30, p. 73-79, 2013.

MORITA, S.; WADA, H.; MATSUE, Y. Countermeasures for heat damage in rice grain quality under climate change. **Plant Production Science**, v. 19, p. 1-11, 2016.

NAVES, M. M. V. Características químicas e nutricionais do arroz. **Boletim do CEPPA**, v. 25, n. 1, p. 51-60, 2007.

NORTON, G. J. et al. Identification of low inorganic and total grain arsenic rice cultivars from Bangladesh. **Environmental Science Technology**, v. 43, p. 6070–6075, 2009.

PAIVA, Flávia Fernandes. **Efeitos da pressão e do tempo de autoclavagem na parboilização sobre a qualidade dos grãos e a fração lipídica do arroz**. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

PARRADO, J.; MIRAMONTES, E.; JOVER, M.; GUTIERREZ, J. F.; TERÁN, L. C. DE; BAUTISTA, J. Preparation of a rice bran enzymatic extract with potential use as functional food. **Food Chemistry**, v.98, p.742–748, 2006.

PARK, J. K.; KIM, S. S.; KIM, K. O. Effect of milling ratio on sensory properties of cooked rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 78, n. 2, p. 151-156, 2001.

RABEK, J. F. Applications of wide-angle x-ray diffraction (waxd) to the study of the structure of polymers, in: experimental methods in polymer chemistry (1^o ed., pp. 505-508), chichester: wiley-interscience, 1980.

SANDHU, K. S.; SINGH, N. Some properties of corn starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. **Food Chemistry**, v. 101, p. 1499–1507, 2007.

SEGURA et al. **Avaliação da concentração de selênio, zinco, cobre, arsênio, cádmio e chumbo em variedade de arrozes comumente cultivados no Brasil**. In: IX Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. Pelotas – RS. Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado – SOSBAI, 4.p. 2015.

SELLAPAN, K.; DATTA, K.; PARKHI, S. K.; DATTA, S. K. Rice caryopsis structure in relation to distribution of micronutrients (iron, zinc, β -carotene) of rice cultivars including transgenic indica rice. **Plant Science**, v. 177, p. 557–562, 2009.

SHANER, D.L., ANDERSON, P.C., STIDHAM, M.A. Imidazolinones: potent inhibitors of acetohydroxyacid synthase. **Plant Physiology** 76, 545 - 546, 1984.

SHANER, D.L. Physiological effects of the imidazolinone herbicides. In: Shaner, D.L., O'Connor, S.L. (Eds.), **The Imidazolinone Herbicides**. CRC Press, Mississippi, USA, pp. 129 e138, 1991.

SHARIF, M. K.; BUTT, M. S.; ANJUM, F. M.; KHAN, S, H. Rice Bran: A Novel Functional Ingredient. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 54, n. 6, p. 807-816, 2014.

SHEN, B. Observation on the starch grain development in endosperm of early indica rice during chalkiness formation with scanning electronic microscope. **Chinese Journal of Rice Science**, v. 14, n. 4, p. 225-228, 2000.

SIEBENMORGEN, T. J., and GRIGG, B. Milling characteristics of current long-grain pure-line and hybrid rice cultivars. **B. R. Wells Rice Reserch Studies**. AAES Research Series p. 361-368. 2012.

SINGH, S.; KALIA, M.; MALHOTRA, S. R. Effect of parboiling, hand-pounding and Machine-milling on Chemical Composition of Rice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 36, p. 434-435, 2000.

SINGH, R. et al. Arsenic contamination, consequences and remediation techniques: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety Journal**, v. 112, p. 247–270, 2015.

SOSBAI, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Bento Gonçalves, 2016. 200 p.

SRISWASDILEK, J.; KONGSEREE, N.; ATTAVIRIYASOOK, K. Rice grain characteristics affecting retail price in Thailand. Consumer Demand for Rice Grain Quality. **International Rice Research Institute**, p. 97–108, 1992.

SUJATHA, S.J.; AHMAD, R.; BHAT, P.R. Physicochemical properties and cooking qualities of two varieties of raw and parboiled rice cultivated in the costal region of Dakshima Kannada, India. **Food Chemistry**, v.86, n. (2). p. 211-216, 2003.

SYU, C-H.; HUANG, C-C.; JIANG, P. Y.; LEE, C-H.; LEE, D.Y. Arsenic accumulation and speciation in rice grains influenced by arsenic phytotoxicity and rice genotypes grown in arsenic-elevated paddy soils. **Journal of Hazardous Materials**, v. 286, p. 179-186, 2015.

VANIER, N. L. **Efeitos das condições de processamento e do teor de amilose sobre propriedades tecnológicas, sensoriais e nutricionais de extrusados**

expandidos à base de arroz e feijão. 87 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2012.

VANIER, N. L. Qualidade de arroz e mercados emergentes. **Labgrãos Magazine**, v. 1, n. 1, p. 2-4, 2017. Disponível em: <www.labgraos.com.br/magazine>. Acesso em: 12 nov. 2017.

VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R. Qualidade tecnológica. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2006. cap. 23, p. 969-1005.

WALTER, M., SILVA, L.P. & EMANUELLI, T. Resistant starch: physico-chemical characteristics, physiological properties and quantification methodologies. **Ciencia Rural**, 35, 974–980. 2005.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 38, n. 4, p. 1184 – 1192, 2008.

WANG, F.; CHENG, F. M. Research advances in the relationships between ABA and rice grain filling. **Seed**, v. 23, n. 1, p. 31-35, 2004.

WILLIAMS, P. N.; PRICE, A. H.; RAAB, A.; HOSSAIN, S. A.; FELDMANN, J.; MEHARG, A. A. Variation in arsenic speciation and concentration in paddy rice related to dietary exposure. **Environmental Science and Technology**, v. 39, p. 5531–5540, 2005.

WILLIAMS, P. N.; RAAB, A.; FELDMANN, J.; MEHARG, A. A. Market basket survey shows elevated levels of as in South Central US processed rice compared to California: consequences for human dietary exposure. **Environmental Science & Technology**, v. 41, p. 2178–2183, 2007.

WILLIAMS, P. N.; ISLAM, M. R.; ADOMAKO, E. E.; RAAB, A.; HOSSAIN, S. A.; ZHU, Y. G. Increase in rice grain arsenic for regions of Bangladesh irrigating paddies with elevated arsenic in ground waters. **Environmental Science & Technology**, v. 40, p. 4903-4908, 2006.

WU et al. Effects of aleurone layer on rice cooking: A histological investigation, **Food Chemistry**, 191, p. 28-35, 2016.

XU, X. Y.; MCGRATH, S. P.; MEHARG, A. A.; ZHAO, F. J. Growing rice aerobically markedly decreases arsenic accumulation. **Environmental Science & Technology**, v. 42, p. 5574–5579, 2008.

YANG, L.; ZHANG, J. Grain filling problem in “super” rice. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 1, p. 1-5, 2010.

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. **Trends in Food Science & Technology**, 59, 124-138. 2017.

ZHENG, M. Z. et al. Spatial distribution of arsenic and temporal variation of its concentration in rice. **New Phytologist**, v. 189, p. 200-209, 2011.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Review: composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 37, p. 849-868, 2002.

ZHU, D.; ZHANG, H.; GUO, B.; XU, K.; DAI, Q.; WEI, C.; ZHOU, G.; HUO, Z. Effects of nitrogen level on structure and physicochemical properties of rice starch. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 525–532, 2017.

ZHU, L-J.; DOGAN, H.; GAJUL, H.; GU, M-H.; LIU, Q.-Q.; SHI, Y-C. Study of kernel structure of high-amylose and wild-type rice by X-ray microtomography and SEM. **Journal of Cereal Science**, v. 55, n. 1, p. 1-5, 2012.

ZHU, Y. G.; WILLIAMS, P. N.; MEHARG, A. A. Exposure to inorganic arsenic from rice: A global health issue. **Environmental Pollution**, v. 154, p. 169–171, 2008.

ZOBEL, H.F. Starch crystal transformations and their industrial importance. **Starch/Stärke**, v. 40, p. 44-50, 1988.