

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



Tese

**Redução do pH da água de encharcamento na parboilização e
microestrutura do arroz japonica e indica: Efeitos nas características
tecnológica, parâmetros nutricionais e de digestibilidade**

Jorge Tiago Schwanz Goebel

Pelotas, 2019

Jorge Tiago Schwanz Goebel

Redução do pH da água de encharcamento na parboilização e microestrutura do arroz japônica e indica: Efeitos nas características tecnológica, parâmetros nutricionais e de digestibilidade

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

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Prof. Dr. Nathan Levien Vanier

Prof. Dr. Jaspreet Singh

Prof. Dra. Lovedeep Kaur

Pelotas, 2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação:
Bibliotecária Daiane Schramm CRB - 10/1881**

G593r Goebel, Jorge Tiago Schwanz

Redução do pH da água de encharcamento na parboilização de arroz e seus efeitos nas características tecnológicas, parâmetros nutricionais e de digestibilidade *in vitro*. / Jorge Tiago Schwanz Goebel; Orientador: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias. – Pelotas, 2019.
105f.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas.

1. Arroz parboilizado. 2. Redução de pH. 3. Digestibilidade *in vitro*. I. Elias, Moacir Cardoso; orient.
II. Título.

CDD 635

Banca examinadora:

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias (UFPel-FAEM)

Prof. Dr. Valmor Ziegler

Prof. Dr. Ricardo

Prof. Dr. Rosana Colussi

Prof. Dr. Mauricio Oliveira

Agradecimentos

A Deus, por me guiar e proteger pelos caminhos percorridos durante a vida e me ajudar na tomada de decisões, pelas oportunidades colocadas em meu caminho ao longo desse período e pela força para encará-las.

Aos meus pais, Jorge e Selda, pessoas admiráveis, compreensivas, carinhosas e dedicadas, por todo o amor, carinho e apoio que me dão ao longo de toda a minha vida, incentivando e reprimendo, sempre nos momentos certos. São os pilares da minha vida.

Aos meus irmãos Jones e João, somos amigos eternos.

Ao professor e orientador Dr. Moacir Cardoso Elias, pelo apoio e orientação, desde os primeiros dias que estive nessa Faculdade, oportunizando crescimento pessoal e profissional ao longo desse tempo no Laboratório de Grãos. Serás sempre lembrado pelos ensinamentos pessoais e profissionais proporcionados.

Ao Professor Dr. Jaspreet Singh e pela Dra. Lovedeep Kaur por me receber na Nova Zelândia e pelo apoio e orientação, desde do primeiro dia que cheguei na Massey University, Riddet Institute pelos ensinamentos proporcionados durante o período que executei minha pesquisa na Nova Zelândia.

Aos colegas de pós-graduação e amigos, Doutor Valmor Ziegler e o doutor Cristiano Dietrich Ferreira, pela oportunidade de trabalharmos juntos e por me ajudarem sempre que precisei, esclarecendo eventuais dúvidas, construindo o conhecimento de forma conjunta, meu eterno agradecimento.

A colega de pós-graduação e amiga, doutora Rosana Colussi, pela oportunidade de trabalharmos juntos e por me ajudar no meu intercambio para na Nova Zelândia.

Aos professores do DCTA Nathan Vanier, Mauricio Oliveira, Alvaro Renato Guerra Dias, Ângela Maria Fiorentini, Cesar Valmor Rombaldi, Elessandra da Rosa Zavareze, Fábio Clasen Chaves e Leonardo Nora, pelas contribuições ao longo de período de mestrado no programa.

Aos integrantes do LABGRÃOS, colegas doutorandos, mestrandos e estagiários, pela excelente acolhida e convivência desde quando cheguei nesse meio.

À Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Polo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul, muito obrigado.

Resumo

GOEBEL, Jorge Tiago Goebel. **Redução do pH da água de encharcamento na parboilização de arroz e seus efeitos nas características tecnológicas, parâmetros nutricionais e de digestibilidade *in vitro***. 2019. 105f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas.

O arroz é considerado alimento básico para mais da metade da população mundial, é uma das principais fontes de energia para os seres humanos devido ao seu elevado teor de carboidratos, proteínas, minerais e vitaminas do complexo B. Objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar os efeitos da utilização de ácido cítrico e de bissulfito de sódio no processo de parboilização para melhorar parâmetros de avaliação tecnológica e nutricional, dos grãos de arroz parboilizado e parâmetros tecnológicos e a digestibilidade dos grãos arroz indico e japonico. Foram utilizados grãos de arroz (*Oryza sativa* L.), classe longo-fino (agulhinha) com alto teor de amilose (26%) e da classe curto com teor de 16% de amilose, onde foi realizado a curva de hidratação do arroz com a adição de ácido cítrico e bissulfito de sódio. A solução de hidratação foram ajustadas os valores de pH, sendo 6, 5, 4, 3, 2 e 1 com o ácido cítrico e com a utilização do bissulfito de sódio, na proporção 1:2 (p:v (peso de arroz: volume da solução)). Observou-se a redução do tempo de hidratação do arroz de 300 min. do controle para 210 min. no Tratamento AP6 e AP12 (pH 1) e teve melhoras na cor dos grãos parboilizados e polidos como pode ser observado no valores L* e b* de 59,27 e 23,10 quando comparado o tratamento AP1, redução do tempo de cocção do arroz com uma redução de mais de 6 min. no tratamento mais drástico (com pH 1), se obteve grãos mais macios no tratamento AP12. Observou-se que o tratamento com bissulfito de sódio obteve os grãos mais brancos e que os tratamentos AP11 e AP12 reduziram o tempo de cocção e se tem grãos mais macios, porém diminui o rendimento de inteiros pelo enfraquecimento das proteínas que são desnaturadas pela redução do pH. O arroz indico com teor de 26% amilose teve menor taxa de digestibilidade quando comparado com o arroz japonico com 16% de amilose.

Palavras-chave: Arroz parboilizado, redução de pH, digestibilidade *in vitro*

Abstract

GOEBEL, Jorge Tiago Goebel. **Redução do pH da água de encharcamento na parboilização de arroz e seus efeitos nas características tecnológicas, parâmetros nutricionais e de digestibilidade *in vitro***. 2019. 105f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas.

Rice is considered a staple food for more than half of the world's population. It is one of the main sources of energy for humans because of its high content of carbohydrates, proteins, minerals and B-complex vitamins. to evaluate the effects of the use of citric acid and sodium bisulfite in the process of parboiling to improve parameters of technological and nutritional evaluation, parboiled rice grains and technological parameters, and the digestibility of Indian and Japanese rice grains. It was used rice grains (*Oryza sativa* L.), long-fine class (needle) with high amylose content (26%) and the short class with 16% amylose content, where the hydration curve of rice with the addition of citric acid and sodium bisulfite. The hydration solution was adjusted to pH values: 6, 5, 4, 3, 2 and 1 with citric acid and with the use of sodium bisulfite in a ratio of 1: 2 (w: v of rice: volume of the solution)). The reduction of the rice hydration time of 300 min was observed. of the control for 210 min. in the treatment AP6 and AP12 (pH 1) and had improvements in the color of parboiled and polished grains as can be observed in the L * and b * values of 59.27 and 23.10 when compared to AP1 treatment, reduction of cooking time of rice with a reduction of more than 6 min. in the more drastic treatment (with pH 1), softer grains were obtained in AP12 treatment. It was observed that treatment with sodium bisulfite obtained the whiter grains and that AP11 and AP12 treatments reduced the cooking time and had softer grains, but decreased the yield of integers by weakening the proteins that are denatured by reducing the pH. The rice indicated with 26% amylose had lower digestibility when compared to the Japanese rice with 16% amylose.

Keywords: Parboiled rice, pH reduction, *in vitro* digestibility

Lista de figuras

Figura 1	Distribuição da produtividade de arroz no Brasil.	15
Figura 2	Estrutura anatômica do grão de arroz	18
Figura 3	Processo digestivo de seres humanos.	28
Figura 4	Isoterma de hidratação com em diferentes pH na água de encharcamento.	39
Figura 5	Isoterma de hidratação do arroz com bissulfito de sódio em diferentes pH na água de encharcamento.	40
Figura 6	Propriedades térmicas das farinhas de arroz japonico e indico determinadas por calorimetria diferencial de varredura.	74
Figura 7	Hidrólise do amido (%) dos grãos de arroz indico e japonico durante a digestão <i>in vitro</i>	78
Figura 8	Alterações nas características estruturais dos grãos de arroz indico e japonico durante a digestão <i>in vitro</i> de amido. Arroz indico antes (A-B) e após 60 min de gástrico (C-D); 60 min de digestão gástrica mais 15 (E-F), 60 (G-H), 120 (I-J) e 240 (K-L) min de digestão no intestino delgado. Arroz japonico antes (M-N) e após 60 min de gástrico (O-P); 60 min de digestão gástrica mais 15 (Q-R), 60 (S-T), 120 (U-V) e 240 (W-X) min de digestão no intestino delgado.	81
Figura 9	Distribuição granulométrica dos grãos de arroz indico (a) e japonico (b) durante a digestão <i>in vitro</i> de amido. Após 60 min de digestão gástrica (G60); 60 min de digestão gástrica 10 (I10), 60 (I60), 120 (I120) e 240 (I240) min de digestão no intestino delgado.	82

Lista de tabelas

Tabela 1	Valores percentuais máximos de tolerância (%) para classificação de arroz comercializado em casca natural pela atual legislação.	16
Tabela 2	Composição do grão de arroz integral, branco polido e parboilizado polido expresso em base seca.	19
Tabela 3	Descrição das soluções utilizadas no estudo.	32
Tabela 4	Programação do RVA utilizada nas análises viscoamilográficas	36
Tabela 5	Rendimento de inteiro (%) e quebrado (%) dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento	42
Tabela 6	Composição química básica dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento.	43
Tabela 7	Solubilidade proteica dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento	45
Tabela 8	Perfil colorimétrico dos grãos de arroz parboilizados com diferentes pH e com o uso de bissulfito de sódio na água de encharcamento	46
Tabela 9	pH dos grãos moídos parboilizado com diferentes pH e do uso do bissulfito de sódio na água de encharcamento	47
Tabela 10	Tempo de cocção (min.) dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento.	48
Tabela 11	Perfil textuométrico dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento	50
Tabela 12	Propriedades viscoamilográficas (RVA) dos grãos parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento	53
Tabela 13	Os açúcares (frutose, glicose, sacarose e rafinose) dos grãos parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento.	55
Tabela 14	HMF (hidroximetilfurfural) dos grãos parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento	56
Tabela 15	Compostos fenólicos (μg de ácido gálico. 100g^{-1}), da fração solúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH	57

Tabela 16	Atividade antioxidante pelo radical ABTS* (μg de trolox. 100g^{-1}), da fração solúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH	58
Tabela 17	Atividade antioxidante pelo radical DPPH* (μg de trolox. 100g^{-1}), da fração solúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH	59
Tabela 18	Compostos fenólicos (μg de ácido gálico. 100g^{-1}), da fração insolúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH	60
Tabela 19	Atividade antioxidante pelo radical ABTS* (μg de trolox. 100g^{-1}), da fração insolúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH	61
Tabela 20	Atividade antioxidante pelo radical DPPH* (μg de trolox. 100g^{-1}), da fração insolúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH	62
Tabela 21	Composição química, teor de amilose (%), tempo de cocção (min), perfil de textura e dimensões (mm) dos grãos de arroz indico e japonico.	70
Tabela 22	Tamanho de Partícula do arroz indico e japonico durante a digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	80

Sumário

1 Introdução	13
2 Revisão bibliográfica	14
2.1 Aspectos de importância e de consumo de arroz	14
2.2 Estrutura e composição dos grãos	17
2.3 Parboilização de arroz	21
2.4 Reguladores de pH	23
2.5 Digestibilidade	24
3. Estudo 1 - Redução do pH na água de encharcamento na parboilização de arroz e efeitos em características tecnológicas, parâmetros de avaliação nutricional	29
3.1 Introdução	29
3.2 Material e método	30
3.2.1 Obtenção do material	30
3.2.2 Isotermas de hidratação	32
3.2.3 Rendimento de grãos inteiros	33
3.2.4 Composição química básica	33
3.2.5 Solubilidade proteica	33
3.2.6 Perfil colorimétrico	34
3.2.7 pH dos grãos moídos	34
3.2.8 Tempo de cocção	34
3.2.9 Perfil textuométrico	34
3.2.10 Propriedades viscoamilográficas (RVA)	35
3.2.11 Determinação de açúcares	36
3.2.13 HMF 5-Hidroximetilfurfural	37
3.2.14 Compostos fenólicos	37
3.2.15 Atividade Antioxidante ABTS	38
3.2.16 Atividade Antioxidante DPPH	38

3.2.17	Análise estatística	38
3.3	Resultados e discussão	39
3.4	Conclusão	62
4	Estudo 2 - Microestrutura do arroz indica e japonesa influencia sua digestibilidade do amido: um estudo usando um simulador de digestão humana	63
4.1	Introdução	63
4.2	Material e método	65
4.2.1	Material	65
4.2.2	Composição química e teor de amilose	65
4.2.3	Tempo de cocção, dureza e dimensões	65
4.2.4	Propriedades térmicas (DSC)	66
4.2.5	Digestão <i>in vitro</i> oral e gastrointestinal	66
4.2.6	Morfologia (SEM)	68
4.2.7	Distribuição de tamanho de partícula	68
4.2.8	Análise estatística	68
4.3	resultados e discussões	68
4.4	Conclusões	81
4.5	Considerações finais	81
5	Referências bibliográficas	82

1 Introdução

O arroz é o principal alimento para mais da metade da população mundial, principalmente dos países em desenvolvimento. O arroz é uma das principais fontes de energia consumidas no mundo devido à alto teor de amido, proteínas, minerais e vitaminas do complexo B.

No Brasil, o arroz parboilizado polido representa aproximadamente 25 % do consumo, devido à algumas características importantes, como melhor composição nutricional e propriedades tecnológicas, proporcionando maior teor de vitaminas, maior estabilidade durante o armazenamento e diminuição no percentual de grãos quebrados após o descascamento e polimento, comparado ao arroz branco polido. No entanto, o arroz parboilizado é mais escuro e amarelado, o que afeta negativamente a aceitabilidade pelo consumidor.

Os consumidores estão cada vez mais exigentes, aumentando a demanda por produtos com melhores características de sabor, textura, cor, teor de vitaminas, aroma e com melhor digestibilidade. Dessa forma, uma das maneiras para se conseguir manter ou melhorar estas características dos alimentos é através do uso de acidulantes.

Para se conhecer mais sobre o uso de aditivos no processo de parboilização, o presente estudo visou o uso do bissulfito de sódio e da redução do pH pelo uso de ácido cítrico na água de encharcamento e verificar seus efeitos sobre as propriedades físico-químicas, tecnológicas, e nutricionais desses grãos parboilizado e polidos.

Com o maior acesso à informação, os consumidores buscam cada vez mais informações sobre a digestibilidade dos alimentos, principalmente dos carboidratos, que tem recebido muita atenção devido nas doenças entre elas a obesidade e a diabetes. Os alimentos com maiores taxas de digestão do amido tendem a elevar a concentração de glicose no sangue provocando diversas doenças. A digestibilidade dos grãos de arroz vem sendo estudado para entender como ele mecanismo ocorre, assim, este estudo utilizou um sistema que simula as condições

gástricas e do intestino delgado, incluindo movimentos mecânicos para estudar a digestão do amido em arroz japônica e indiana. Composição química, teor de amilose, tempo de cozimento, dureza, propriedades térmicas e morfologia dos grãos também foram investigados.

Avaliar os efeitos da redução do pH e do uso de bissulfito de sódio na parboilização de arroz sobre parâmetros de avaliação físico-químicas, tecnológicas e nutricionais de grãos de arroz.

Utilizar um sistema que simula as condições gástricas e do intestino delgado, incluindo movimentos mecânicos (peristálticos) para estudar a digestão do amido em arroz japonês e indiano. A composição química, teor de amilose, tempo de cozimento, dureza, propriedades térmicas e morfologia dos grãos também foram investigados.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Produção e consumo de arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado atualmente é uma planta da família Poaceae, do gênero *Oryza*. Classificada no grupo de plantas C-3, o que facilita sua adaptação ao ambiente aquático. Esta adaptação é devido à presença de aerênquima no colmo e nas raízes da planta, que possibilita a passagem de oxigênio do ar para a camada da rizosfera. Para expressar todo potencial produtivo, a cultura requer temperatura na faixa dos 24 a 30°C (TUTIN et al., 1980).

O Brasil é um dos maiores produtores do cereal com 11,5 milhões de toneladas na safra 2017/2018. Perdendo apenas por países asiáticos como a China, Índia, Indonésia, Vietnã, Tailândia, Bangladesh, Myanmar e Filipinas. Os principais estados produtores no Brasil são Rio Grande do Sul e Santa Catarina que corresponde a mais de 76% da produção brasileira na safra 2015/2016 (CONAB, 2016). Na Figura 1, é mostrado a distribuição da produtividade de arroz no Brasil.

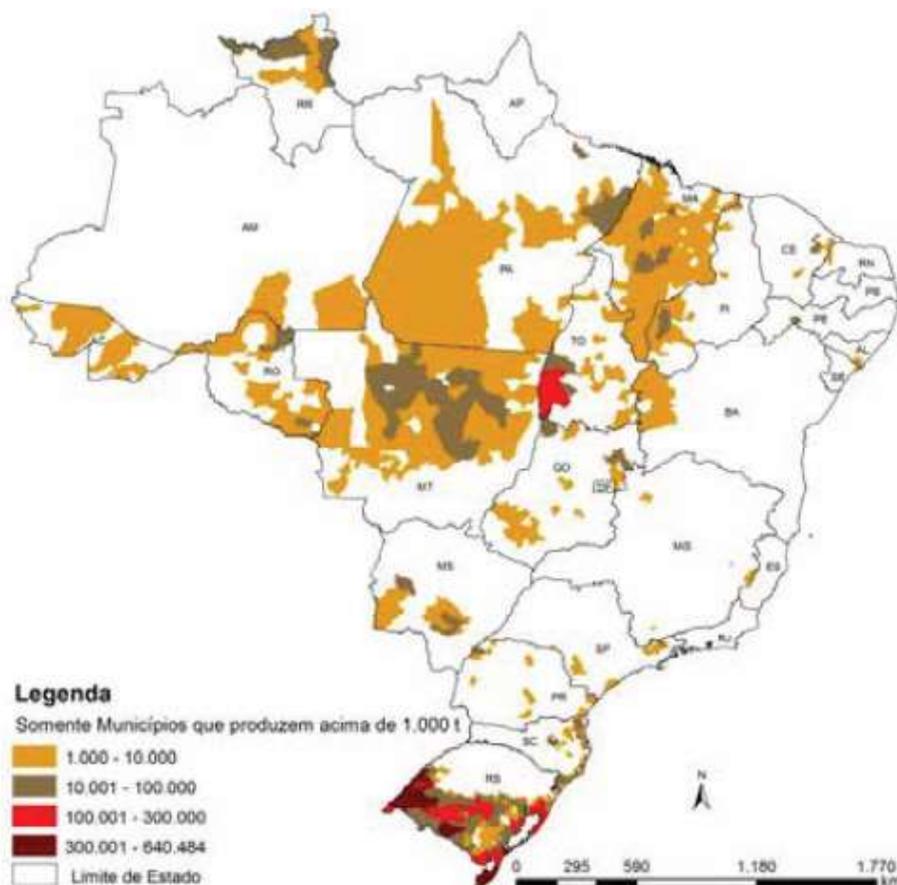


Figura 1- Distribuição da produtividade de arroz no Brasil.
Fonte: Conab 2016.

O arroz é considerado um alimento básico para mais da metade da população mundial, principalmente dos países em desenvolvimento. Sendo ele a principal fonte de energia consumida no mundo, devido a sua alta concentração de amido, proteínas, minerais e vitaminas principalmente

do complexo B (HEINEMANN et al., 2005). Em torno de 90% do arroz produzido é consumido no Sul e no Sudeste da Ásia (SELLAPAN et al., 2009). O consumo brasileiro de arroz é de aproximadamente 50 kg.hab.ano⁻¹ (base casca), inferior ao consumo mundial de 84,8 kg.hab.ano⁻¹. Nos países desenvolvidos o consumo é de 16,7 kg.hab.ano⁻¹ (FAO, 2016).

O consumo do arroz se divide em vários grupos. Os principais são: arroz branco, arroz parboilizado polido, arroz parboilizado integral e arroz integral. Dentre esses grupos, o arroz branco polido é o mais consumido mundialmente. O arroz polido é obtido após as operações de descascamento e polimento. Durante o descascamento apenas a pálea e a lema são removidas, enquanto no polimento o

embrião e as camadas de aleurona são removidos. Proteínas, lipídeos, minerais e vitaminas estão concentrados no germe e no farelo (ITANI et al., 2002). Logo, o polimento do arroz resulta na redução destes nutrientes. Os benefícios do polimento incluem a maior estabilidade no armazenamento, principalmente pela remoção dos lipídeos, e a melhoria das propriedades tecnológicas e sensoriais, relacionadas a coloração mais branca e ao sabor e odor mais agradáveis. No entanto, o polimento provoca reduções de componentes nutricionais importantes como o teor de zinco (LIANG et al., 2008) e ácido fólico (MONKS et al., 2013) em arroz polido comparado ao arroz integral.

Atualmente, a comercialização de arroz no Brasil segue as normas da Instrução Normativa N° 6 de 16 de fevereiro de 2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), onde o arroz é classificado em seis classes, sendo elas Arroz em Casca Natural, Arroz em Casca Parboilizado, Arroz Beneficiado Integral, Arroz Beneficiado Parboilizado Polido, Arroz Beneficiado Parboilizado Integral e Arroz Beneficiado Polido, com 5 tipos de classificação para cada. Para o arroz em casca natural, os percentuais de tolerância estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores percentuais máximos de tolerância (%) para classificação de arroz comercializado em casca natural pela atual legislação.

Tipo	Ardidos	Picados ou Manchados	Gessados e Verdes	Vermelhos e Pretos	Amarelos
1	0,15	1,75	2,00	1,00	0,50
2	0,30	3,00	4,00	1,50	1,00
3	0,50	4,50	6,00	2,00	2,00
4	1,00	6,00	8,00	3,00	3,00
5	1,50	8,00	10,00	4,00	5,00

Fonte: Extraído de Brasil (2009).

Atualmente o consumo de arroz se divide em vários grupos, seja arroz branco, integral, parboilizado integral, parboilizado polido e pigmentado (preto e vermelho). Cada um desses grupos apresenta suas peculiaridades em relação a suas propriedades nutricionais e sensoriais.

O arroz branco polido representa cerca de 70 % do total consumido no Brasil, devido as suas características suaves e agradáveis ao consumo, no entanto, do ponto de vista nutricional, o arroz branco polido é constituído predominantemente de amido, com baixa concentração de proteínas, minerais e vitaminas, os quais estão presentes na camada de aleurona, que é removida na etapa de polimento (LAMBERTS et al., 2006).

O arroz integral apresenta uma melhor composição nutricional quando comparado ao arroz branco polido, pois a camada de aleurona é mantida no grão, no entanto, do ponto de vista sensorial esses grãos apresentam certa resistência perante aos consumidores, devido ao sabor e odor marcantes e, por isso, apresentam baixo percentual de consumo (menor que 3%).

O arroz parboilizado representa cerca de 25% do total consumido no Brasil. Apresenta características destacadas e que o diferenciam dos outros grupos, como por exemplo, boa soltabilidade e textura características, além de apresentar as melhores propriedades nutricionais, quando integral, se comparado aos demais grupos de arroz consumido. Por outro lado, a parboilização proporciona o incremento de coloração amarela aos grãos, o que causa certa resistência ao consumo desses grãos perante os consumidores (HEINEMANN et al., 2005).

2.2 Estrutura e composição dos grãos

Na estrutura do grão de arroz em casca à diversos tecidos (Figura 2), que apresentam estrutura e composição química diferentes e cada constituinte. Na casca a predominância é de celulose e sílica (GUTOSKI, ELIAS, 1994), no endosperma o amido é o principal constituinte (ZHOU et al, 2002), no germe é onde se encontra a maior concentração de lipídios (MOONGNGARMA, DAOMUKDA, KHUMPIKA, 2012) e nas camadas mais periféricas, da aleurona, se encontram vitaminas do complexo B (WALTER, MARCHEZAN, AVILA, 2008).

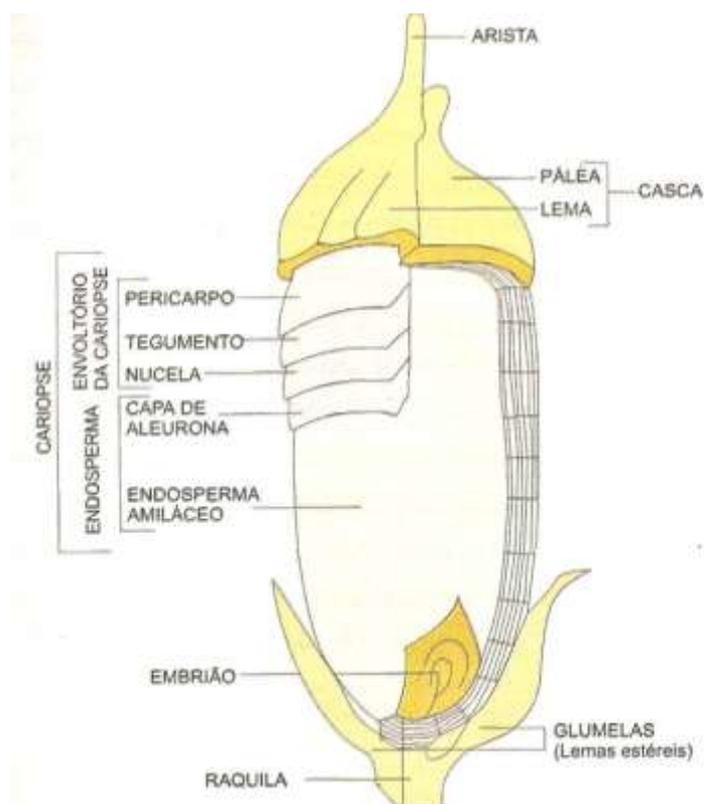


Figura 2 - Estrutura anatômica do grão de arroz

Fonte: VIEIRA, CARVALHO (1999).

As camadas externas (aleurona) apresentam as maiores concentrações de proteínas, lipídios, fibras, minerais e vitaminas, enquanto o centro é rico em amido. Dessa forma, o polimento resulta em redução no teor de nutrientes, exceto de amido. Em relação a composição química dos grãos de arroz, vários estudos têm sido realizados para melhorar a sua composição, através do melhoramento genético, fatores climatológicos e agrônômicos (SINGH et al., 2011). Conforme os dados de Denardin et al. (2004), apresentados na Tabela 2, verifica-se a redução na concentração de proteína, lipídio, cinzas e fibras, e proporcionalmente aumento dos carboidratos (amido) durante o polimento.

Tabela 2 - Composição do grão de arroz integral, branco polido e parboilizado polido expresso em base seca.

Constituinte (%)	Arroz integral	Arroz branco polido	Arroz parboilizado polido
Amido	74,12	87,58	85,08
Proteínas	10,46	8,94	9,44
Lipídios	2,52	0,36	0,69
Cinzas	1,15	0,3	0,67
Fibra total	11,76	2,87	4,15
Fibra insolúvel	8,93	1,05	1,63
Fibra solúvel	2,82	1,82	2,52

Fonte: Adaptado de DENARDIN, et al, (2004).

O amido é o principal carboidrato de reserva dos vegetais, sendo também o maior constituinte encontrado no arroz. Em um grão de arroz beneficiado polido o teor de amido está em torno de 90%, majoritariamente concentrado no endosperma (ZHOU et al., 2002)

O amido pode ser encontrado distribuído nas mais diversas espécies vegetais que se tem conhecimento, sendo a principal reserva dos grãos. Segundo Freitas et al. (2003) os grãos de cereais contêm em torno de 40 a 90% do seu peso seco, legumes em torno de 30 a 70% do seu peso seco e tubérculos em torno de 65 a 85% do seu peso seco. No arroz cozido, o amido é responsável por influenciar o perfil textuométrico (viscosidade, dureza, gomosidade e elasticidade) e o tempo de cocção (PARK et al., 2012).

Denardin e Silva (2009) relataram a relação existente entre a composição molecular do amido e as propriedades físico-químicas, o que é resultado da variação na concentração de amilose e amilopectina. O comprimento das cadeias e o grau de cristalinidade da amilopectina são relacionados diretamente com a gelatinização, a retrogradação, as características de inchamento e lixiviação do grânulo do amido.

Sabendo que os carboidratos representam o maior constituinte no grão e a proteína o segundo constituinte no grão (8%), esses são pouco comparados com outros grãos (feijão, grão de bico), no entanto, mesmo assim apresenta um bom

balanceamento dos perfis de seus aminoácidos, contendo oito dos aminoácidos essenciais, e apresenta maiores concentração de lisina quando comparado com demais cereais (GUNARATNE et al., 2013)

Gunaratne et al. (2013) estudando o perfil de aminoácidos em diferentes variedades de arroz, verificaram que o aminoácido mais abundante foi o ácido glutâmico, enquanto que a histidina foi o aminoácido encontrado em menor concentração.

A proteína encontrada no arroz é a orizenina, que pertencem a classe das glutelinas, que está presente em 80% da proteína do arroz. Já as globulinas e albuminas são encontradas no arroz, mas com menor concentração (MARTIN & FITZGERALD, 2002).

Entre os diferentes tipos de beneficiamento de arroz, Heinemann et al. (2005) comparou a composição centesimal do arroz beneficiado, polido, integral, parboilizado polido e parboilizado integral, sendo que não verificou diferenças entre os grãos de arroz parboilizado e não parboilizado, e sim pelo polimento do arroz.

O polimento é a remoção do embrião, juntamente com o pericarpo e da camada de aleurona, assim formando o farelo de arroz, sendo o processo de polimento realizado no arroz integral para obtenção do arroz polido sendo que no embrião (gérmen) contém em torno de 21% de óleo, enquanto o grão de arroz integral contém em torno de 2 a 3% de óleo (MOONGNGARMA, DAOMUKDA, KHUMPIKA, 2012).

O farelo obtido do polimento é altamente instável, e a extração de óleo deve ser realizada o mais rápido possível. O óleo de arroz bruto é composto de 90 a 96% de matérias saponificáveis (triglicerídeos, diglicerídeos, monoglicerídeos, ácidos graxos livres e ceras). Outro componente importante do óleo são os compostos insaponificáveis (esteróis, tocoferóis, tocotrienóis e triterpênico). O óleo bruto de arroz contém de 1 a 2% de γ -orizanól, que é um importante componente com propriedades benéficas a saúde (PAUCAR-MENACHO et al., 2007).

Nos grãos de arroz, há uma pequena predominância dos minerais, que estão presentes nas camadas mais periféricas do grão. O processo de polimento reduz a concentração desses importantes componentes (SINGH et al., 2000).

No arroz, as vitaminas mais encontradas são as do complexo B, principalmente tiamina e riboflavina (WALTER, MARCHEZAN, AVILA, 2008). As

vitaminas podem ser classificadas de acordo com sua solubilidade, sendo hidrossolúveis e lipossolúveis. Nas hidrossolúveis fazem parte as vitaminas do complexo B e a vitamina C. Já no grupo das lipossolúveis estão as vitaminas A, D, E e K. Algumas evidências mostram que o arroz parboilizado polido apresenta maior teor de vitaminas totais em relação ao arroz não parboilizado polido, isso ocorre por que vitaminas hidrossolúveis migram das camadas periférica para o interior do grão na etapa de encharcamento durante a parboilização (AMATO e ELIAS, 2005).

2.3 Parboilização de arroz

A obtenção do arroz parboilizado consiste em três fases adicionais ao processo de industrialização convencional do arroz branco e integral, as quais são: encharcamento, autoclavagem e secagem anterior ao descascamento.

A etapa de encharcamento consiste em uma operação hidrotérmica, onde ocorre a hidratação do grão de arroz em casca, sendo essa realizada por um determinado tempo e temperatura previamente determinados pelas curvas de hidratação do arroz denominadas isotermas. O fundamento da hidratação é disponibilizar água para o amido no interior do grão. Nessa etapa a umidade dos grãos supera os 30%. Na absorção de água ocorre a difusão das substâncias solúveis em água que, desta forma, migram para o interior do grão de arroz (AMATO & ELIAS, 2005).

Na autoclavagem, o arroz é submetido a pressão (0,5 Kgf.cm² ou mais) e temperatura (110°C) promover a gelatinização do amido e uma reestruturação interna do grão (AMATO & ELIAS, 2005).

A secagem é a última etapa do processo de parboilização e tem por objetivos reduzir a umidade dos grãos para manter a qualidade durante o armazenamento e a vida de prateleira, além de regular o percentual de umidade em uma faixa que possibilite obter o máximo rendimento no beneficiamento industrial (AMATO & ELIAS, 2005).

O processo de parboilização tem sido utilizado com a finalidade de melhorar as propriedades nutricionais em relação ao arroz branco polido e algumas propriedades tecnológicas, como o maior rendimento de grãos inteiros, melhor conservabilidade no armazenamento e maior soltabilidade dos grãos após a

cozção. Os principais fenômenos que ocorrem na parboilização são a transferência de componentes das camadas periféricas correspondente ao farelo para as camadas mais interna da cariopse do arroz durante a etapa de encharcamento, inativação da maioria das enzimas naturalmente distribuídas no grão, durante o tratamento térmico e gelatinização total ou parcial do amido (DEMONT et al., 2012).

O arroz parboilizado polido representa aproximadamente 25 % do total consumido, devido à algumas características importantes, como melhor composição nutricional e propriedades tecnológicas, proporcionando maior teor de vitaminas, maior estabilidade durante o armazenamento e diminuição no percentual de grãos quebrados após o descascamento e polimento, comparado ao arroz branco polido, no entanto, o produto parboilizado é mais escuro e amarelado, o que negativamente afeta a aceitabilidade no mercado (BHATTACHARYA, 1996; AMATO & ELIAS, 2005).

A alteração na cor do arroz durante a parboilização tem sido atribuída a fenômenos como: difusão de pigmentos da casca e do pericarpo para a cariopse, escurecimento não-enzimático do tipo Maillard, e alterações enzimáticas durante o encharcamento (LAMBERTS et al., 2006). E Lamberts et al. (2008) estudaram a formação de pigmentos escuros em arroz em função das condições de parboilização, e sugeriram que reações de Maillard são as principais responsáveis pelo escurecimento. A reação de Maillard envolve a reação do grupamento carbonila do açúcar redutor com o grupamento amina dos aminoácidos (principalmente lisina), peptídeos ou proteínas.

O estudo realizado por Vanier et al. (2015) avaliam os feitos da utilização de bissulfito de sódio na água de hidratação dos grãos de arroz sobre parâmetros tecnológicos e nutricionais dos grãos parboilizados. Esse estudo concluiu que a utilização de 0,2 % de bissulfito de sódio proporcionou grãos parboilizados com coloração mais branca e com maior percentual de grãos gelatinizados em comparação com os grãos parboilizados sem a utilização de bissulfito de sódio na água de hidratação, no entanto, a utilização de bissulfito de sódio proporcionou uma redução do conteúdo de tiamina (Vitamina B1).

A redução do pH de alimentos e soluções através da utilização de reguladores de pH ajuda a manter a estabilidade do aroma, bem como da flora microbiana. Além disso, a redução do pH de alimentos auxilia na preservação de

alguns antioxidantes, e a maioria das vitaminas do complexo B, aumenta a digestibilidade, melhora a palatabilidade e minimiza gostos desagradáveis (ORDONEZ, 2005; RODRIGUES & VENDRÚSCULO, 2010).

Estudos realizados por Ohishi et al. (2003) e Ohishi et al. (2007) utilizaram soluções de ácido acético em grãos e em farinha de arroz em diferentes condições, observando aumento da desestruturação dos grânulos de amido e desnaturação de proteínas, o que facilita absorção de água por esses grãos no momento da cocção.

2.4 Reguladores de pH

Nos dias de hoje, os consumidores estão exigindo produtos com melhores características de sabor, textura, cor, teor de vitamina, aroma e aparência geral. Dessa forma, uma das maneiras para se conseguir manter ou melhorar estas características dos alimentos é a utilização de aditivos (reguladores de pH ou antioxidantes) e tratamentos térmicos (LANDL et al., 2010).

Uma pratica muito comum é a utilização de aditivos para evitar o escurecimento de diversos alimentos. Esses aditivos alimentares de origem sintéticos ou naturais, são adicionados aos alimentos para preservar a cor, o sabor, o gosto e a aparência ou ainda para melhorar essas propriedades do produto (EVANGELISTA, 2000).

Acidulantes são substâncias que aumentam a acidez e/ou proporcionam um sabor ácido aos alimentos. Os ácidos podem exercer ação conservante nos alimentos pela redução do pH, protegendo o mesmo contra o crescimento de micro-organismos e garantindo a cor e a qualidade do produto por um período mais prolongado (DAMODARAN, PARKIN, FENNEMA, 2010).

A utilização de ácidos orgânicos como reguladores de pH em alimentos com pH superior a 4,5, é muito utilizada em enlatados para garantir a conservação (ABBATEMARCO, RAMASWAMY, 1994). Os acidulantes são adicionados aos alimentos processados com diferentes propósitos, como garantir a conservação, sabores e aromas. Um fator importante a ser considerado na hora de escolher o acidulante é o poder de influenciar no pH do alimento (DAMODARAN, PARKIN, FENNEMA, 2010).

Reguladores de pH, apresentam ação redutora e com seus sais neutros compõe um dos principais grupos de antioxidantes empregados em produtos vegetais prevenindo o escurecimento dos mesmos (SAPERS, MILLER, 1998). Outro propósito da adição de ácidos em alimentos, é para atuarem mantendo o pH do meio abaixo do ótimo para a ação catalítica das enzimas em alimentos (ZEMEL et al., 1990).

A utilização de ácidos orgânicos melhora as propriedades tecnológicas dos grãos, e promove um aumento da digestibilidade, proporcionando uma melhor palatabilidade pois altera gostos desagradáveis ou indesejados (RODRIGUES, 2006).

Uma pratica muito comum no Japão é cozinhar a arroz velho (arroz armazenado por um longo período) adicionando vinagre ou sucos de frutas cítricas para melhorar a textura, bem como suas propriedades nutricionais e sensoriais (HATAE et al.,1995).

O estudo realizado por Ohishi (2003) avaliou o efeito da adição de ácido acético adicionado na agua de cozimento, onde foi observado uma maior degradação da proteína de arroz quando comparado ao arroz cozido sem a adição desse ácido. Essa degradação foi associada a redução de pH da água, proporcionando a degradação da proteinase aspártica, principalmente a glutelina, sugerindo que a dissolução e degradação de proteínas pode acelerar a absorção, o inchamento e a gelatinização do amido de arroz.

Segundo Ohishi (2007), a adição de ácido acético altera as propriedades viscoamilográficas (RVA) da farinha do arroz, verificado pela redução da viscosidade máxima quando comparado com o controle (sem a adição de ácido acético). Já no amido, nas mesmas condições, houve a alteração de apenas de 4%, o que está associado com a ação da proteinase aspártica.

Segundo a Instrução Normativa nº46 de 23 de Outubro de 2007, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), que regulamenta a adição de acidulantes aos alimentos.

2.5 Digestibilidade

A digestibilidade é a transformação de alimentos ingeridos em elementos mais simples, para serem absorvidos pelo organismo, os nutrientes são absorvidos

pelo nosso intestino e são transportados pelo sangue até as células. Para os carboidratos, a digestão se dá pela transformação progressiva de macromolécula em moléculas mais simples, como no caso o amido é digerido e transformado em glicose. A glicose é a etapa final da digestão dos carboidratos, sendo a sua digestão e iniciada na boca, graça à ação da saliva, a primeira enzima que atua é a amilase salivar, no estômago, o bolo alimentar entra em contato com o meio, acidificado com o ácido clorídrico do suco gástrico, e quando o bolo alimentar chega ao duodeno, sofre a ação do suco intestinal, que é uma mistura do suco pancreático e do suco entérico, que no intestino delgado as enzimas continuam desdobrando o amido até a formação de monossacarídeos (glicose). Com a absorção dos monossacarídeos pelo intestino, ocorre o aumento glicêmico, ou seja, da concentração de glicose no sangue.

Segundo Zaefarian (2015), a fração do amido pode se dada pela taxa de glicogênio, no qual é absorvido no intestino delgado. Englyst (et al., 1996). Através de sua taxa de digestão o amido é classificado em três frações: amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível e o amido resistente.

O amido rapidamente digerível, é digerido em até 20 min, onde ocorre o índice glicêmico mais elevado. Ao ser consumido aumenta os níveis de glicose no sangue. O rápido aumento da glicose, conseqüentemente, eleva a taxa de insulina no sangue e essa elevação contribui para várias complicações a saúde, tais como diabetes, doenças cardiovasculares e obesidade (KITTISUBAN et al., 2014).

O amido lentamente digerível é digerido entre 20 e 120 min, onde ocorre uma liberação gradual da glicose ao longo do trato gastrointestinal e apresenta uma baixa taxa glicêmica. O amido lentamente digerível pode ser utilizado como controle e prevenção de doenças cardíacas, diabetes tipo II e obesidade (KITTISUBAN et al., 2014; VILLAS-BOAS e FRANCO, 2016).

O amido resistente é o que resiste ao trato gastrointestinal (ENGLYST et al., 1992). O amido resistente tem sua principal função no intestino grosso, o seu consumo aumenta a saciedade e serve como substrato para a microflora durante a fermentação intestinal produzindo substratos secundários como ácido butírico, que, particularmente, age como um substrato para as bactérias do cólon (TOPPING e CLIFTON, 2001). Vários estudos têm reportado os efeitos positivos do amido

resistente em casos da diabetes (ZHOU et al., 2014), e doença cardiovascular (HUNG e MORITA, 2005).

Segundo Dupuis et al. (2014), o amido resistente pode ser dividido em 5 tipos.

Amido resistente tipo 1, é o amido estruturalmente inacessível devido a limitações físicas, tais como estruturas que envolvem o grânulo de amido sendo assim resistência ao ataque enzimático na digestão.

Amido resistente tipo 2, a estrutura do amido o torna inacessível e resistente ao ataque enzimático, neste caso a amilopectina tem uma proporção maior de ramificações de cadeia longa, resultando numa estrutura mais rígida, que é desprovido de pontos fracos para o ataque enzimático.

Amido resistente tipo 3, são amidos resultantes de modificações físicas, no qual o amido sofreu uma gelatinização seguido por um período de arrefecimento na qual ocorre a retrogradação, a estrutura do amido se torna mais rígida, dificultando o ataque enzimático no trato gastrointestinal.

Amido resistente tipo 4, são amidos que foram modificados por métodos químicos, a formação de interações existentes entre seus componentes à presença de algumas substituições dos grupos hidroxila nos anéis de glicose.

Amido resistente tipo 5 é caracterizado pela complexação entre amido e lipídeo, na qual o lipídeo complexa com a estrutura helicoidal presente na amilose, formando uma complexação amilose-lipídeo tendo sua estrutura resistente ao ataque enzimático no trato gastrointestinal.

Os carboidratos atualmente têm um importante papel na alimentação dos seres humanos, o arroz uma fonte de carboidratos e seu consumo em todo o mundo, onde é a principal fonte de energia para os países subdesenvolvidos (MISSHRA, HARDACRE, MONRO, 2012).

A digestibilidade de carboidratos tem recebido muita atenção devido a sua contribuição para obesidade (MISSHRA, HARDACRE, MONRO, 2012). A taxa de digestão do amido é rápida elevando a concentração de glicose no sangue que é um problema para pessoas com diabetes.

Alimentos com alto teor de amido (arroz e batata por exemplo) proporcionam elevado pico glicêmico, decorrente a digestão do amido. Alimento que possui elevado pico glicêmico é um problema para pessoas com diabetes.

A digestibilidade pode ser influenciada por vários fatores como o preparo da amostra, tipo de processo para a produção do alimento, composição do alimento e tempo de armazenamento.

No estudo realizado por Lu e Rush (2015) com arroz parboilizado e com arroz branco, o teor de amido rapidamente digerido, no arroz parboilizado foi de 20% enquanto que no arroz branco de mais de 60%, ocorrendo um achatamento da curva de digestibilidade do arroz parboilizado quando comparado no arroz branco.

O arroz branco polido é um alimento altamente digerível, entretanto vários fatores afetam a digestibilidade (FREI *et al.*, 2003). O arroz com teor de amilose mais baixo pode ser facilmente digerido por enzimas no intestino delgado humano, sendo que o nível de glicose no sangue pode aumentar rapidamente em consequência do consumo de tal tipo de arroz. Williams (2004), os grãos de arroz com teores mais elevados de amilose tem maior facilidade do ataque das enzimas quando comparado com a amilopectina sendo assim apresentam menores índices glicêmico.

A digestão *in vitro* objetiva simular o processo digestivo de seres humanos (Figura 3) entretanto, a digestão em humanos é muito complexa para ser simulada perfeitamente (SINGH *et al.*, 2014).

O sistema *in vitro* geralmente usado para estudar a digestão baseia-se nas condições do estômago e do intestino delgado usando fluido gástrico e intestinal simulado (BERG *et al.*, 2012). O fluido gástrico simulado, é composto por pepsina dissolvida em tampão pH 1,2 e após esta etapa o fluido é condicionado com fluido intestinal simulado é composto de pancreatina dissolvida em tampão de fosfato de potássio (DARTOIS *et al.*, 2010).

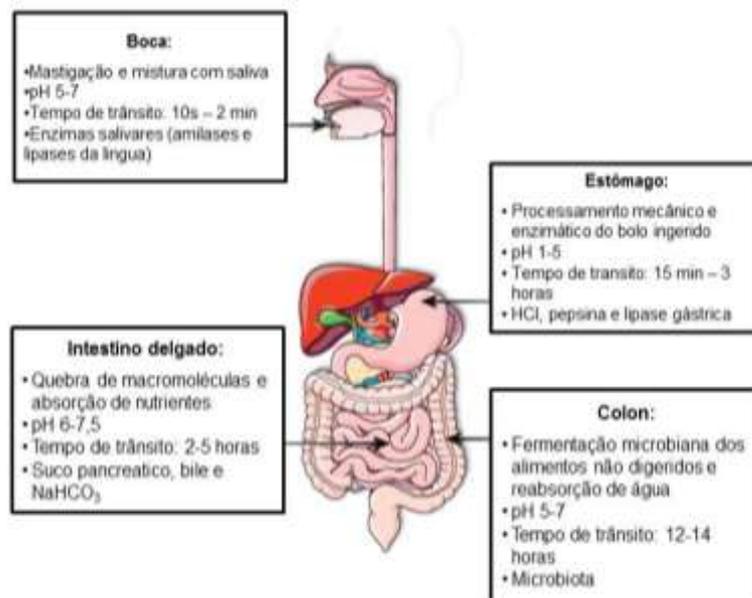


Figura 3 - Processo digestivo de seres humanos.

Fonte: Adaptado de Guerra et al., (2012).

O estudo realizado por Ogawa et al. (2003), com grãos de arroz onde foi observado que a estrutura dos grãos de arroz no momento do cozimento, sendo relatado que nas regiões mais densas onde ocorreu uma baixa penetração de água há menor gelatinização do amido, diminuindo assim a digestibilidade. A forma que a matriz está envolvendo o amido no endosperma está diretamente relacionado com a textura do arroz cozido (TAMURA et al 2014). No entanto, as estruturas em escala celular dos grãos de arroz cozido são mantidas na mastigação

Para estudar a digestibilidade em alimentos, ensaios *in vitro* e *in vivo* são abordagens geralmente aplicadas, embora ambas metodologias apresentem vantagens e desvantagens. Os métodos *in vitro* de digestão são simples e rápidos em comparação com os métodos *in vivo*, ao mesmo tempo que é difícil para simular os fenômenos complexos reais no organismo vivo. Alguns exemplos de estudos de digestibilidade *in vitro* para alimentos ricos em amido que apresentaram sucesso e eficácia na execução são a batata (BORDOLOI, SINGH, E KAUR, 2012), feijão branco (Berg et al., 2012), e pão (GOÑI, GARCIA, SAURA, 1997). Como um procedimento usual para tais estudos *in vitro*. No entanto, a digestibilidade dos alimentos que mantêm as características estruturais, como grãos de arroz parboilizado cozido, deve ser mais investigado.

3. Estudo 1 - Redução do pH na água de encharcamento na parboilização de arroz e efeitos em características tecnológicas e parâmetros de avaliação nutricional

3.1 Introdução

O arroz está presente na alimentação da população de menor poder executivo e nos países em desenvolvimento. O arroz por ser a principal fonte de energia consumida no mundo devido ao alto teor de amido, proteínas, minerais e vitaminas do complexo B.

O Brasil tem uma produção de 11,5 milhões de toneladas de arroz na safra 2017/2018. Perdendo apenas para países asiáticos. Os principais estados produtores no Brasil são Rio Grande do Sul e Santa Catarina que corresponde a mais de 3/4 da produção brasileira na safra 2017/2018 (CONAB, 2016)

O arroz parboilizado polido representa aproximadamente 25 % do consumo, devido às algumas características importantes, como melhor composição nutricional e propriedades tecnológicas, proporcionando maior teor de vitaminas, maior estabilidade durante o armazenamento e diminuição no percentual de grãos quebrados após o descascamento e polimento, comparado ao arroz branco polido (BHATTACHARYA, 1996; AMATO & ELIAS, 2005).

O processo de parboilização tem sido utilizado com a finalidade de melhorar as propriedades nutricionais em relação ao arroz branco polido e algumas propriedades tecnológicas, como o maior rendimento de grãos inteiros, melhor conservabilidade no armazenamento e maior solubilidade dos grãos após a cocção. Os principais fenômenos que ocorrem na parboilização são a transferência de componentes das camadas periféricas correspondente ao farelo para as camadas mais internas da cariopse do arroz durante a etapa de encharcamento, inativação da maioria das enzimas naturalmente distribuídas no grão, durante o tratamento térmico e gelatinização total ou parcial do amido (DEMONT et al., 2012).

A alteração na cor do arroz durante a parboilização tem sido atribuída a fenômenos como: difusão de pigmentos da casca e do pericarpo para a cariopse,

escurecimento não-enzimático do tipo Maillard, e alterações enzimáticas durante o encharcamento (LAMBERTS et al., 2006). Mais recentemente, Lamberts et al. (2008) estudaram a formação de pigmentos escuros em arroz em função das condições de parboilização, e sugeriram que reações de Maillard são as principais responsáveis pelo escurecimento. A reação de Maillard envolve a reação do grupamento carbonila do açúcar redutor com o grupamento amina dos aminoácidos (principalmente lisina), peptídeos ou proteínas.

A redução do pH de alimentos e soluções através da utilização de reguladores de pH ajuda a manter a estabilidade do aroma, bem como da flora microbiana. Além disso, a redução do pH de alimentos auxilia na preservação de alguns antioxidantes, e a maioria das vitaminas do complexo B, aumenta a digestibilidade, melhora a palatabilidade e minimiza gostos desagradáveis (ORDONEZ, 2005; RODRIGUES & VENDRÚSCULO, 2010).

Estudos realizados por Ohishi et al. (2003) e Ohishi et al. (2007) utilizaram soluções de ácido acético em grãos e em farinha de arroz em diferentes condições, para promover melhorias nas propriedades sensoriais e de cocção do arroz. Objetivou-se com este estudo verificar o efeito da adição de bissulfito de sódio e da redução do pH na água de encharcamento na parboilização de arroz e analisar os efeitos sobre as características tecnológicas e parâmetros de avaliação nutricional.

3.2 Materiais e métodos

3.2.1 Obtenção do material

Foram utilizados grãos de arroz (*Oryza sativa* L.), grãos longo-fino (agulhinha) com alto teor de amilose (26%) cultivados em sistema irrigado, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Os grãos, foram colhidos mecanicamente e secos até a umidade de 13%, secos em um sistema de secagem intermitentes, e armazenados na indústria em silos metálicos com capacidade de 50.000 kg. Em seguida foram transportados para o LABGRÃOS onde foram armazenados em uma sala refrigeradas ($16\pm 1^{\circ}\text{C}$) até o início do experimento.

Para obtenção das amostras foi realizado a parboilização dos grãos em diferentes soluções com pH de 5 a 1 onde foi utilizado o ácido cítrico para reduzir o pH das soluções e em 6 soluções foi utilizado bissulfito de sódio na concentração

de 0,2% conforme demonstrado na Tabela 3. Os grãos de arroz em casca foram dispostos em béquer de vidro, e adicionado as 12 soluções com diferentes pHs apresentados na Tabela 3 na proporção 1:2 p:v (peso de arroz: volume da solução). O béquer, contendo os grãos de arroz e as soluções foram dispostas em um banho-maria com temperatura controlada de 65°C e sobre os béqueres colocado um plástico filme. Posteriormente, as soluções foram drenadas do béquer e os grãos autoclavados a 110 °C por 10 min. Após, os grãos foram deixados em repouso a 25 °C *overnight* e secos em estufa com circulação forçada de ar (Modelo 400-2ND, Nova Ética, Brasil) a 38 °C, até os grãos atingirem 13 % de umidade em base úmida.

Para realizar as avaliações os grãos de arroz parboilizado em casca foram descascados e polidos em engenho de provas Zaccaria (Modelo PAZ-1-DTA, Zaccaria, Brasil). Para as análises que necessitam de moagem dos grãos, esses moídos em um moinho de laboratório (Modelo Perten 3100, Perten Instruments, Suécia) para redução das partículas a 35 mesh.

Tabela 3 - Descrição das soluções utilizadas no estudo.

Código	pH	Descrição da solução
AP1	6	água destilada com o pH próximo de 6 (simulando água potável)
AP2	5	solução com pH 5 (redução de pH foi realizada com o uso de ácido cítrico)
AP3	4	solução com pH 4 (redução de pH foi realizada com o uso de ácido cítrico)
AP4	3	solução com pH 3 (redução de pH foi realizada com o uso de ácido cítrico)
AP5	2	solução com pH 2 (redução de pH foi realizada com o uso de ácido cítrico)
AP6	1	Solução com pH 1 (redução de pH foi realizada com o uso de ácido cítrico)
AP7	6	solução contendo 0,2% de bissulfito de sódio
AP8	5	solução contendo 0,2% de bissulfito de sódio com pH 5 (redução de pH foi realizada com o uso de ácido cítrico)
AP9	4	solução contendo 0,2% de bissulfito de sódio com pH 4 (redução de pH foi realizada com o uso de ácido cítrico)
AP10	3	solução contendo 0,2% de bissulfito de sódio com pH 3 (redução de pH foi realizada com o uso de ácido cítrico)
AP11	2	solução contendo 0,2% de bissulfito de sódio com pH 2 (redução de pH foi realizada com o uso de ácido cítrico)
AP12	1	solução contendo 0,2% de bissulfito de sódio com pH 1 (redução de pH foi realizada com o uso de ácido cítrico)

3.2.2 Isotermas de hidratação

Para realizar das isotermas de hidratação foram pesado 50 g de arroz em casa e colocado em um saco de filó e devidamente etiquetado, os sacos com os grãos de arroz foram dispostos em béquer de vidro, e adicionado a solução na proporção 1:2 p:v (peso de arroz: volume da solução). Os béqueres, contendo os sacos com os grãos de arroz e as soluções foram dispostas em um banho-maria com temperatura controlada de 65°C e sobre os béqueres foi colocado um plástico

filme, e foram retiradas amostras a cada 30 minutos, a solução foi drenada de cada bequer e rapidamente colocados em uma centrífuga por 2 min a 5000 RPM, e pesado em uma balança.

3.2.3 Rendimento de grãos inteiros

A determinação do rendimento de grãos inteiros é realizada de acordo com a Instrução Normativa 06, de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil, que determina os padrões oficiais de classificação de grãos de arroz (BRASIL, 2009). O rendimento de inteiros são realizados após o polimento, com remoção de 6 a 7 % de farelo, realizada a separação de grãos quebrados com auxílio de *triuer* e posterior repasse manual, são considerados grãos inteiros, os grãos com comprimento maior que 4,49 mm (classe longo fino).

3.2.4 Composição química básica

Os teores de umidade dos grãos de arroz foram determinados em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, com circulação natural de ar por 24 h, de acordo com o método recomendado pela American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2000). Conteúdo de umidade é expresso em percentagem (%). O teor de nitrogênio é determinado de acordo com o método AACC 46-13 (AACC, 1995), e o conteúdo de proteína obtido, utilizando o fator de conversão de nitrogênio para proteína de 5,95, e expressa pelo percentual (%) em base seca. O teor de óleo é determinado de acordo com o método 30-20 da American Association of Cereal Chemists (AACC, 1995). O teor de óleo é expresso em percentual (%) em base seca. O teor de cinzas é determinado de acordo com AACC método 08-01 (AACC, 1995) e os resultados expressos pelo percentual (%) em base seca.

3.2.5 Solubilidade proteica

O teor de solubilidade proteica foi determinado segundo método descrito por Liu, Mcwatters e Phillips (1992), com modificações. Em cada amostra de 2g são adicionados 20ml de água destilada, sendo as amostras e a água misturadas com o auxílio de agitador magnético durante 1 h, em seguida centrifugadas a 5000 xg durante 20min. em 20°C de temperatura em centrífuga *Eppendorf Centrifuge 5430R*. Uma alíquota de 2mL do sobrenadante foi coletada e a determinação do

teor de proteína solúvel é feita pelo método descrito pela AACC (1995), o mesmo utilizado para avaliação do teor de proteína bruta, o teor de proteína solúvel foi expresso (%) em relação a proteína bruta.

3.2.6 Perfil colorimétrico

O perfil colorimétrico foi avaliado em um colorímetro (Minolta, modelo CR-310, Osaka, Japão), que faz a leitura de cores num sistema tridimensional, avaliando a cor em três eixos, onde o eixo L* avalia a amostra do preto ao branco (valores mais próximo de 0 (zero) mais próximo do preto e valores mais próximo de 100 mais branco a amostra), no eixo a* da cor verde ao vermelho (verde para valores negativos e vermelho para valores mais positivos) e o eixo b* da cor azul ao amarelo (azul para valores mais negativos e amarelo para valores mais positivos).

3.2.7 pH dos grãos moídos

Para a determinação do pH da farinha, foi adicionado 2 g de amostra moída em 20ml de água destilada e agitado por 5 min em um vortex e em seguida, realizado a leitura do pH utilizando um eletrodo de vidro pH metro (Pye Unicam, Inglaterra).

3.2.8 Tempo de cocção

O tempo de cocção foi realizado de acordo com o teste Ranghino (Juliano & Bechtel, 1985). O tempo de cocção foi determinado colocando-se um bequer de volume 250 mL contendo 150 mL de água destilada em chapa de ferro aquecida resistência elétrica, ao atingir $98\pm 2^{\circ}\text{C}$, é adicionado 10 gramas de arroz em um Becker tampado, iniciando-se a contagem do tempo de cocção. Após 10 minutos de cocção, a cada minuto é verificado 10 grãos amassando-os em placas de vidro, quando 90 % dos grãos estiverem cozidos, este é considerado o tempo de cocção do arroz o tempo de coação é expresso em minutos (') e segundos (").

3.2.9 Perfil textuométrico

O perfil textuométrico foi determinado a partir das amostras cozidas conforme descrito por Juliano & Bechtel (1985). As amostras de arroz foram

preparadas em bequer de 250mL com 200mL de água destilada à temperatura de $98\pm 1^{\circ}\text{C}$, onde foi colocado 10 g de amostras e deixado no tempo previamente determinado para cocção com constante agitação, removendo-se no final toda a água da cocção, e mantendo os grãos no interior do béquer para o teste, enquanto ainda estavam quentes. O perfil texturométrico dos grãos cozidos foi determinado utilizando-se o equipamento marca *Stable Micro Systems Texture Analysers*, modelo TA.XTplus, com uma célula de carga de 5 kg com uma compressão de dois ciclos (PARK *et al.*, 2001). Uma força de compressão de dois ciclos de tempo versus programa é utilizada para comprimir as amostras até 90% da espessura original dos grãos cozidos, retornar à sua posição original e novamente comprimir. Os parâmetros determinados conforme descrito por Bourne (1978): dureza (definida como a força máxima requerida para comprimir a amostra numa dada percentagem pré-estabelecida, em Newton), adesividade (definida como a força necessária para remover o alimento que adere na língua, dentes e mucosas, em $\text{N}^{\text{s}^{-1}}$), gomosidade (definida como a energia requerida para desintegrar um alimento semissólido para um estado pronto de ser engolido, sem mastigar, em Newton), elasticidade (definida como o grau como o alimento retoma a sua forma após uma compressão parcial da língua contra os dentes ou céu da boca, em milímetros) e mastigabilidade (definida como o número de mastigações necessárias para tornar o alimento com consistência adequada para ser engolido, em $\text{N}^{\text{s}^{-1}}$). Dez determinações são realizadas por tratamento e o resultado é expresso pela média das determinações.

3.2.10 Propriedades viscoamilográficas (RVA)

As propriedades viscoamilográficas dos grãos moídos foram avaliadas com o analisador rápido de viscosidade (RVA- *Rapid Visco Analyser*), usando programa *Thermocline for Windows versão 1.10*. O perfil utilizado é o *Standard Analysis 1*, cujos parâmetros são apresentados na Tabela 4. A quantidade de amostra utilizada para os testes é de 3 g corrigidas para 14% de teor de água, conforme descrito Singh *et al.* (2003).

Tabela 4 - Programação do RVA utilizada nas análises viscoamilográficas

Tempo (hora:min:seg)	Tipo (temperatura/velocidade)	Valor
00:00:00	Temperatura	50 (°C)
00:00:00	Velocidade	960 (rpm)
00:01:00	Temperatura	50 (°C)
00:04:42	Temperatura	95 (°C)
00:07:12	Temperatura	95 (°C)
00:11:00	Temperatura	50 (°C)

Tempo final do teste: 00:13:00

As características avaliadas foram:

- Viscosidade máxima: viscosidade máxima desenvolvida durante o período de aquecimento, expressa em RVU (Unidade de medida viscoamilográfica fornecida pelo Rapid Visco Analyser);

- Viscosidade de quebra: diferença de viscosidade entre o pico máximo e a viscosidade mínima a 95°C;

- Retrogradação: diferença de viscosidade mínima a 95°C e a viscosidade final, também chamado de *setback*.

- Viscosidade final: valor da viscosidade, obtido no ponto final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50°C expressa em RVU.

3.2.11 Determinação de açúcares

A extração dos açúcares foi feita segundo a metodologia descrita por Xiaoli et al., (2008) com alterações, foi pesado 1 grama de grão de arroz moído colocado em um tubo falcon de 15 ml e adicionado 10 ml de etanol 80% (V/V), colocado em um banho a 50°C por 30 minutos, centrifugado a 2800 rpm por 5 minutos e coletado o sobrenadante, e ressuspende o resíduo e repete os passos mais uma vez. O sobrenadante foi concentrado utilizando um rotaevaporador e filtrado a amostra com papel filtro, colocou-se as amostras em placas de petri para secar em uma estufa a 30°C com circulação de ar. As amostras são ressuspendidas com acetone-trila 70% (V/V) e antes da injeção, todas as amostras são filtradas através de uma membrana de 0,45 µm HPLC.

3.2.12 HMF 5-Hidroximetilfurfural

A determinação de HMF (5-Hidroximetilfurfural), foi conduzida pela pesagem 0,3 gramas de farinha de arroz, adicionando 3 mL de ácido oxálico (0,15M) agita por 30 minutos em um agitador mecânico (Certomat Biotech International), adiciona 2 mL de ácido tricloroacético (40%), após é centrifugado (Eppendorf 5430-R) por 10 minutos a 3000 rpm, coleta-se 1,6 mL do sobrenadante, transfere para um tubo falcon adicionando 0,9 ácido tiobarbitúrico e incubado em um banho a 40 °C por 40 minutos a leitura é realizado no comprimento de onda de 443 nm (espectrofotômetro UV 17000, Shimadzu, Japão).

3.2.13 Compostos fenólicos

A determinação dos compostos fenólicos livres é realizada de acordo com o método descrito por (Qiu, Liu, & Beta, 2010), com algumas modificações. 2 gramas de arroz moído é utilizado para a extração com solvente Acetona / Água (70:30 v / v), se repedindo por duas vezes a extração. Para cada extração a mistura é mantida num agitador mecânico (Certomat Biotech International) durante 1 h a 150 rpm à temperatura ambiente. Após centrifugação (Eppendorf 5430-R) a 4000 rpm durante 5 min, os sobrenadantes obtidos a partir de cada extração e concentrados até secar utilizando um evaporador rotativo a 35 ° C. Os extratos secos foram redissolvidos em 20 mL do solvente de extração e utilizados o extrato bruto para a quantificação total dos compostos fenólicos livres.

O extrato dos compostos fenóis ligados é realizado de acordo com o método descrito por (Alves et al., 2016), com algumas modificações. Utiliza-se o resíduo obtido da extração dos compostos fenólicos livres utilizando Acetona / Água com hidrólise enzimática (α -amilase) a 37 °C, seguido de hidrólise alcalina a 37 °C. Deixa o resíduo secar a temperatura ambiente durante 30 min, que é utilizado para hidrólise enzimática. Inicialmente, adiciona 5,0 mL de água destilada ao resíduo da extração de compostos fenólicos livres, em seguida, adicionaram-se 5 mL de α -amilase de *Bacilos licheniformis* (Sigma-Aldrich, Estados Unidos) ao material na concentração de 50 unidades por IL. O material foi agitado em vórtex e mantido durante 15 min a 37 ° C, após os 15 min a 37 °C a reação enzimática é interrompida com aquecimento, por 5 min. a 90 °C, este procedimento promoveu a inativação da

α -amilase. A hidrólise alcalina é realizada com 40 mL de NaOH 4 M em um agitador (Certomat Biotech International) durante 4 h. Após a hidrólise, a solução é ajustada para um pH de 1,5 a 2,0 com HCl 6 M e depois extraída três vezes com alíquotas de 70 mL de acetato de etila. As fracções de acetato de etila é evaporado até secar e diluído em 5 mL de metanol a 50% para a obtenção do extrato dos fenólicos ligados.

A reação de cor é realizada com Folin-Ciocalteu, segundo a metodologia (Singleton & Rossi, 1965). Resumidamente, misturaram-se 100 μ l dos extratos diluídos com 400 mL de água destilada, 0,25 ml de reagente Folin-Ciocalteu 1N e depois adiciona 1,25 ml de carbonato de sódio (7,5 g / 100 ml), depois de reagir durante 120 minutos, é realizada a leitura no comprimento de onda de 725 nm (espectrofotômetro UV 17000, Shimadzu, Japão). A quantificação é realizada utilizando uma curva de calibração feita com ácido gálico. Os resultados são expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100 g de arroz numa base de peso seco.

3.2.14 Atividade Antioxidante ABTS

A determinação da atividade antioxidante dos compostos livres e complexados foi realizada com reação colorimétrica com os radicais ABTS - 2,2-azino-bis (3 etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) sal diamônio (RE et al., 1999).

3.2.15 Atividade Antioxidante DPPH

A determinação da atividade antioxidante dos compostos livres e complexados foi realizada com reação colorimétrica com os radicais DPPH - 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (BRAND-WILLIANS et al., 1995).

3.2.16 Análise estatística

Para comparação dos resultados é aplicado teste de Tukey a 5% de probabilidade através de um teste de variância ANOVA. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

3.3 Resultados e discussão

Na Figura 4, está apresentado a isoterma de hidratação do arroz com diferentes pH na água de encharcamento. Na curva controle no tempo de 270 min o arroz atingiu 33% de umidade, que foi o tempo utilizado para o encharcamento, com o tempo superior 300 min de hidratação o arroz apresentou a abertura da lema e da pálea. Nas curvas de hidratação do tratamento AP1 a AP5, o comportamento da curva esta apresentado na Figura 4, o tempo estabelecido para a hidratação foi de 270 min. quando o arroz atinge entre 32 a 33% de umidade ou se estabilizou a curva sendo assim considerado o tempo ideal para o encharcamento. Na curva do tratamento AP6 (pH 1), observou-se um comportamento diferente em relação aos demais tratamentos, que os grãos se estabilizaram aos 210 minutos com 25 % de umidade e não tiveram mais aumento de umidade então foi utilizado esse tempo para a parboilização.

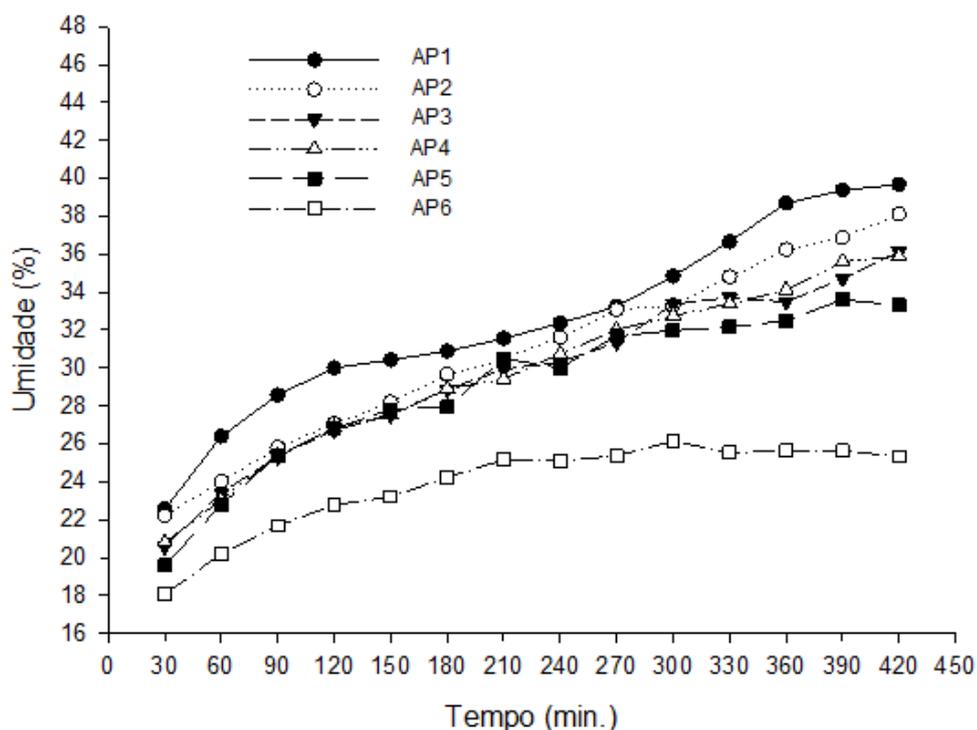


Figura 4 - Isoterma de hidratação com em diferentes pH na água de encharcamento.

Na Figura 5, está demonstrado a isoterma de hidratação do arroz com o uso de bissulfito de sódio em diferentes pH na água de encharcamento. Observou-se que o tratamento AP7 a AP10 o comportamento da curva foi parecido, o arroz

atingiu 33 % de umidade aos 270 min., que foi o tempo utilizado para o encharcamento nesses tratamentos para estudo, com o tempo superior 300 min. de hidratação o arroz apresentou a abertura da lema e da pálea. Nas curvas do tratamento AP11, o comportamento da curva foi parecido, mas os grãos entraram em equilíbrio com 29 % de umidade com o tempo de 240 min. Na curva do tratamento AP12 se observou que os grãos se estabilizaram com 26 % de umidade com o tempo de 210 min essa redução do tempo de hidratação está relacionado a o desnaturação das proteínas que reduziu a absorção de água.

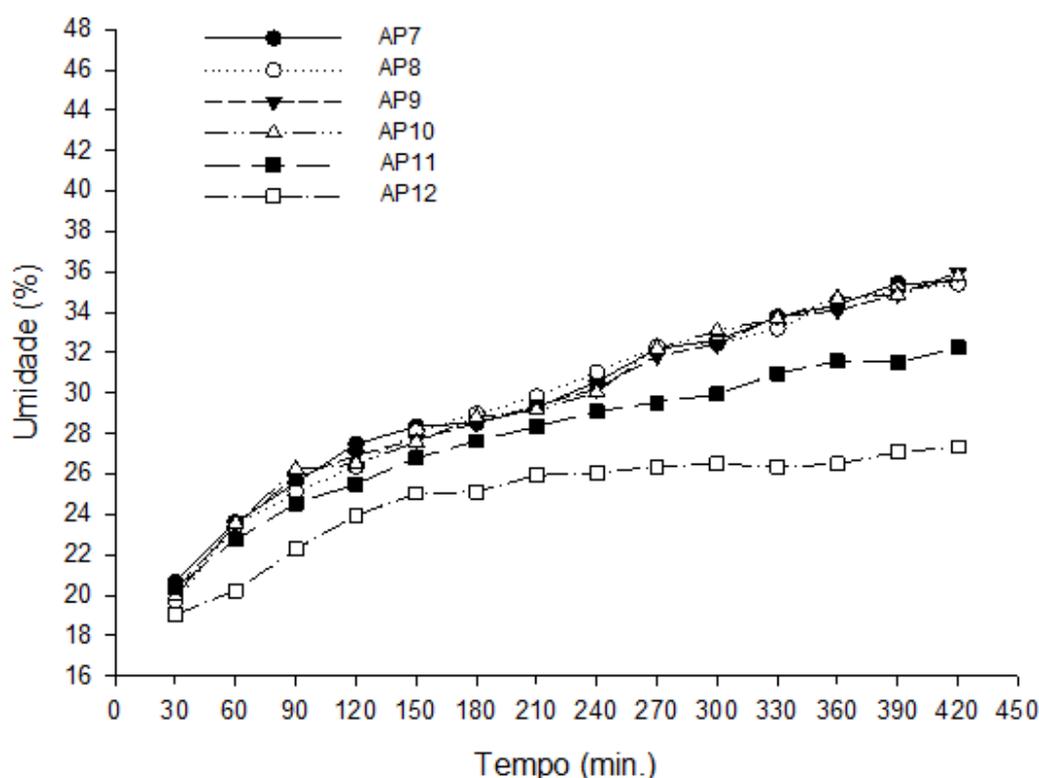


Figura 5 – Isoterma de hidratação do arroz com bissulfito de sódio em diferentes pH na água de encharcamento.

Os resultados de rendimento de inteiros (%) e quebrados (%) dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento estão apresentados na Tabela 5. Observou-se que a amostra AP1 teve 2,66% de grãos quebrados e houve um aumento ($p \leq 0,05$) nos tratamentos com AP5 e AP6 (pH 5 e 6 respectivamente) com os respectivos valores de 11,50 e 12,06 %, e com o uso do bissulfito de sódio as amostras de AP7 a AP12, houve o menor ($p \leq 0,05$) valor de grão quebrado foi o AP7 com o valor de 1,42 % e os

tratamentos AP11 e AP12 houve um aumento ($p \leq 0,05$) sendo assim os respectivos valores de 15,92 e 18,41 %.

Observou-se para o rendimento de inteiros que não houve diferença ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos AP1 a AP4 sendo os valores entre 69,66 a 70,51 %, e houve uma redução ($p \leq 0,05$) do percentual de inteiros nos tratamentos AP5 a AP6 para os respectivos valores de 61,79 e 61,83 %, o maior valor encontrado foi no tratamento com bissulfito de sódio no tratamento AP7 sendo o respectivo valor de 71,45 %, e com a redução do pH houve redução no rendimento de grãos inteiros nos tratamentos AP11 a AP12 com os respectivos valores de 57,80 e 55,20 %.

Este aumento do teor de grãos inteiros, no tratamento com bissulfito de sódio controle está relacionados como enfraquecimento das ligações sulfídicas que facilitou a absorção de água pelo amido, e que proporcionou uma parboilização mais intensa que melhorou a estrutura interna do grão, resultando o maior valor de grão inteiros. A redução do pH na água de encharcamento reduziu o teor de grãos inteiros, uma hipótese que com a redução do pH desnaturou as proteínas (OHISHI et al., 2003), enfraquecendo a sua estrutura isso pode ser observado na Figura 4 e 5, nos tratamentos AP6 e AP12 (pH 1) que os grãos não conseguiram absorver, mais de 26 % de umidade na curva de hidratação.

Tabela 5 - Rendimento de inteiro (%) e quebrado (%) dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento

Amostra	Quebrado (%)	Inteiros (%)
AP1	2,66±0,40 ef	70,51±0,21 abc
AP2	3,78±0,41 d	69,66±0,50 cd
AP3	2,74±0,20 ef	70,14±0,19 bc
AP4	2,64±0,26 ef	70,45±0,12 abc
AP5	11,50±0,11 c	61,79±0,16 f
AP6	12,06±0,10 c	61,83±0,21 f
AP7	1,42±0,13 g	71,45±0,26 a
AP8	2,03±0,43 fg	66,49±0,13 e
AP9	3,31±0,31 de	70,92±0,47 ab
AP10	3,64±0,14 de	68,82±0,01 d
AP11	15,92±0,14 b	57,80±0,39 g
AP12	18,41±0,01 a	55,20±0,03 h

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados da composição química básica dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento, estão apresentados na Tabela 6.

Observou-se que o teor de proteína, cinzas, lipídios e carboidratos totais, não se teve diferença estatística ($p \leq 0,05$), entre os tratamentos, os valores de proteínas ficaram entre 8,04 a 8,38 %, os valores de cinzas entre 0,55 a 0,70 %, os valores de lipídios entre 1,07 a 1,48 % e os valores de carboidratos totais entre 89,54 a 90,61 %, pode se observar que a redução do pH não altera os valores da composição química básica dos grãos.

Os valores de proteína, lipídios e cinzas de arroz estão de acordo com os descritos por Dors et al. (2009), Denardin et al. (2004) e Walter et al. (2008).

Tabela 6 – Composição química básica dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento.

Amostra	Proteína (%)	Cinzas (%)	Lipídios (%)	Carboidratos (%)
AP1	8,12±0,09 a	0,55±0,15 a	1,31±0,27 a	90,15±0,49 a
AP2	8,32±0,07 a	0,56±0,18 a	1,14±0,32 a	89,95±0,10 a
AP3	8,38±0,05 a	0,70±0,06 a	1,07±0,11 a	89,61±0,40 a
AP4	8,04±0,13 a	0,64±0,17 a	1,20±0,51 a	90,18±0,29 a
AP5	8,19±0,17 a	0,52±0,12 a	1,25±0,16 a	89,96±0,38 a
AP6	8,20±0,11 a	0,70±0,05 a	1,22±0,53 a	90,11±0,26 a
AP7	8,24±0,14 a	0,55±0,15 a	1,09±0,27 a	90,02±0,27 a
AP8	8,20±0,03 a	0,55±0,17 a	1,17±0,25 a	90,14±0,21 a
AP9	8,30±0,02 a	0,69±0,06 a	1,33±0,42 a	89,54±0,32 a
AP10	8,08±0,03 a	0,62±0,14 a	1,20±0,21 a	90,09±0,38 a
AP11	8,16±0,10 a	0,64±0,17 a	1,48±0,59 a	89,93±0,55 a
AP12	8,25±0,10 a	0,53±0,12 a	1,27±0,51 a	90,61±0,90 a

^a Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Os resultados da solubilidade proteica dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento estão apresentados na Tabela 7. Sabe-se que a proteína predominante no arroz é a orizenina, pertencente a classe das glutelinas, que são solúveis em soluções ácidas e básicas e que corresponde a cerca de 80% das proteínas presente no arroz (MARTIN, FITZGERALD, 2002).

Nesse estudo observa-se que não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos sendo o valor da solubilidade proteica variou entre 0,47 a 0,53 %.

O baixo valor da solubilidade proteica em água, é relacionado com a complexação de proteínas com o amido, a participação de alguns aminoácidos nas reações de Maillard, e a desnaturação ocorrido no processo de parboilização do arroz sendo que o calor no processo de autoclavagem pode ter ocorrido a total desnaturação das proteínas proporcionado o baixo teor de proteína solúvel em água.

Tabela 7 – Solubilidade proteica dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento.

Amostra	Solubilidade proteica (%)
AP1	0,49±0,03 a
AP2	0,49±0,08 a
AP3	0,47±0,03 a
AP4	0,53±0,04 a
AP5	0,48±0,03 a
AP6	0,49±0,08 a
AP7	0,48±0,08 a
AP8	0,50±0,06 a
AP9	0,48±0,08 a
AP10	0,50±0,08 a
AP11	0,47±0,01 a
AP12	0,50±0,08 a

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados do perfil colorimétrico dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e como uso de bissulfito de sódio na água de encharcamento, estão apresentados na Tabela 8. Observou-se um aumento ($p \leq 0,05$) do valor L* com a redução do pH, o valor do tratamento AP1 foi de 86,65 e um aumento ($p \leq 0,05$) para o tratamento AP com o respectivo valor de 89,07. Com o utilização do bissulfito de sódio, houve aumentos ($p \leq 0,05$) em todos os tratamentos (AP7 a AP12) em relação dos demais tratamentos. Os maiores valores foram encontrados nos tratamentos AP 11 e AP12, respectivos valores 92,21 e 93,56.

Para o valor a*, o tratamento AP1 teve o valor de 0,54, houve uma redução ($p \leq 0,05$) nos tratamentos como a redução pH, sendo os menores valores nos tratamentos AP5 e AP6 (pH 2 e pH 1) com os respectivos valores de -0,24 e -0,02, com o uso do bissulfito de sódio houve uma redução ($p \leq 0,05$) em todos os tratamentos (AP7 a AP12) quando comparado como os demais, o tratamento AP7 apresentou o valor de -0,41 e com a redução do pH houve redução ($p \leq 0,05$) do valor a* nos tratamentos AP10, AP11 e AP12 com os respectivos valores de -0,69, 0,93 e -1,01.

Para o valor b^* o tratamento AP1 obteve o valor de 16,68 e houve uma redução ($p \leq 0,05$) nos tratamentos AP4 e AP5 com os respectivos valores de 14,90 e 14,58. Com o uso do bissulfito de sódio houve uma redução ($p \leq 0,05$) nos valores b^* em todos os tratamentos (AP7 a AP12) em comparação com os outros tratamentos, sendo o menor ($p \leq 0,05$) valor encontrado nos tratamentos AP11 e AP12 com os respectivos valores de 11,59 e 10,43.

Esta mudança de cor pode estar relacionada com a reação de Maillard responsável pela pigmentação escura no processo de parboilização (MORALES et al, 2004; LAMBERTS et al, 2008). A parboilização com a redução de pH com ácido cítrico apresentou uma diminuição da intensidade da cor amarela, o que pode ser resultado da capacidade antioxidante desse ácido, retardando a velocidade das reações que formam os pigmentos escuros (COUTO, BRAZACA, 2010). Com o uso de bissulfito de sódio foram obtidos grãos mais branco quando comparado com o parboilizado convencional, este comportamento também foi observado pelo estudo realizado por Vanier et al., (2015).

Tabela 8 - Perfil colorimétrico dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com o uso de bissulfito de sódio na água de encharcamento

Amostra	L^*	a^*	b^*
AP1	86,65±0,25 j	0,54±0,06 a	16,68±0,30 a
AP2	87,88±0,21 i	0,22±0,06 b	15,55±0,27 bc
AP3	88,36±0,17 h	0,35±0,06 b	15,29±0,25 c
AP4	88,89±0,36 g	0,00±0,07 c	14,90±0,33 d
AP5	89,47±0,17 f	-0,24±0,05 d	14,58±0,22 d
AP6	89,07±0,22 g	-0,02±0,02 c	15,77±0,29 b
AP7	90,70±0,15 d	-0,41±0,03 e	13,27±0,09 e
AP8	90,89±0,10 d	-0,42±0,03 e	12,98±0,11 ef
AP9	90,40±0,12 e	-0,46±0,05 e	13,17±0,22 e
AP10	91,71±0,13 c	-0,69±0,04 f	12,67±0,28 f
AP11	92,21±0,09 b	-0,93±0,03 g	11,59±0,12 g
AP12	93,56±0,14 a	-1,01±0,03 h	10,43±0,16 h

* Médias aritméticas simples de dez repetições \pm desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados de pH dos grãos moídos parboilizado com diferentes pH e do uso do bissulfito de sódio na água de encharcamento estão apresentados na Tabela 9. Observa-se que nos tratamentos AP1 a AP4 e AP7 a AP10 não se obteve diferença ($p \leq 0,05$), os valores ficaram entre 6,47 a 5,59. Os tratamentos AP5, AP6, AP11 e AP12, uma redução significativa ($p \leq 0,05$) com os respectivos valores de 4,69, 3,74, 4,34 e 3,95. Esta redução do pH nos grãos moídos, se deve a migração da solução no encharcamento do arroz, no processo de parboilização, a migração de solução para o interior do grão, ocorrendo a redução do pH no interior do grão. A redução do pH no grão proporciona um grão mais estável no armazenamento, e a redução do pH diminui a velocidade da reação de maillard principalmente os produtos finais como as melanoidinas que são responsáveis pela coloração mais escura, isso pode ser observado pela redução do valor b^* nos grãos de arroz parboilizado.

Tabela 9 – pH dos grãos moídos parboilizado com diferentes pH e do uso do bissulfito de sódio na água de encharcamento

Amostra	pH
AP1	5,97±0,07 a
AP2	6,00±0,01 a
AP3	6,05±0,02 a
AP4	5,81±0,02 ab
AP5	4,69±0,01 bc
AP6	3,74±0,01 c
AP7	5,96±0,02 a
AP8	6,39±0,70 a
AP9	6,47±0,69 a
AP10	5,59±0,01 ab
AP11	4,34±0,01 c
AP12	3,95±0,08 c

* Médias aritméticas simples de dez repetições \pm desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados obtidos para o tempo de cocção dos grãos parboilizado com diferentes pH e com o uso do bissulfito de sódio estão apresentados na

Tabela10. No tratamento AP1 o tempo de cocção foi de 22'06", com a redução do pH na água de encharcamento, houve uma redução ($p \leq 0,05$) no tempo de cocção para 16'58" e 17'06" nos respectivos tratamentos AP5 e AP6. Com o uso de bissulfito de sódio o tratamento AP7 apresentou o tempo de 20'06" com a redução de pH na água de encharcamento houve redução ($p \leq 0,05$) do tempo de cocção para 16'30" e 15'33" nos respectivos tratamentos AP11 e AP12. Essa diferença no tempo cocção pode ser atribuída a uma maior desestruturação celular e desnaturação das proteínas, facilitando a absorção de água pelo grão no momento da cocção (GHASEMI et al., 2008).

A redução do tempo de cocção está relacionada com a redução do pH na água de encharcamento no processo de parboilização, uma hipótese para esse comportamento é o afrouxamento das interações entre a proteína e o amido ocasionado pela redução do pH, que proporcionou uma maior facilidade para a hidratação do grão facilitando a gelatinização do amido no momento que está sendo cozido.

Tabela 10 - Tempo de cocção (min.) dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento.

Tratamento	Tempo de cocção ((min.)(seg.))
AP1	22'06"±00'40" a
AP2	20'28"±00'48" ab
AP3	20'40"±00'52" ab
AP4	19'50"±00'18" b
AP5	16'58"±00'28" c
AP6	17'06"±00'12" c
AP7	20'06"±00'47" b
AP8	21'12"±00'15" ab
AP9	20'00"±00'30" b
AP10	19'48"±00'15" b
AP11	16'30"±00'45" c
AP12	15'33"±00'15" c

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados obtidos do perfil texturométrico dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento estão apresentados na Tabela 11. No tratamento AP1 observou-se que teve uma dureza de 67,14 N, dos grãos de arroz cozidos, houve uma redução ($p \leq 0,05$) para 55,28 N no respectivo tratamento AP6. Como o uso do bissulfito de sódio o tratamento AP7 apresentou o valor de 60,84 N, observou uma redução ($p \leq 0,05$) para 50,74 N no respectivo tratamento AP12.

Nos resultados de adesividade, não obteve diferença ($p \leq 0,05$) entre os valores, os valores de adesividade ficaram na faixa de 33,61 a 11,20 Ns^{-1} .

Os resultados da elasticidade, obteve diferença ($p \leq 0,05$), sendo o maior valor de 0,71 mm para o tratamento AP3, e uma redução ($p \leq 0,05$) para 0,47 mm no tratamento AP6, com o uso de bissulfito de sódio, maiores valores ficaram entre 0,53 a 0,57 mm nos respectivos tratamentos AP7 e AP10.

Os resultados da gomosidade, observou-se uma redução ($p \leq 0,05$), sendo o valor do tratamento AP1 de 22,26 N e uma redução ($p \leq 0,05$) para o tratamento AP6 como o respectivo valor de 17,36 N, com o uso do bissulfito de sódio o tratamento AP7 teve o valor de 18,85 N, que se obteve uma redução ($p \leq 0,05$) para o tratamento AP12 com o respectivo valor de 14,00 N.

Os resultados de mastigabilidade, observou-se que o tratamento AP1 teve o valor de 12,38 $N.mm^{-1}$ de mastigabilidade, houve um aumento ($p \leq 0,05$) da mastigabilidade no tratamento AP3 com o respectivo valor de 17,26 $N.mm^{-1}$, e o tratamento AP6 houve uma redução ($p \leq 0,05$) para 8,47 $N.mm^{-1}$ quando comparado com o tratamento AP1, o uso de bissulfito de sódio observou-se que o tratamento AP7 teve o valor 10,09 $N.mm^{-1}$ e o tratamento AP12 a redução ($p \leq 0,05$) para o valor de 6,36 $N.mm^{-1}$.

O perfil texturométrico dos grãos parboilizados foram parecidos com os encontrados por Paraginski et al., (2014) em arroz parboilizado polido. A redução da dureza pode estar relacionada com a maior facilidade que esse grão tem de absorver água, decorrente da degradação de proteínas estruturais e também das estruturas de parede, que é resultado da redução do pH da água de encharcamento, o que facilitou a absorção de água pelo granulo de amido ou pela estrutura do grão, fazendo que ele aumente de volume e rompa algumas cadeias de amilopectina (OHISHI et al., 2003; GHASEMI et al., 2008).

Tabela 11 - Perfil texturométrico dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento.

Amostra	Dureza (N)	Adesividade (Ns ⁻¹)	Elasticidade (mm)	Gomosidade (N)	Mastigabilidade (N.mm ⁻¹)
AP1	67,14±4,15 abc	19,31±17,85 a	0,55±0,06 bc	22,26±2,52 abc	12,38±2,41 b
AP2	73,46±4,68 a	16,68±6,06 a	0,52±0,02 bcd	25,88±3,01 a	13,43±1,65 ab
AP3	72,84±4,98a	13,90±14,78 a	0,71±0,05 a	24,31±2,21 ab	17,26±2,45 a
AP4	66,36±4,14 abcd	17,51±22,81 a	0,58±0,07 b	20,49±1,87 bcd	11,84±1,93 bcd
AP5	67,84±11,60 abc	11,48±4,90 a	0,51±0,10 bcd	25,02±4,43 ab	12,88±3,56 b
AP6	55,28±12,34 e	33,61±32,52 a	0,47±0,12 cd	17,36±4,76 ed	8,47±4,02 cde
AP7	60,84±6,89 bcd	27,46±25,54 a	0,53±0,07 bcd	18,85±3,32 d	10,09±2,36 bcde
AP8	68,98±5,00 ab	17,31±6,82 a	0,50±0,07 bcd	24,13±2,70 ab	12,10±2,39 bc
AP9	68,70±6,12 ab	11,20±9,49 a	0,53±0,08 bcd	22,74±3,70 abc	12,18±3,30 bc
AP10	57,27±4,84 de	24,41±22,31 a	0,59±0,07 b	16,69±2,57 de	9,97±2,17 bcde
AP11	58,38±4,43 cde	62,87±37,62 a	0,43±0,05 d	18,76±2,11 d	8,19±1,68 de
AP12	50,74±5,51 e	27,11±10,24 a	0,45±0,07 cd	14,00±2,44 e	6,36±1,65 e

* Médias aritméticas simples de dez repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados obtidos para as propriedades viscoamilográficas (RVA) dos grãos parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento estão apresentados na Tabela 12. No tratamento AP1, AP2 e AP3 não houve diferença ($p \leq 0,05$) no pico de viscosidade e os valores encontrados ficaram entre 6,79 a 9,17 RVU, o aumento ($p \leq 0,05$) do pico de viscosidade foi observado nos tratamentos AP5 e AP6 com os respectivos valores de 24,00 e 46,29 RVU, com o uso do bissulfito de sódio observou o tratamento AP7, AP8, AP9 e AP10 não teve diferença ($p \leq 0,05$), e houve um aumento ($p \leq 0,05$) do tipo de viscosidade nos tratamentos AP11 e AP12 com os respectivos valores de 51,29 e 186,96 RVU. Os resultados estão semelhantes aos relatados por Assis et al., (2009) que utilizou o processo de parboilização tradicional que se observa a total gelatinização do amido no processo de parboilização e nos tratamentos AP5, AP6, AP11 e AP12 (pH 2 e pH 1), ocorreu um pico de viscosidade, decorrente da redução do pH no água de encharcamento, uma hipótese que a redução do pH proporcionou a desnaturação da proteína dificultando a absorção de água no encharcamento, o estudo realizado por Hou et al. (2017) que o teor de ligações sulfidrílo mudou quando em concentrações ácidas, quanto maior a concentração ácida, o conteúdo de ligações sulfidrílo reduziu significativamente, proporcionando grãos mais frangeis.

Para viscosidade mínima, observou-se que não teve diferença ($p \leq 0,05$) entre o tratamento AP1, AP2, AP3 e AP4 com os valores entre 2,38 e 8,05 RUV, teve um aumento ($p \leq 0,05$) no tratamento AP6 com o respectivo valor 28,63 RVU. Com o uso do bissulfito de sódio não houve diferença entre nos tratamento AP7, AP8, AP9 e AP10, houve um aumento ($p \leq 0,05$) nos tratamentos AP11 e AP12 com os respectivos valores 33,21 e 131,54 RVU.

Nos resultados de quebra de viscosidade, não houve diferença entre os tratamentos AP1, AP2, AP3 e AP4 com os valores entre 0,88 e 1,14 RVU houve um aumento ($p \leq 0,05$) nos tratamentos AP5 e AP6, com os respectivos valores 10,34 e 17,67 RVU, com o uso do bissulfito de sódio, só se teve diferença significativa nos tratamento AP11 e AP12, com os respectivos valores 18,25, 55,42 RVU.

Nos resultados de viscosidade final, houve um aumento ($p \leq 0,05$), nos tratamentos AP5 e AP6, quando comparado com os demais tratamentos, com

os respectivos valores de 39,33 e 68,46 RVU, e com bissulfito de sódio o tratamento AP11 e AP12 tiveram os respectivos valores de 74,25 a 259,13 RVU.

Para a retrogradação, observou-se que nos tratamentos AP1, AP2, AP3 e AP4 não houve diferença ($p \leq 0,05$) sendo os respectivos valores de 4,71, 3,88, 3,30 e 3,38 RVU, observou um aumento ($p \leq 0,05$) nos tratamentos AP5 e AP6 com os respectivos valores de 25,67 e 39,84 RVU quando comparado com os primeiros tratamento, os tratamentos com bissulfito os tratamento AP7, AP8, AP9 e AP10 tiveram os valores entre 2,05 a 1,25 RVU, teve um aumento ($p \leq 0,05$) os tratamentos AP11 e AP12 , com os respectivos valores 41,04 e 127,96 RVU.

Tabela 12 - Propriedades viscoamilográficas (RVA) dos grãos parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento

Amostra	Pico de viscosidade (RVU)	Viscosidade mínima (RVU)	Quebra de viscosidade (RVU)	Viscosidade final (RVU)	Tendência a retrogradação (RVU)
AP1	6,79±1,82 d	5,67±1,65 cd	1,13±0,18 d	10,38±1,83 d	4,71±0,18 defg
AP2	3,25±1,17 d	2,38±1,12 d	0,88±0,06 d	7,25±2,94 d	3,88±0,42 fg
AP3	5,63±1,79 d	4,63±1,12 d	1,14±0,40 d	7,92±1,65 d	3,30±0,53 g
AP4	9,17±1,18 d	8,05±1,59 cd	1,13±0,42 d	12,80±1,94 d	3,38±1,59 gf
AP5	24,00±1,65 c	13,67±1,06 c	10,34±0,59 c	39,33±2,12 c	25,67±1,06 c
AP6	46,29±5,25 b	28,63±5,37 b	17,67±0,12 b	68,46±5,13 b	39,84±0,23 b
AP7	5,63±0,18 d	3,55±0,18 d	2,08±0,00 d	11,13±0,18 d	7,58±0,00 d
AP8	2,88±0,42 d	1,63±0,29 d	1,25±0,11 d	6,05±0,53 d	4,42±0,23 fg
AP9	5,79±0,65 d	3,92±0,23 d	1,88±0,42 d	10,96±0,53 d	7,04±0,30 de
AP10	4,54±0,41 d	3,21±0,41 d	1,33±0,00 d	9,71±0,30 d	6,50±0,11 def
AP11	51,29±0,76 b	33,21±1,59 b	18,25±0,59 b	74,25±0,82 b	41,04±0,76 b
AP12	186,96±1,12 a	131,54±3,95 a	55,42±5,07 a	259,13±2,89 a	127,96±1,59 a

^a Médias aritméticas simples de dez repetições ± desvio padrão, seguidas

Os resultados obtidos dos açúcares (frutose, glicose, sacarose e rafinose) dos grãos parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento estão apresentados na Tabela 13, observou-se que no tratamento AP1 a frutose teve o valor de $0,21 \text{ mg.g}^{-1}$ e houve um aumento ($p \leq 0,05$) nos tratamentos com AP3, AP5 e AP6 com os respectivos valores de $0,34$, $0,46$ e $0,61 \text{ mg.g}^{-1}$, com o uso do bissulfito de sódio os valores ficaram entre $0,34$ a $0,43 \text{ mg.g}^{-1}$, não se diferença significativa entre os tratamentos com o uso do bissulfito de sódio entre os pH.

Para os resultados de glicose, observou-se que o tratamento AP1 obteve o valor de $1,37 \text{ mg.g}^{-1}$, no tratamento AP2 houve um aumento ($p \leq 0,05$) para $1,63 \text{ mg.g}^{-1}$ quando comparado com AP1, o tratamento AP7 teve um aumento ($p \leq 0,05$) para $1,77 \text{ mg.g}^{-1}$ quando comparado como o AP1, observou que o maior valor com diferença significativa foi no tratamento AP11 com o valor de $2,01 \text{ mg.g}^{-1}$.

Para os resultados de sacarose, observou-se que o Tratamento AP1 teve o valor de $0,20 \text{ mg.g}^{-1}$ houve um aumento ($p \leq 0,05$) nos tratamentos AP4, AP5 e AP6 e os com o uso do bissulfito de sódio, os valores encontrados para o tratamento AP10, AP11 e AP12 com seus respectivamente de $0,25$, $0,34$ e $0,34 \text{ mg.g}^{-1}$.

Para os resultados de rafinose, o tratamento teve o valor de $0,14 \text{ mg.g}^{-1}$ Houve um aumento ($p \leq 0,05$) nos tratamentos AP2 e AP6 com os respectivamente valores de $0,21$ e $0,28 \text{ mg.g}^{-1}$ e houve uma redução ($p \leq 0,05$) nos tratamentos com bissulfito de sódio.

Escurecimento não enzimático tipo reação de Maillard, que envolve um complexo entre aminoácidos e açúcares redutores, pode ocorrer durante o processamento e armazenagem de alimentos (Asikin et al., 2014). O teor de frutose e glicose açúcares redutores diminuiu à medida que eles participam em reação de escurecimento tipo reação de Maillard, onde pode se observa os maiores valores de glicose nos tratamentos com bissulfito de sódio e que tiveram os grãos mais brancos como pode ser observados nas Tabelas 9 e 10

Tabela 13 - Os açúcares (frutose, glicose, sacarose e rafinose) dos grãos parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento.

Amostra	Frutose (mg.g ⁻¹)	Glicose (mg.g ⁻¹)	Sacarose (mg.g ⁻¹)	Rafinose (mg.g ⁻¹)
AP1	0,21±0,03 e	1,37±0,05 def	0,20±0,01 e	0,14±0,02 de
AP2	0,28±0,01 de	1,63±0,00 bc	0,21±0,01 de	0,21±0,01 b
AP3	0,34±0,03 cd	1,54±0,07 bcde	0,20±0,01 e	0,15±0,01 cd
AP4	0,21±0,02 e	1,34±0,02 ef	0,25±0,01 bc	0,14±0,01 cde
AP5	0,46±0,01 b	1,47±0,08 cde	0,34±0,01 a	0,16±0,00 cd
AP6	0,61±0,03 a	1,47±0,05 cde	0,34±0,01 a	0,28±0,00 a
AP7	0,40±0,03 bc	1,77±0,03 ab	0,30±0,03 ab	0,12±0,01 ef
AP8	0,43±0,02 b	1,60±0,05 bcd	0,27±0,00 bc	0,04±0,00 g
AP9	0,34±0,01 cd	1,58±0,07 bcde	0,24±0,01 cd	0,04±0,00 g
AP10	0,30±0,02 d	1,66±0,02 bc	0,26±0,01 bcd	0,11±0,01 ef
AP11	0,40±0,00 bc	2,01±0,08 a	0,24±0,02 cde	0,09±0,00 f
AP12	0,41±0,0,4 bc	1,17±0,13 f	0,23±0,01 cde	0,17±0,01 bc

* Médias aritméticas simples de dez repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05.)

Os resultados HMF (5-Hidroximetilfurfural) dos grãos parboilizados com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento estão apresentados na Tabela 14. Nos tratamentos AP1, AP2, AP3 e AP4 não se diferenciaram estatística, os valores ficaram entre 8,53 a 9,53 mg/g, nos tratamentos AP5 e AP6 se teve diferença significativa quando comparado como o AP1, os respectivos valores são de 11,50 a 18,71 mg/g. A utilização de bissulfito de sódio não se diferenciou entre a redução do pH, onde o tratamento AP7 teve o respectivo valor de 9,14 mg/g e os tratamentos AP11 e AP12 teve os respectivos valores de 13,96 a 18,48 mg/g. Uma hipótese foi que o aumento do HMF está relacionado com a redução do pH, possivelmente pela hidrólise de amido em glicose e de aminoácido que são um dos produtos que será utilizado para o formação de HMF.

O HMF pode ser formado durante o tratamento térmico, a que são submetidos durante a sua produção, no entanto, a sua concentração pode aumentar durante o armazenamento devido à oxidação do ácido ascórbico, favorecida em meio ácido, degradação de açúcares ou de reações entre açúcares e aminoácidos (Burdulu *et al.*,2006)

Tabela 14 – HMF (Hidroximetilfurfural) dos grãos parboilizado com diferentes pH e com bissulfito de sódio na água de encharcamento

Amostra	mg/g
AP1	9,22±0,30 d
AP2	9,82±0,56 d
AP3	8,53±0,57 d
AP4	9,53±0,33 d
AP5	11,50±0,60 c
AP6	18,71±0,01 a
AP7	9,14±0,22 d
AP8	8,59±0,36 d
AP9	11,96±0,53 c
AP10	9,04±0,75 d
AP11	13,96±0,26 b
AP12	18,48±0,32 a

* Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os compostos fenólicos (μg de ácido gálico. 100g^{-1}), da fração solúvel, dos grãos de arroz parboilizados com diferentes pH, estão apresentados na Tabela 15, para os tratamentos AP1 a AP5 e AP7 a AP11 os valores ficaram 59,16 a 61,42 μg de ácido gálico. 100g^{-1} , e teve um aumento significativa nos tratamentos AP6 e AP12 com o respectivos valores de 67,38 e 68,26 μg de ácido gálico. 100g^{-1} . Este aumento nos compostos fenólicos da fração solúvel está relacionada à redução de pH que teve os tratamentos AP6 e AP12 (pH 1), esta redução do pH facilitou a extração dos compostos fenólicos.

O aquecimento pode causar reações químicas e alterações físicas complexas, incluindo a liberação de ácidos fenólicos livres a partir de suas formas ligadas, degradação de polifenóis. (MASSARETTO, 2009)

Tabela 15 - Compostos fenólicos (μg de ácido gálico. 100g^{-1}), da fração solúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH

Amostra	μg de ácido gálico. 100g^{-1}
AP1	60,93 \pm 3,29b
AP2	59,32 \pm 2,94b
AP3	59,83 \pm 2,81b
AP4	59,16 \pm 2,61b
AP5	61,01 \pm 2,83b
AP6	67,38 \pm 2,07a
AP7	61,35 \pm 2,51b
AP8	60,42 \pm 2,54b
AP9	59,62 \pm 3,62b
AP10	60,32 \pm 2,63b
AP11	61,42 \pm 2,04b
AP12	68,26 \pm 2,76a

* Médias aritméticas simples de três repetições \pm desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A atividade antioxidante pelo radical ABTS* (μg de trolox. 100g^{-1}), da fração solúvel, dos grãos de arroz parboilizados com diferentes pH estão

apresentados na Tabela 16. Para os tratamentos não houve diferença na atividade antioxidante pelo radical sendo os valores entre 1,22 a 1,56 μg de trolox. 100g^{-1} , os valores foram semelhantes as encontrados por Kawassaki em arroz parboilizado,

Tabela 16 - Atividade antioxidante pelo radical ABTS* (μg de trolox. 100g^{-1}), da fração solúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH

Amostra	ABTS* (μg trolox . 100g^{-1})
AP1	1,29 \pm 0,18a
AP2	1,26 \pm 0,03a
AP3	1,32 \pm 0,12a
AP4	1,37 \pm 0,02a
AP5	1,27 \pm 0,31a
AP6	1,22 \pm 0,13a
AP7	1,41 \pm 0,10a
AP8	1,44 \pm 0,02a
AP9	1,25 \pm 0,04a
AP10	1,39 \pm 0,04a
AP11	1,40 \pm 0,03a
AP12	1,56 \pm 0,24a

* Médias aritméticas simples de três repetições \pm desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados da atividade antioxidante pelo radical DPPH da fração solúvel dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH estão apresentados na Tabela 17, observou que os tratamentos AP1 a AP5 e AP7 a AP10 tiveram os seu valores entre 22,90 a 26,87 μg trolox . 100g^{-1} , nos tratamentos AP6, AP11 e AP12 com os seus respectivos valores de 35,30 30,58 e 34,38 μg trolox . 100g^{-1} que se diferenciaram dos demais tratamentos

Tabela 17 - Atividade antioxidante pelo radical DPPH* (μg de trolox. 100g^{-1}), da fração solúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH

Amostra	DPPH* (μg trolox . 100g^{-1})
AP1	26,10 \pm 1,51 c
AP2	26,51 \pm 3,16 c
AP3	26,12 \pm 0,56 c
AP4	25,20 \pm 0,75 c
AP5	24,47 \pm 3,24 c
AP6	35,30 \pm 1,34 a
AP7	24,34 \pm 1,33 c
AP8	26,18 \pm 0,48 c
AP9	26,87 \pm 0,69 c
AP10	22,90 \pm 5,31 c
AP11	30,58 \pm 1,31 b
AP12	34,38 \pm 0,50 a

* Médias aritméticas simples de três repetições \pm desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os compostos fenólicos (μg de ácido gálico. 100g^{-1}), da fração insolúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH estão apresentados na Tabela 18, observou-se que para os tratamentos de AP1 a AP11 os valores ficaram entre 14,62 a 18,42 μg de ácido gálico. 100g^{-1} observou que o tratamento AP12 apresentou o valor de 16,62 μg de ácido gálico. 100g^{-1} esta redução dos compostos fenólicos na fração insolúvel quando comparado com os outros tratamentos, está atribuído a o pH 1 do tratamento AP12, que facilitou a extração dos compostos fenólicos na fração solúvel. Os valores encontrados de compostos fenólicos são semelhantes aos encontrados por Alves et al.,(2016).

Tabela 18 - Compostos fenólicos (μg de ácido gálico. 100g^{-1}), da fração insolúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH

Amostra	μg de ácido gálico. 100g^{-1}
AP1	18,25 \pm 1,62a
AP2	17,28 \pm 1,27a
AP3	18,21 \pm 2,04a
AP4	18,32 \pm 1,83a
AP5	17,83 \pm 1,59a
AP6	14,62 \pm 2,63ab
AP7	18,35 \pm 2,05a
AP8	17,93 \pm 2,62a
AP9	17,63 \pm 2,72a
AP10	18,42 \pm 2,41a
AP11	17,83 \pm 1,93a
AP12	13,62 \pm 2,03b

* Médias aritméticas simples de três repetições \pm desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados da atividade antioxidante pelo radical ABTS* (μg de trolox. 100g^{-1}), da fração insolúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH estão apresentados na Tabela 19 que nos tratamentos AP1 a AP5 e AP7 a AP11 os valores ficaram entre 0,25 a 0,28 μg trolox . 100g^{-1} e teve uma redução significativa nos tratamentos AP6 e AP12 com os respectivos valores de 0,21 e 0,21 μg de trolox. 100g^{-1} . Esta redução está relacionada com os tratamentos com pH 1, com a redução do pH na água de encharcamento favoreceu o rompimento de ligações que os compostos com atividade antioxidante ABTS que tinham com proteínas, lipídios e os carboidratos assim facilitando a extração na fração solúvel e reduzindo a fração insolúvel.

Tabela 19 - Atividade antioxidante pelo radical ABTS* (μg de trolox. 100g^{-1}), da fração insolúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH

Amostra	ABTS(μg trolox . 100g^{-1})
AP1	0,27 \pm 0,01a
AP2	0,27 \pm 0,02a
AP3	0,28 \pm 0,02a
AP4	0,28 \pm 0,02a
AP5	0,26 \pm 0,01a
AP6	0,21 \pm 0,02b
AP7	0,28 \pm 0,02a
AP8	0,27 \pm 0,03a
AP9	0,26 \pm 0,01a
AP10	0,26 \pm 0,02a
AP11	0,25 \pm 0,01a
AP12	0,21 \pm 0,01b

* Médias aritméticas simples de três repetições \pm desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados da atividade antioxidante pelo radical DPPH da fração insolúvel dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH estão apresentados na Tabela 20, observou que o os tratamentos AP1 a Ap5 e AP7 a AP10 os valores ficaram entre 5,72 a 6,17 μg trolox . 100g^{-1} e teve uma diferença significativa nos tratamentos AP6 e AP12 quando comparado com os demais tratamentos com os respectivos valores de 3,65 e 3,82 DPPH* (μg trolox . 100g^{-1})

Tabela 20 - Atividade antioxidante pelo radical DPPH* (μg de trolox. 100g^{-1}), da fração insolúvel, dos grãos de arroz parboilizado com diferentes pH

Amostra	DPPH(μg trolox . 100g^{-1})
AP1	6,03 \pm 0,84a
AP2	6,08 \pm 0,92a
AP3	6,16 \pm 0,62a
AP4	5,89 \pm 0,74a
AP5	5,76 \pm 0,63a
AP6	3,65 \pm 0,54b
AP7	5,72 \pm 0,74a
AP8	6,07 \pm 0,42a
AP9	6,17 \pm 0,68a
AP10	5,72 \pm 0,47a
AP11	4,01 \pm 0,69ab
AP12	3,82 \pm 0,51b

* Médias aritméticas simples de três repetições \pm desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

3.4 Conclusão

Redução do pH na água de encharcamento provoca diminuições no tempo de hidratação do arroz, no rendimento de grãos inteiros, na intensidade de coloração dos grãos, no tempo de cocção, na dureza e no pH dos grãos, com alterações no perfil viscoamilográfico e aumento no teor de hidroximetilfurfural.

O uso de bissulfito de sódio diminui a intensidade da coloração dos grãos, reduz o tempo de cocção e não altera a solubilidade proteica, as propriedades de pasta, o teor de hidroximetilfurfural e nem o teor dos açúcares.

4. Estudo 2 - Microestrutura do arroz indica e japônica influencia sua digestibilidade do amido: um estudo usando um simulador de digestão humana

4.1 Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L) é uma das culturas mais importantes do mundo é um alimento básico de mais da metade da população mundial, especialmente dos países asiáticos (Hu et al., 2004). Indica e japônica são duas subespécies principais do arroz que são cultivadas para consumo humano. Estes tipos de arroz têm diferenças em suas características morfológicas e agrônômicas, mas também em suas características fisiológicas e bioquímicas (YANG et al, 2014).

O principal constituinte do arroz branco é o endosperma rico em carboidratos, composto de mais de 90% de amido (ZHOU et al 2002). Alimentos ricos em carboidratos, como o arroz, geralmente têm alto índice glicêmico (GI), isto é, liberação rápida de glicose durante a digestão no intestino delgado (MILLER et al., 1992). A ingestão desse tipo de alimento, de forma regular, está relacionada ao diabetes tipo II e as doenças cardiovasculares (LEHMANN e ROBIN, 2007). No entanto, a digestão de alimentos ricos em carboidratos, mas com baixa digestibilidade ou digestibilidade mais lenta, pode diminuir o desejo de comer novamente e, além disso, causar vários benefícios à saúde (SINGH, DARTOIS e KAUR, 2010).

Muitos estudos *in vitro* e *in vivo* foram realizados nos últimos anos, para avaliar a digestibilidade de grãos de arroz (YE et al., 2018; TAMURA et al., 2017; TAMURA et al., 2016a, 2016b; KONG et al., 2011; Zhu et al., 2011; SASAKI et al., 2009; HU et al., 2004; PANLASIGUI et al., 1991). A variação na digestibilidade do amido do arroz foi atribuída a variações nas propriedades físicas dos grãos (KONG et al., 2011), composição química, incluindo o conteúdo de amilose (HU et al., 2004; Zhu et al., 2011), lipídios e conteúdo proteico (Hu et al., 2016). Durante a preparação, cozimento ou processamento, ocorrem mudanças na estrutura do arroz, que por sua vez alteram as características nutricionais, incluindo a digestibilidade do amido. A composição química e as interações dos ingredientes que ocorrem durante o processamento também afetam a digestibilidade do amido (DARTOIS et al., 2010; SINGH et al., 2010; BERG et al., 2012).

Para investigar a digestibilidade dos carboidratos, modelos animais e modelos *in vitro* são utilizados; os últimos foram desenvolvidos como modelos de digestão gastrointestinal simulados em bancada. Geralmente, a abordagem *in vitro* consiste em duas fases: a primeira para simular condições digestivas do estômago; e segundo condições intestinais simulando o intestino delgado (DARTOIS et al., 2010). No entanto, a digestão oral geralmente não é considerada em estudos *in vitro* para alimentos com partículas muito pequenas, como amidos e farinhas (ENGLYST et al., 1992). Um estudo recente realizado por Tamura et al. (2017) verificou o efeito da inclusão de uma fase de digestão oral na digestão de arroz *in vitro*. Eles concluíram que, como a α -amilase salivar afetou a cinética da digestão total do amido *in vitro*, pode influenciar os níveis de glicose em humanos.

Múltiplos esforços têm sido feitos para desenvolver um sistema de digestão *in vitro* que se pareça muito com condições gastrointestinal humanas. Um sistema multicompartimentos foi desenvolvido por Blanquet-Diot et al., (2009) que mimetiza as condições dinâmicas do estômago e intestino delgado, incluindo pH, temperatura e enzimas. Mercuri et al. (2008) projetaram um sistema gástrico que simula as secreções gástricas e a digestão mecânica do estômago. Kong & Singh (2010) criaram um modelo de digestão gástrica que simula movimentos peristálticos das paredes do estômago, simulando as contrações relatadas em estudos *in vivo*. No entanto, não há relatos disponíveis na literatura sobre a digestão do amido no intestino delgado usando dispositivos que criam movimentos mecânicos durante a digestão do intestino delgado. Além disso, a digestibilidade do amido do arroz japônica e indica não foi devidamente comparada na literatura. Assim, este estudo teve como objetivo utilizar um sistema que simula as condições gástricas e do intestino delgado, incluindo movimentos mecânicos para estudar a digestão do amido em arroz japônica e indica. Composição química, teor de amilose, tempo de cozimento, dureza, propriedades térmicas e morfologia dos grãos também foram investigados.

4.2 Material e método

4.2.1 Material

Pepsina (800-2500 U / mg proteína, mucosa gástrica suína), invertase (invertase, grau VII de levedura de padeiro, 401 U / mg sólido) e pancreatina (pâncreas de porco, 4 USP) foram comprados da Sigma-Aldrich Ltda. (Se Louis, EUA). Amiloglucosidase (3260 U / mL) foi adquirida à Megazyme International Ireland Ltd. (Irlanda). Arroz Indica, grão longo branco do Brasil (Polisul, Pelotas, Brasil) e arroz japônica, grão branco curto da Tailândia (Royal Umbrella, Bangkok, Tailândia) foram comprados em um mercado local na Nova Zelândia.

4.2.2 Composição química e teor de amilose

Para a determinação da composição química, os grãos de arroz foram moídos utilizando-se um moinho de laboratório (Perten 3100, Perten Instruments, Suécia) para reduzir as partículas a 35 mesh e para o teor de amilose a 100 mesh. O teor de umidade do arroz foi avaliado por secagem em estufa a 105 ± 3 °C por 24 h, com circulação de ar (American Society of Agricultural Engineers, 2000). O teor de umidade foi expresso como porcentagem (%) de perda de peso dos grãos durante a secagem. O teor de lipídeo, cinzas e de proteína foi determinado seguindo os métodos AACC 30-20, 08-01 e 46-13, respectivamente (AACC, 1995). Utilizou-se um fator de conversão de azoto para proteína de 5,95 para calcular o teor de proteína. O teor de carboidratos foi expresso como diferença dos demais constituintes e expresso em porcentagem (%). Todos os resultados são expressos como base seca.

Para determinação do teor de amilose, os grãos de arroz foram moídos com diâmetro menor que 100 mesh (0,149 mm) e previamente desengordurados. O teor de amilose foi determinado pelo método colorimétrico com iodo, conforme descrito por McGrane et al. (1998).

4.2.3 Tempo de cocção, dureza e dimensões

O tempo ótimo de cocção do arroz foi determinado pelo teste de Ranghino (MOHAPATRA e BAL, 2006). Dez (10) gramas de amostra de arroz foram colocados na água fervente (98 ± 1 °C) em bécker contendo 100 mL de água destilada. A medição do tempo de cozimento foi iniciada após 10 min e a cada minuto a partir de então. Dez grãos de arroz foram retirados e prensados entre

duas placas de vidro para avaliar sua extensão de cozimento. O tempo final de cozimento foi registrado quando pelo menos 90% dos grãos não tinham mais um núcleo não cozido opaco.

A análise do perfil de textura (TPA) foi realizada em arroz cozido usando um analisador de textura (TA-XT2, Texture Technologies Corp., UK) de acordo com o método de Paiva et al. (2016). As amostras de arroz foram cozidas como descrito acima, até que o núcleo branco desapareceu. O arroz foi passado através de um filtro para remover o excesso de água. Três grãos de arroz foram comprimidos até 90% da sua espessura original utilizando uma sonda de 20 mm de centímetro. Foram utilizadas velocidades de pré-teste e pós-teste de 1 mm.s^{-1} e uma velocidade de teste de $5,0 \text{ mm.s}^{-1}$. Dureza (N), adesividade (N), elasticidade (mm), coesividade e gomosidade (N) foram registrados e determinada a partir da curva de teste, como a força máxima de compressão.

As dimensões do grão foram feitas usando paquímetro digital. Comprimento, largura e espessura foram medidos e os resultados foram expressos em mm.

4.2.4 Propriedades térmicas (DSC)

As propriedades térmicas das farinhas de arroz foram determinadas utilizando calorímetro diferencial de varredura (DSC, modelo 2010, TA Instruments, New Castle, EUA) como descrito por Colussi et al. (2014). Amostras de farinha de arroz (aproximadamente 1,25 mg, base seca) foram pesadas numa panela de alumínio. Adicionou-se água destilada para obter uma proporção de amido para água de 1: 3 (p / p). O recipiente foi hermeticamente selado e equilibrado durante vinte e quatro horas a 20°C antes de aquecer de 30 a 120°C a uma taxa de $10^\circ \text{C} / \text{min}$. Uma panela vazia foi usada como referência. As temperaturas no início (T_0), pico (T_p) e final (T_c) da gelatinização; e a variação de entalpia (ΔH) de gelatinização foi determinada.

4.2.5 Digestão *in vitro* oral e gastrointestinal

O arroz indico e japonica foram cozidos em uma panela elétrica (Kambrook rice express), usando uma proporção de 1: 2,5 (arroz: água), e o tempo de cozimento descrito na seção 2.4. Imediatamente após o cozimento, 30

g de arroz foram adicionados no simulador de digestão humana. O dispositivo era composto por uma bolsa de látex acoplada a um sistema de polias que é responsável por fornecer os movimentos peristálticos nas laterais da bolsa. O dispositivo foi ajustado para uma frequência de 1 ciclo a cada 2,33 minutos (FERRUA e SINGH, 2015). Foi acoplado a um sistema de aquecimento responsável por manter as condições de temperatura a 37 ± 1 ° C. Os grãos de arroz foram digeridos por 2 min em solução, contendo α -amilase, NaHCO_3 , NaCl , KCl e esmagados manualmente entre duas placas por 5 vezes para simular a digestão oral (TAMURA et al., 2017). A digestão gastrointestinal foi realizada como descrito por Dartois et al., (2010) utilizando fluidos simulado gástrico (SGF) e intestino delgado (SIF), preparados de acordo com PHARMACOPEIA, 2000. Para a digestão gástrica, o pH foi ajustado para 1,2 e a pepsina contendo SGF foi então adicionada para iniciar a hidrólise. Durante esta etapa, o pH foi mantido a $1,2 \pm 0,1$ com o auxílio NaOH 0,5 M ou HCl 0,5 M utilizando para controlador o pH. Após 30 min de digestão, o pH foi alterado para 6,8 utilizando NaOH 1 M para inativar a pepsina. O fluido intestinal simulado (SIF), contendo pancreatina, amiloglucosidase e invertase, foi adicionado à mistura de reação para simular a digestão do intestino delgado. Alíquotas (0,5 mL) foram tomadas após 2 min de digestão oral (S2), 0, 30 e 60 min durante a etapa de digestão gástrica (G0, G30 e G60) e 0, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 e 240 min durante no intestino delgado (I0, I5, I10, I15, I30, I60, I90, I120, I150, I180, I210 e I240). As alíquotas foram colocadas com etanol absoluto (2 mL) para parar a reação e centrifugadas a $1800 \times g$ durante 10 min. Foram coletados (0,1 mL) e adicionado em uma solução de tampão acetato contendo amiloglucosidase e invertase e incubada a 37 °C em 10 min. A glucose libertada foi quantificada utilizando o ensaio D-glucose (GOPOD-FORMAT, K-GLUC 05/2008, Megazyme International Ireland Ltd., Irlanda). Os resultados foram expressos em % de hidrólise do amido usando a seguinte equação:

$$\begin{aligned} \%S_H &= \frac{Sh}{Si} \\ &= 0.9 \times \frac{Gp}{Si} \end{aligned}$$

Onde $\%S_H$ é a porcentagem de hidrólise do amido total, Sh a quantidade de amido hidrolisado, Si é a quantidade inicial de amido (g) e Gp é a quantidade

de glicose produzida (g). Foi utilizado um fator de conversão de amido para glicose de 0,9 que é calculado a partir do peso molecular do monômero de amido / peso molecular de glicose ($162/180 = 0,9$) (DARTOIS et al., 2010).

4.2.6 Morfologia (SEM)

Amostras de arroz em grãos cozidos que passaram pela etapa de digestão, como mencionado na seção 4.2.5, (60 min de digestão gástrica, 15, 60, 120 e 240 min da digestão do intestino delgado) foram coletadas, congeladas em nitrogênio líquido e liofilizadas. As amostras liofilizadas foram colocadas diretamente na superfície do stub. As amostras foram banhadas a ouro e examinadas sob um microscópio eletrônico de varredura a uma tensão de aceleração de 20 kV.

4.2.7 Distribuição de tamanho de partícula

Amostras de arroz indico e japônica foram coletadas durante o processo de digestão *in vitro* (60 min de digestão gástrica (G 60), 15, 60, 120 e 240 min de digestão intestinal (I 15, I 60, I 120 e I 240).). Mudanças de tamanho de partícula das diferentes partes do grão, durante o período de digestão, foram determinadas usando um analisador de tamanho de partícula por difração a laser (Malvern Mastersizer 2000, Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, United Kingdom).

4.2.8 Análise estatística

Os dados relatados são medias em triplicatas, exceto para a perfil de textura onde 10 repetições foram feitas. ANOVA e teste de Tukey foram utilizados para analisar a significância das diferenças ($p < 0,05$), utilizando o software estatístico Assistat (Brasil) (SILVA e AZEVEDO, 2016).

4.3 Resultados e discussões

A Tabela 21 mostra a composição química do arroz indico e japônica. A diferença significativa observada entre os teores de proteínas, cinzas e lipídios está relacionada às características intrínsecas e extrínsecas dos genótipos. Chung et al. (2010) relataram que o amido total em grãos de arroz cozidos de cultivares comercialmente disponíveis no Canadá variou de 86,7% a 89,5%.

Nesta pesquisa variou de 80,61% a 81,23% para o arroz indico e japonico, respectivamente. Houve uma diferença significativa ($P > 0,05$) no teor de amilose (Tabela 21), com o arroz indico apresentando maior teor de amilose que o arroz japônica. O tempo de cocção foi de 16,42 e 19,73 min para o arroz indico e japônica, respectivamente. O arroz indico apresentou uma textura mais firme nos grãos de arroz cozidos quando comparado com o japonico, a dureza 51.27 N, adesividade -164.96 N, elasticidade 0.36 mm, coesividade 0.35 e a gomosidade 17.92 para o arroz indico a dureza de 34.13 N, adesividade -322.44 N, elasticidade 0.22 mm, coesividade 0.30 e gomosidade 10.34 N para o arroz japonico. Isso indica que o teor de amilose afeta a dureza do arroz cozido (Gayin *et al.*, 2017). Segundo Yu, Ma & Sun,(2009) a amilose durante o cozimento vaza do grão formando um película que reveste ele, e a amilose no grão retrograda mais rápido quando comparação com a amilopectina resultando em uma textura mais firme dos grãos de arroz cozidos. A diferença nos teores de proteína e amilose pode afetar a textura dos grãos após o cozimento. As dimensões de comprimento, largura e espessura foram de 7,09, 2,08 e 1,74 mm para o arroz indico e de 4,89, 2,88 e 2,03 mm para o arroz japonico. As dimensões dos grãos também são um fator que afeta o tempo de cozimento do arroz. Maior distância do centro do grão tende a aumentar o tempo de cozimento do grão de arroz e junto com uma matriz de proteína mais forte dificultando a absorção de água, e aumentando assim o tempo de cozimento do arroz.

Tabela 21 - Composição química, teor de amilose (%), tempo de cocção (min), perfil de textura e dimensões (mm) dos grãos de arroz indico e japonico.

Evaluation ^a	Indico	Japônico
Arroz cru		
Umidade (%)	12,63±0,37	13,03±0,51
Amido total (%)	80,61±0,63	81,23± 0,85
Proteína (%)	6,00±0,14	5,24±0,16*
Cinzas (%)	0,34±0,01	0,30±0,08*
Lipídeos (%)	0,42±0,07	0,24±0,04*
Amilose (%)	20,6±0,4	15,2±0,3 *
Comprimento (mm)	7,09±0,44	4,89±0,28 *
Largura (mm)	2,08±0,08	2,88±0,16 *
Espesura (mm)	1,74±0,08	2,03±0,14 *
Arroz cozido		
Tempo de cocção (min)	16,42±0,12	19,73±0,81 *
Dureza (N)	51,27±3,83	34,13±4,29 *
Adesividade (N.s)	-164,96±58,08	-322,44±69,07 *
Elasticidade (mm)	0,36±0,05	0,22±0,02 *
Coesividade	0,35±0,02	0,30±0,02
Gomosidade (N)	17,92±2,16	10,34±1,68 *

^a Meios aritméticos simples de três repetições ± desvio padrão, seguidos de * diferem na mesma linha pelo teste T (p≤0,05).

A Figura 6 mostra as propriedades térmicas das farinhas de arroz japonico e indico determinadas por calorimetria diferencial de varredura. Todas as temperaturas de gelatinização (T_o , T_p , T_c) foram maiores para as farinhas de arroz japonico. As maiores diferenças foram encontradas para T_p , que o arroz indico mostrou 66,96 °C e o japonico 71,62 °C, e T_c do arroz indico apresentou 73,5 °C e o japonico 7,29 °C. Colussi et al. (2014) estudaram o amido de arroz com diferentes níveis de amilose e relataram que não houve diferença nas temperaturas de gelatinização dos amidos de arroz em função do teor de amilose. No entanto, eles relataram um aumento significativo na entalpia de gelatinização (ΔH) com uma redução no teor de amilose. No presente estudo, a entalpia de gelatinização mostrou um ligeiro aumento no arroz japonico, que apresentou menor teor de amilose que o arroz indico. O arroz japonico apresentou maior tempo de cocção que o arroz indico, o que pode ser confirmado pela maior ΔH (7,27 J.g-1 para o japonico comparado a 6,05 J.g-1 o do indico). Diferenças nas propriedades térmicas podem ser atribuídas, em parte, ao conteúdo de amilose e amilopectina (ZHU et al., 2011). Os parâmetros das propriedades térmicas foram relatados como relacionados à distribuição de cadeias de amilopectina, especialmente as mais curtas que estão presentes na região cristalina do grânulo de amido (WANG et al., 2015; TIKAPUNYA et al., 2017).

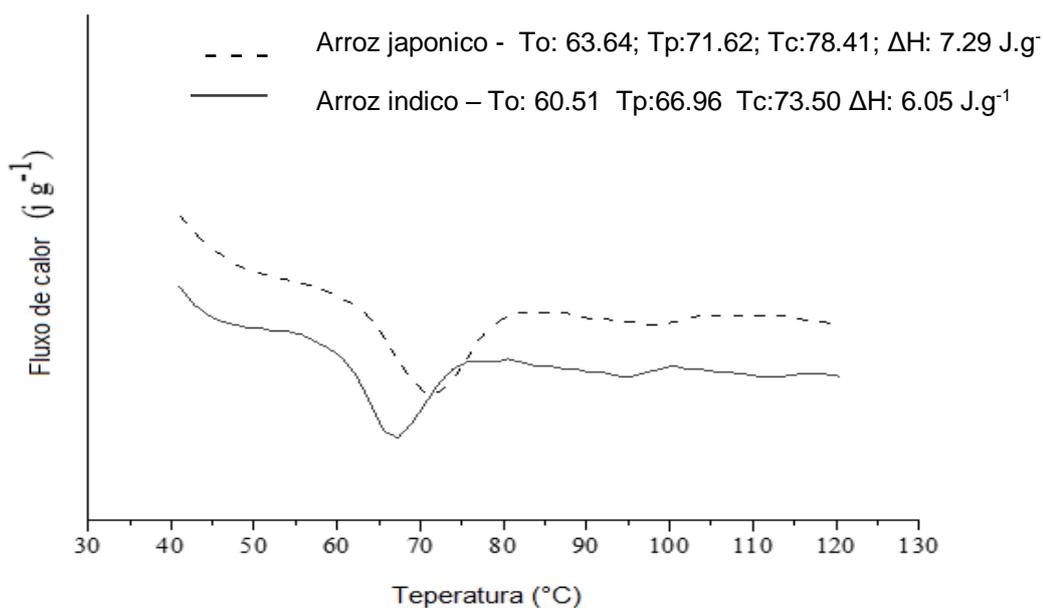


Figura 6. Propriedades térmicas das farinhas de arroz japonico e indico determinadas por calorimetria diferencial de varredura.

No presente estudo, foram observadas diferenças entre o arroz indico e japonico sobre a digestibilidade do amido e a cinética de liberação de glicose usando um simulador de digestão humana equipado para imitar a digestão química e mecânica dos alimentos (Figura 7). Durante a digestão simulada por via oral (Figura 7) a liberação de glicose foi muito baixa (0,005% e 0,002%) para arroz japonico e indico, respectivamente. Da mesma forma, após 60 min da digestão gástrica, a liberação de glicose foi de aproximadamente 0,46% e 0,49% para o arroz japonico e indico. A baixa ou nenhuma liberação de glicose durante o estágio gástrico é atribuída principalmente à inativação da amilase salivar, uma vez para sua ativação é em torno do pH 3 (TAMURA et al, 2017; BERG et al., 2012).

O baixo pH do fluido gástrico auxilia na degradação da textura do arroz e auxilia na ação de proteases, que atuam em pH baixos, que posteriormente, no intestino delgado facilitarão o processo de digestibilidade do amido (KONG, OZTOP, SINGH e MCCARTHY, 2011). Após a adição de fluido intestinal simulado (IO), os valores de digestibilidade aumentaram imediatamente para 6,94% e 20,42% para arroz indico e japonico, respectivamente. O arroz indico

apresentou uma liberação de glicose mais lenta no início da digestão intestinal em comparação ao arroz japonico. A menor digestibilidade do arroz indico pode estar relacionada a diversas interações entre os constituintes dos grãos que reduziram a ação enzimática. Ye et al. (2018) relataram que o conteúdo de lipídios e proteínas no endosperma dos grãos de arroz reduzindo a digestibilidade do amido. Segundo Tamura et al. (2016), proteínas e lipídios em células de grãos de arroz cozidos dificultam a penetração do líquido intestinal, protegendo os materiais amiláceos em seu endosperma durante os estágios de digestão do intestino delgado. O arroz indico tem 15% mais proteína e 75% mais lipídios comparado ao arroz japonico. Estas diferenças na composição podem ajudar a reduzir a capacidade que as amilases digestivas se ligarem à superfície do amido e, assim, reduzido a taxa de libertação de glucose.

O teor de amilose também tem sido relatado para influenciar grandemente a digestibilidade do amido (HU et al., 2004 BRID et al., 2009; SASAKI et al., 2009; SHRESTHA et al., 2010). Zhu et al. (2011) relataram que os grãos de arroz com níveis médios de amilose (16,1% e 22,5%) apresentam cadeias mais longas de amilose e amilopectina, que têm a capacidade de formar hélices duplas mais estáveis e uma região cristalina mais forte que reduz a suscetibilidade enzimática. A menor digestibilidade observada para o arroz indico pode estar relacionada ao teor de amilose. A literatura relata que cereais com alto teor de amilose, como milho e cevada com 80% de amilose, são menos suscetíveis a enzimas amilolíticas em comparação com variedades selvagens, principalmente devido à interação de amilose com cadeias ramificadas de amilopectina mais longas que fortalecem a estrutura granular (BRID et al., 2009; SASAKI et al., 2009; SHRESTHA et al., 2010; ZHU et al., 2011).

O comprimento das cadeias de amilopectina tem um papel importante na digestibilidade do amido. Estudos relataram que cadeias mais curtas de amilopectina tendem a liberar glicose mais rapidamente durante a digestão. Essa liberação maior ocorre quando a amiloglucosidase atua quebrando as ligações α (1 \rightarrow 6) da amilopectina, facilitando assim a ação da α -amilase que atua exclusivamente na quebra das ligações α (1 \rightarrow 4). Zhu et al. (2011) estudaram diferentes genótipos de arroz com diferentes níveis de amilose e descobriram que o amido de arroz com maior teor de amilose tem o maior número de cadeias mais longas de amilopectina. Os grãos de arroz após digestão intestinal no

modelo mecânico (I 240) atingiram 90% e 89% de amido hidrolisado para arroz indico e japonico, respectivamente. Apesar de ambos os arroz terem valores similares de hidrólise do amido final na digestão, o arroz indico apresentou menor taxa de hidrólise digestão simulada no intestino delgado. A liberação mais lenta de glicose durante a digestão pode refletir um prolongamento da saciedade ou a vontade de comer novamente.

Estudos utilizando abordagens *in vivo* para analisar a digestibilidade do amido de arroz japonico e indico também foram realizados. Hung, Chau e Phy, (2016) estudaram a digestibilidade *in vitro* e a resposta *in vivo* da glicose de amidos de arroz nativos e modificados fisicamente, variando os teores de amilose. Os autores verificaram que tanto *in vitro* como *in vivo*, com o aumento do teor de amilose, houve aumento no teor de amido de baixa digestibilidade e amido resistente, bem como redução no índice glicêmico.

Panlasigui et al. (1991) estudando variedades de arroz com conteúdo similar de amilose diferem na digestibilidade do amido e a resposta glicêmica em humanos demonstrou que o conteúdo de amilose isolado não é um bom precursor da digestibilidade do amido e da resposta glicêmica. Variedades de arroz com teores semelhantes de amilose podem diferir nas propriedades físico-químicas e isso, por sua vez, pode influenciar a taxa de digestão do amido e a glicose no sangue. Boers, Hoorn e Mela (2015) observam que, embora a categoria de arroz possa ser um dos principais contribuintes globais para a carga glicêmica da dieta, há uma ampla variação nas respostas glicêmicas ao arroz consumido. Eles também mencionam que isso pode ser atribuído em grande parte às características inerentes do amido de cultivares específicas; no entanto, dentro de um determinado tipo de arroz, o modo de processamento e preparação pós-colheita também pode ter uma grande influência.

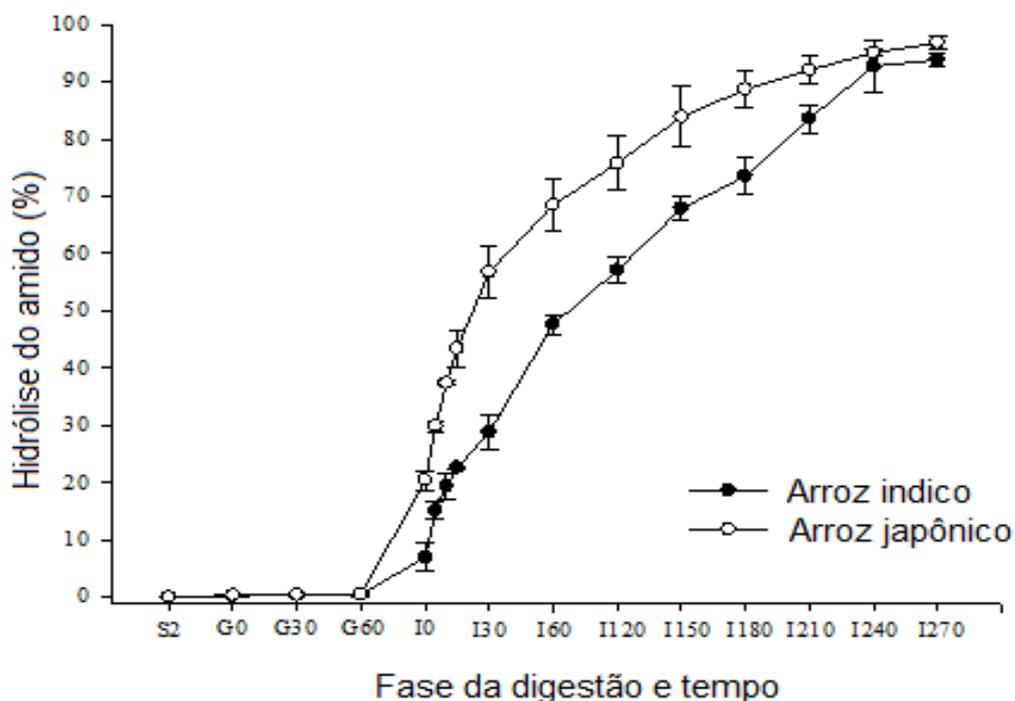


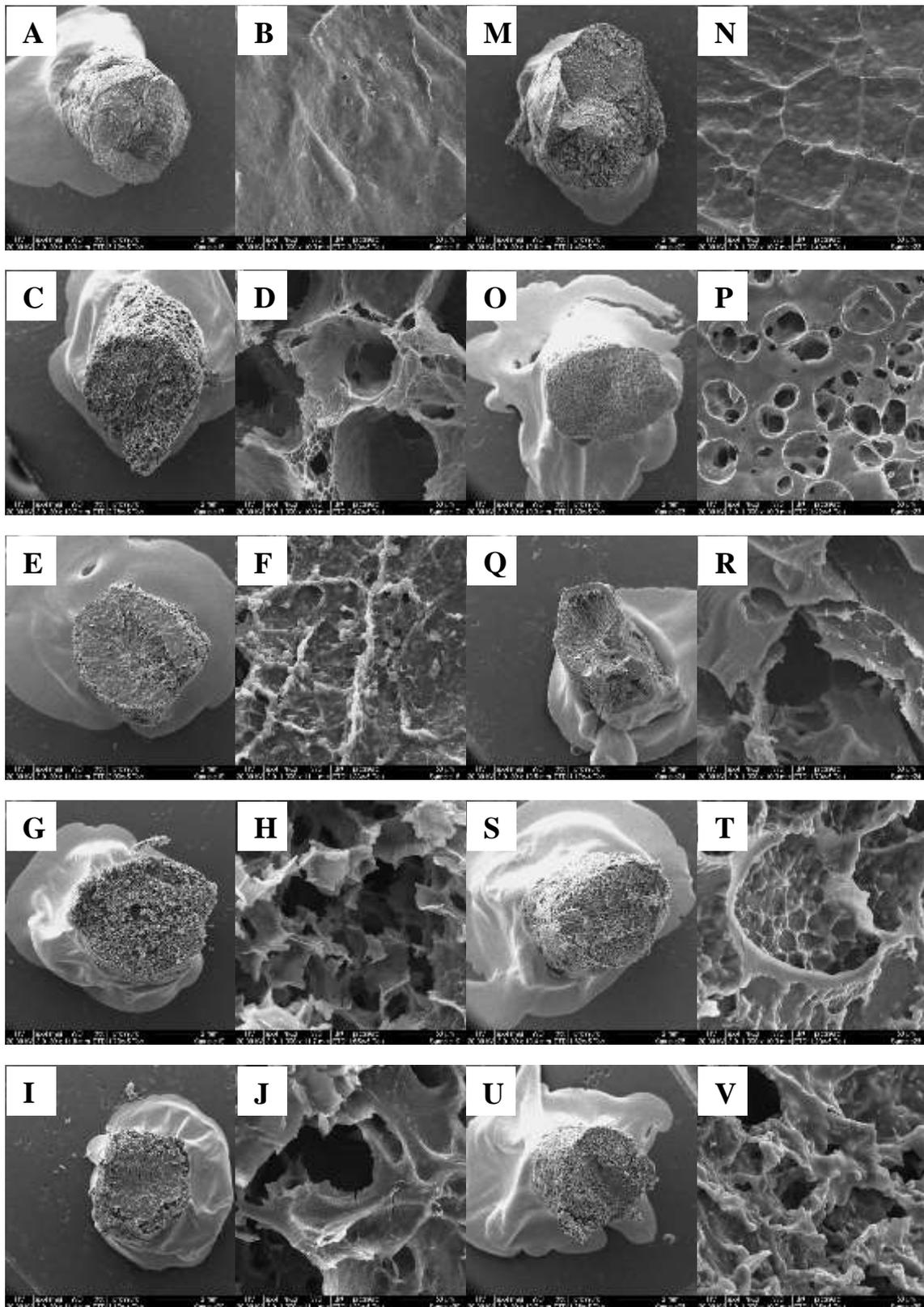
Figura 7 - Hidrólise do amido (%) dos grãos de arroz indico e japonico durante a digestão *in vitro* do amido. Barras representam o desvio padrão (n = 3). S: digestão oral simulada (2 min). G: digestão gástrica simulada 0, 30 ou 60 min, I: digestão gástrica simulada seguida de simulação do intestino delgado 0, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 ou 240 min.

Durante experimentos *in vitro* de digestão do amido, amostras dos grãos foram coletadas em diferentes tempos de digestão (Figura 7). As Figuras 3A e 3B representam arroz indico e a Figura 3M e 3N representam grãos de arroz japonico antes da digestão *in vitro*. É possível observar as paredes celulares e os detalhes estruturais dos grãos intactos preenchidos com amido e material lixiviado em torno dos grãos. As Figuras 3C, 3D, 3O e 3P mostram os grãos que passaram pelas etapas de digestão oral e gástrica simuladas. Nesta etapa, foi possível observar uma estrutura mais aberta (maior espaçamento na estrutura dos grãos), possivelmente devido à ação das amilases salivares e posterior quebra das proteínas estruturais dos grãos por proteases, e também através da

ação de pH ácido (desnaturando proteínas) e pelos movimentos mecânicos produzidos pelo simulador de digestão. À medida que a digestão progrediu, os grãos de arroz perderam a integridade estrutural da parede celular. Após 120 min da digestão, pode-se observar que o resíduo de grãos de arroz cozidos consiste principalmente em materiais da parede celular e células indigeríveis (ALMINGER et al., 2012; TAMURA et al., 2016a, 2016b).

Durante a fase gástrica da digestão, os grãos japônicos cozidos apresentaram morfologia mais compacta que o arroz indico, o que pode ser atribuído à textura mais dura do arroz japonês. Isso pode ter retardado a difusão do suco gástrico no seu endosperma rico em amido. No entanto, durante o início e a fase intermediária da digestão do intestino delgado, os grãos indico apresentaram microestrutura mais compacta do que os grãos de arroz japonês. Isso pode ser atribuído à presença de complexos amilose-lipídios no arroz indico, que são mais difíceis de hidrolisar durante a digestão pelas amilases. Foi relatado que os complexos de inclusão de amilose-lipídeo retardam a hidrólise do amido (SINGH et al., 2010).

No final da fase de digestão do intestino delgado, a microestrutura de grãos de ambos os tipos de arroz exibiu morfologia quase similar. Apesar de altamente digerido, os grãos residuais de arroz de alguma forma mantiveram a forma mesmo após os 240 min de digestão (I 240). Durante a digestão intestinal simulada, a glicose é liberada pela ação das enzimas amilases (Figura 7). Aliado à ação das enzimas, os movimentos da máquina que simulam os movimentos peristálticos do intestino delgado levaram à perda da estrutura celular, como pode ser visto na Figura 3 (K, L, W e X) após 240 min. de digestão (I 240).



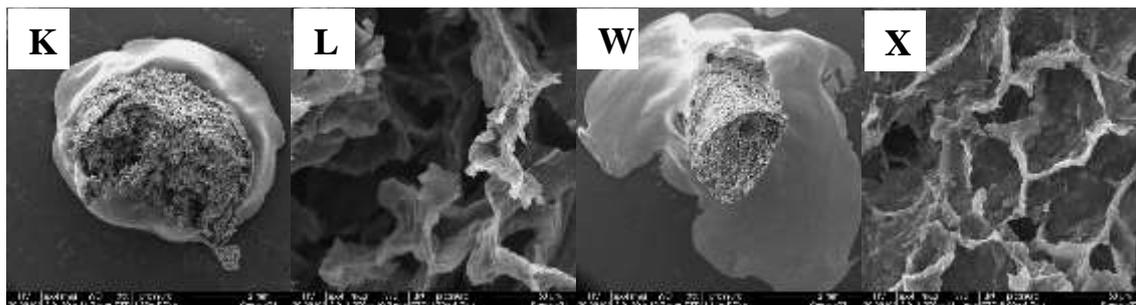


Figura 7 - Alterações nas características estruturais dos grãos de arroz indico e japonico durante a digestão *in vitro* de amido. Arroz indico antes (A-B) e após 60 min de gástrico (C-D); 60 min de digestão gástrica mais 15 (E-F), 60 (G-H), 120 (I-J) e 240 (K-L) min de digestão no intestino delgado. Arroz japonico antes (M-N) e após 60 min de gástrico (O-P); 60 min de digestão gástrica mais 15 (Q-R), 60 (S-T), 120 (U-V) e 240 (W-X) min de digestão no intestino delgado.

Mudanças no tamanho das partículas têm sido usadas como parâmetro principal para monitorar o processo de digestão (CHEN et al., 2011). A distribuição do tamanho das partículas e o tamanho médio das partículas do arroz foram medidos durante o processo de digestão (Tabela 22, Figura 9). Os $D(3,2)$ e $D(4,3)$ representam os diâmetros médios de área e volume, respectivamente. Os $d(0,1)$, $d(0,5)$ e $d(0,9)$ representam o número de grãos de arroz que são menores (isto é, 10, 50 e 90%, respectivamente) do que as partículas médias na amostra.

O $D(4,3)$ aumentou com a passagem da digestão gástrica para a digestão no intestino delgado nas duas cultivares de arroz estudadas. Houve uma variação significativa no tamanho das partículas durante a digestão. Após a digestão gástrica (G60), observou-se um pico da distribuição em torno de 100 μm . No entanto, após o início da digestão do intestino delgado, esse pico foi distribuído em dois, com tamanho de partícula menor e maior do que o obtido para o G60. Com o passar do período de digestão, o tamanho das partículas tornou-se menor, principalmente devido à ação de enzimas nas macromoléculas dos grãos.

A mediana do diâmetro, $d(0,5)$ (o tamanho em que 50% das partículas em volume são menores e 50% maiores) foi mais alta para I-15 em arroz índico, e mais alta para todos os estágios de digestão do intestino delgado para arroz japonico. A variação na distribuição do tamanho das partículas de arroz indico e

japônico também pode ser atribuída a diferenças nos padrões de inchaço dos amidos, principalmente devido à variação no teor de amilose.

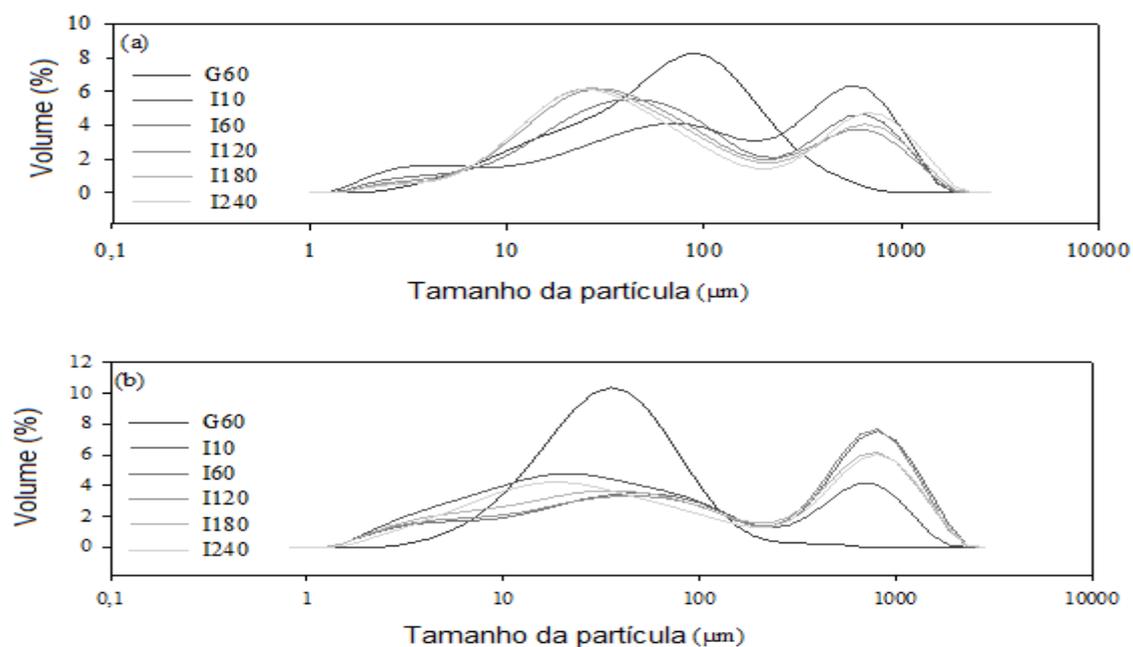


Figura 9 - Distribuição granulométrica dos grãos de arroz indico (a) e japonico (b) durante a digestão in vitro de amido. Após 60 min de digestão gástrica (G60); 60 min de digestão gástrica 10 (I10), 60 (I60), 120 (I120) e 240 (I240) min de digestão no intestino delgado.

Tabela 22 - Tamanho de Partícula do arroz indico e japonico durante a digestão gastrointestinal *in vitro**.

Rice	Digestibility time	D(4,3)	D(3,2)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)
Indica	G-60	105,57±8,23 c	29,83±0,58 a	12,27±0,18 a	64,43±1,84 b	255,05±22,18 b
	I-15	273,47±26,73 a	18,02±1,11 c	5,87±0,57 c	96,01±17,87 a	772,49±49,11 a
	I-60	235,63±27,48 ab	22,01±0,56 b	9,30±0,22 b	58,39±3,71 b	748,26±75,32 a
	I-120	207,80±11,26 b	22,20±0,20 b	9,64±0,07 b	47,63±0,22 b	696,68±39,82 a
	I-240	212,92±12,86 b	22,85±1,39 b	9,78±0,54 b	43,18±3,40 b	718,97±33,80 a
Japônica	G-60	56,00±8,40 b	21,08±0,54 a	9,81±0,22 a	31,02±0,82 b	100,75±9,80 b
	I-15	378,69±45,97 a	17,54±1,59 a	5,19±0,47 c	253,76±77,56 a	964,11±84,69 a
	I-60	450,67±31,63 a	20,47±1,19 a	6,24±0,44 bc	375,13±52,60 a	1085,11±56,67 a
	I-120	444,87±64,68 a	21,24±2,85 a	6,92±1,20 b	358,80±99,39 a	1075,00±103,46 a
	I-240	422,63±20,23 a	17,82±0,66 a	5,54±0,21 bc	304,78±36,02 a	1070,26±41,69 a

* As médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna, para cada tipo de arroz, diferem pelo teste de Tukey (P <0,05)

4.4 Conclusões

As características físico-químicas e de digestão do amido foram estudadas para o arroz indico e japonico. O arroz indico apresentou maior teor de proteínas, lipídios e amilose e maior dureza. O tempo de cocção foi maior para os grãos de arroz japonico, o que pode ser explicado pela sua maior espessura. Uma distância maior do centro do grão, juntamente com uma matriz de proteína mais forte, pode atrasar a absorção de água e, assim, aumentar o tempo de cocção do arroz.

O uso do simulador de digestão humana parece ser uma excelente alternativa para estudar a digestibilidade *in vitro* do amido, apresentando resultados semelhantes aos encontrados na literatura para ensaios *in vivo* e *in vitro*. Ambos os arroz apresentaram valores quase similares ao final da digestão, entretanto, o arroz indico apresentou menor taxa de hidrólise durante a digestão simulada no intestino delgado. A liberação mais lenta de glicose durante a digestão pode refletir um prolongamento da saciedade ou a vontade de comer novamente.

4.5 Considerações finais

Com os resultados obtidos no Estudo 1 pode-se verificar que a redução do pH na água de encharcamento provoca diminuições no tempo de hidratação do arroz, no rendimento de grãos inteiros, na intensidade de cor dos grãos, no tempo de cocção, na dureza e no pH, com alterações no perfil viscoamilográfico e aumento no teor de hidroximetilfurfural. O uso de bissulfito de sódio diminuiu a intensidade da coloração dos grãos, reduziu o tempo de cocção e não alterou a solubilidade proteica, as propriedades de pasta, o teor de hidroximetilfurfural e nem o teor dos açúcares.

No estudo 2 foi verificado que o arroz indico e japonico apresentou diferenças nas características físicas e químicas. O uso do simulador de digestão humana pareceu ser uma excelente alternativa para estudar a digestibilidade *in vitro* do amido. Ambos os materiais estudados apresentaram valores quase similares ao final da digestão, entretanto, o arroz indico apresentou menor taxa de hidrólise durante a digestão simulada no intestino delgado.

5 Referências bibliográficas

- AACC, 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. American Association of Cereal Chemists, Inc, St. Paul, MN, USA.
- ABBATEMARCO, C. RAMASWAMY, H.S. End-over-end thermal processing of canned vegetables: Effect on texture and color. **Food Research International**. v.27, p.327-334, 1994.
- ALMINGER, M. L., EKLUND-JONSSON, C., KIDMAN, S., & LANGTON, M. Starch microstructure and starch hydrolysis in barley and oat tempe during *in vitro* digestion. **Food Chemistry**, 3, 53-62, 2012.
- ALVES, G. H.; FERREIRA, C. D.; VIVIAN, P. G.; MONKS, J. L. F.; ELIAS, M. C.; VANIER, N. L.; DE OLIVEIRA, M. The revisited levels of free and bound phenolics in rice: Effects of the extraction procedure. **Food Chemistry**, v. 208, p. 116–123, 2016.
- AMATO, G.W; ELIAS, M.C. **A parboilização do arroz**. Porto Alegre Ricardo Lenz Editor, 160p., 2005.
- ASAE - American Society of Agricultural Engineers. Moisture measurement unground grain and seeds. In: Standards, 2000. St. Joseph: **ASAE**, p. 563, 2000.
- BERG, T., SINGH, J., HARDACRE, A., & BOLAND, M. J. The role of cotyledon cell structure during *in vitro* digestion of starch in navy beans. **Carbohydrate Polymers**, 87, 1678-1688, 2012.
- BERG, T.; SINGH, J.; HARDACRE, A.; BOLAND, M.J. The role of cotyledon cell structure during *in vitro* digestion of starch in navy beans. **Carbohydrate Polymers**. v.87, n. 2, p. 1678-1688, 2012.
- BHATTACHARYA, S. Kinetics on colour changes in rice due to parboiling. **Journal of Food Engineering**, v. 29, p. 99-106, 1996.
- BLANQUET-DIOT, S., SOUFI, M., RAMBEAU, M., ROCK, E., & ALRIC, M. Digestive stability of xanthophylls exceeds that of carotenes as studied in a dynamic *in vitro* gastrointestinal system. **The Journal of Nutrition**. 139, 876-883, 2009.
- BOERS, H. M., HOORN, J. S. T., MELA, D. J. A systematic review of the influence of rice characteristics and processing methods on postprandial glycaemic and insulinaemic responses. **British Journal of Nutrition**, 114, 1035–1045, 2015.
- BORDOLOI, A.; SINGH, J.; KAUR, L. In vitro digestibility of starch in cooked potatoes as affected by guar gum: Microstructural and rheological characteristics. **Food Chemistry**, v. 133, p. 1206–1213, 2012.

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

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Comissão Técnica de Normal e Padrões. Instrução Normativa nº 06, de 16 de fevereiro de 2009. Regulamento Técnico do Arroz, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 17 fev. 2009. Seção 1, p. 3.

CHAMPAGNE, E. T., BETT-GARBER, K. L., THOMSON, J. L., FITZGERALD, M.A. Unraveling the impact of nitrogen nutrition on cooked rice flavor and texture. **Cereal Chemistry**. 86, 274-280, 2009.

CHEN, J., GAIKWAD, V., HOLMES, M., MURRAY, B., POVEY, M., WANG, Y., ZHANG, Y. Development of a simple model device for *in vitro* gastric digestion investigation. **Food and Function**, 2, 174-182, 2011.

CHEN, M. H., BERGMAN, C.J.; A rapid procedure for analyzing rice bran tocopherol, tocotrienol and γ -orizanin contents. **Journal Food Composition and Analysis**, v.18, p.139-151, 2005.

CHUNG, H. J., LIU, Q., HUANG, R., YIN, Y., LI, A. Physicochemical properties and *in vitro* starch digestibility of cooked rice from commercially available cultivars in Canada. **Cereal Chemistry**, 84, 297-304, 2010.

CHUNG, H-J.; LIU, Q.; HOOVER, R. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 75, n. 3, p. 436-447, 2009.

COLUSSI, R., PINTO, V.Z., EL HALAL, S. L. M., VANIER, N.L., VILLANOVA, F.A., SILVA, R. M., ZAVAREZE, E. R., DIAS, A. R. G. Structural, morphological, and physicochemical properties of acetylated high-, medium-, and low-amylose rice starches. **Carbohydrate Polymers**, 103,405-413, 2014.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2016. Disponível em; <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em; 23/11/2016.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed., Artmed, Porto Alegre, 900p, 2010.

DARTOIS, A., SINGH, L., KAUR, L., SINGH, H. Influence of guar gum on the *in vitro* starch digestibility-rheological and microstructural characteristics. **Food Biophysics**, 5, 149-160, 2010.

DARTOIS, A.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, H. Influence of guar gum on the *in vitro* starch digestibility-rheological and Microstructural characteristics. **Food Biohydics**, v. 5, n. 3 p. 149-160, 2010.

DEMONT, M.; ZOSSOU, E.; RUTSAERT, P.; NDOUR, M.; MELE, P. V.; VERBEKE, W. Consumer valuation of improved rice parboiling techniques in Benin. **Food Quality and Preference**, v. 23, p. 63-70, 2012.

DENARDIN, C.C.; SILVA, L. P.; STORCK, C. R.; NÖRNBERG, J.L. Mineral composition of brown, parboiling and white rice cultivars. **Alimento e Nutrição**, Araraquara, v. 15, n. 2, p. 125-130, 2004.

DENARDIN, C.C.; SILVA, L.P.; Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v.39, n.3, p.945-954, 2009.

DORS, G.C; PINTO, R.H, BADIALE-FURLONG, E. Influência das condições de parboilização na composição química do arroz. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29,p. 219-224, 2009.

DUPUIS, J. H.; LIU, Q.; YADA, R. Y. Methodologies for Increasing the Resistant Starch Content of Food Starches: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, n. 6, p. 1219-1234, 2014.

ENGLYST, H. N., KINGMAN, S. M., & CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European journal of clinical nutrition**. 46, 33-50, 1992.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, p. 33-50, 1992.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**. 2 ed. São Paulo: Atheneu, p:652. 2000.

FAO – **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <http://fao.org>. Acesso em: 24/11/2016.

FERRUA, M. J., & SINGH, R. P. HUMAN GASTRIC SIMULATOR, IN: VERHOECKX, K. COTTER, P. I. LÓPEZ-EXÓSITO, P., KLEIVELAND, T. LEA, A. MACKIE, A., REQUENA, T., SWIATECKA, D., & WICHERS, H. (EDS.), IMPACT FOOD BIOACT. HEAL. VITR. Ex Vivo Model. Springer, 2015.

FREITAS R. A.; PAULA, R. C.; FEITOSA, J. P. A.; ROCHA, S.; SIERAKOWSKI M. R. A rheological description of mixtures of a galactoxiloglucan with high amylose and waxy corn starches. **Carbohydrate polymers**, v. 51, p. 25-32, 2003.

GOÑI, I., GARCIA, A. A., SAURA, C. F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v. 17, p. 427–437, 1997.

- GUERRA, A.; ETIENNE-MESMIN, L.; LIVRELLI, V.; DENIS, S.; BLANQUET-DIOT, S.; ALRIC, M. Relevance and challenges in modeling human gastric and small intestinal digestion. **Trends in Biotechnology**, v.30, n. 11, p. 591-600, 2012.
- GUNARATNE, A.; WU, K.; LI, D.; BENTOTA, A.; CORKE, H.; CAI, Y. Z. Antioxidant activity and nutritional quality of traditional red-grained rice varieties containing proanthocyanidins. **Food Chemistry**, v. 138, p. 1153-1161, 2013
- 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.
- HATAE, K.; AYABE, S.; KAINUMA, Y.; SHIMADA, A. Improving the eating quality of thai rice by addition of ingredients to cooking water. **Journal of Cookery Science of Japan**, v.28, p231–236, 1995.
- HEINEMANN, R.J.B.; FAGUNDES, P.L.; PINTO, E.A.; PENTEADO, M.V.C.; LANFER-MARQUEZ, U.M.; Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.18, p.287-296, 2005.
- HOU, F.; DING, W.; OLADEJO, A. O.; XIONG, F.; ZHANG, W.; HE, R.; MA, H. Alkali solution extraction of rice residue protein isolates: Influence of alkali concentration on protein functional, structural properties and lysinoalanine formation. **Food Chemistry**. P. 207-215, v. 218, 2017.
- HU, P., ZHAO, H., DUAN, Z., LINLIN, Z., & WU, D. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. **Journal of Cereal Science**. 40, 231-237, 2004.
- HU, Y., WANG, L., ZHU, H., LI, Z. Modification of physicochemical properties and *in vitro* digestibility of wheat flour through superheated steam processing. **Journal of Cereal Science**. 70, 231-237, 2016.
- HUNG, P. V., CHAU, H. T., PHI, N. T. L. In vitro digestibility and in vivo glucose response of native and physically modified rice starches varying amylose contents. **Food Chemistry**, 191, 74–80, 2016.
- HUNG, P. V.; MORITA, N. Physicochemical properties of hydroxypropylated and cross-linked starches from A-type and B-type wheat starch granules. **Carbohydrate Polymers**, v. 59, n. 2, p. 239-246, 2005.
- HWANG, J. Y.; SHUE, Y. S.; CHANG, H. M. Antioxidative activity of roasted and defatted peanut kernels. **Food Research International**, v. 34, p. 639–647, 2001.
- JULIANO, B. O.; BECHTEL, D. B. The rice grain and its gross composition. In: *Rice: Chemistry and Technology* (edited by E.T. Champagne). Pp. 17–57. New

- Orleans, MN, USA: **American Association of Cereal Chemists**. Chapter 2, 1985.
- KITTISUBAN, P.; LEE, B-H.; SUPHANTHARIKA, M.; HAMAKER, B. R. Slow glucose release property of enzyme-synthesized highly branched maltodextrins differs among starch sources. **Carbohydrate Polymers**, v. 107, p. 182-191, 2014.
- KONG, F., OZTOP, M. H., SINGH, R. P., MCCARTHY, M. J. Physical Changes in White and Brown Rice during Simulated Gastric Digestion. **Journal of Food Science**, 76, 6, 450-457. 2011.
- KONG, F.B., SINGH, R.P. A Human gastric digestion simulator equipped with peristalsis function for the direct observation and analysis of the food digestion process. **Journal of Food Science**, 75, 627-635, 2010.
- LAMBERTS, L., BRIJS, K., MOHAMED, R., VERHELST, N., DELCOUR, J.A.,. Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 54, 9924–9929, 2006.
- LAMBERTS, L., ROMBOUTS, I., BRIJS, K., GEBRUERS, K., DELCOUR, J.A.,. Impact of parboiling conditions on Maillard precursors and indicators in long-grain rice cultivars. **Food Chemistry** 110, 916–922, 2008.
- LANDL, A.; ABADIAS, M.; SÁRRAGA, C.; VIÑAS, I.; PICOUET, P.A. Effect of high pressure processing on the quality of acidified Granny Smith apple purée product. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p. 557-564, 2010.
- LIANG, J.; LI, Z.; TSUJI, K.; NAKANO, K.; NOUT, M. J. R.; HAMER, R. J. Milling characteristics and distribution of phytic acid and zinc in long-, medium- and short-grain rice. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p. 83–91, 2008.
- LIU, K.; MCWATTERS, K. H.; PHILLIPS, R. D. Protein insolubilization and thermal destabilization during storage as related to hard-to-cook defect in cowpeast. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. v.40, p.2403–2407, 1992.
- MARTIN, M.; FITZGERALD, M.A. Proteins in rice grains influence cooking properties! **Journal of Cereal Science**, v. 36, p.285-294, 2002.
- MARTIN, M.; FITZGERALD, M.A. Proteins in rice grains influence cooking properties. **Journal of Cereal Science**, v. 36, p.285-294, 2002.
- MCGRANE, S. J., CORNELL, H. J., RIX C. J. A simple and rapide colourimetric method for determination of amylose in starch products. **Starch/Stärke**, 50, 158-163, 1998.
- MERCURI, A., LO CURTO, A., WICKHAM, M. S. J., CRAIG, D. Q. M.; BARKER, S. A. Dynamic gastric model (DGM): a novel *in vitro* apparatus to

assess the impact of gastric digestion on the droplet size of self-emulsifying drug-delivery systems. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, 60, 4, 225-233, 2008.

MILLER, J.B., PANG, E., BRAMALL, L. Rice – a high or low glycemic index food. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 56, 1034-1036, 1992.

Mohapatra, D., Bal, S. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. **Journal of Food Engineering**, 73, 253–259, 2006.

MONKS, J. F.; VANIER, N. L.; CASARIL, J.; BERTO, R. M.; OLIVEIRA, M.; GOMES, C. B.; CARVALHO, M. P.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C. 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.

MOONGNGARMA, A.; DAOMUKDA, N.; SAOWAROSE KHUMPIKA, S. Chemical composition, phytochemical and antioxidant capacity of rice bran. rice bran layer, and rice germ. **APCBEE Procedia**, v. 2, p. 73-79, 2012.

OGAWA, Y.; GLENN, G. M.; ORTS, W. J.; WOOD, D. F. Histological structures of cooked rice grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 7019-7023, 2003.

OHISHI, K., KASAI, M., SHIMADA, A., & HATAE, K. (2007). Effects of acetic acid on the rice gelatinization and pasting properties of rice starch during cooking. **Food Research International**, v. 40, p. 224-231, 2007.

OHISHI, K., KASAI, M.; SHIMADA, A.; HATAE, K. Effect of Acetic Acid Added to Cooking Water on the Dissolution of Proteins and Activation of Protease in Rice. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 51, p.4054--4059, 2003

ORDONEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos: Componentes dos Alimentos e Processos**, ed. Artimed, v .1, 294p. 2005.

PAIVA, F. F., VANIER, N. L., BERRIOS, J. J., PINTO, V. Z., WOOD, D., WILLIAMS, T., PAN, J., ELIAS, M. C. Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. **Food Chemistry**, 191, 15, 105-112, 2015.

PANLASIGUI, L. N., THOMPSON, L. U., JULIANO, B. O., PEREZ, C. M., YIU, S. H., GREENBERG, G. R. Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 54, 5, 871-877, 1991.

PARK, C.; KIM, Y.; PARK, K.; KIM, B. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**. v.48, p.25-29, 2012.

PAUCAR-MENACHO, L.M; SILVA, L.H.; SANT'ANA, A. S.; GONÇALVES, L. A. G. Refino de óleo de farelo de arroz (*Oryza sativa* L.) em condições brandas para preservação do γ -orizanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v.27, n.1, p. 45-53, 2007.

PHARMACOPEIA, U. S. pharmacopeia, simulated gastric fluid, TS, simulated intestinal fluid, TS, United States Pharmacopeial Convention, The national formulary 9 (U.S. Pharmacopeia Board of Trustees), Rockville, MD, USA. v. 24, p 2235, 2000.

QIU, Y.; LIU, Q.; BETA, T. Antioxidant properties of commercial wild rice and analysis of soluble and insoluble phenolic acids. **Food Chemistry**, v. 121, p. 140–147, 2011.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C.; Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, p. 1231-1237, 1999.

RODRIGUES, S. A. **Efeito de acidulantes, espessantes e cultivares nas características físico-químicas e estruturais do topping de mirtilo**. 2006. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SAPERS, G. M.; MILLER, R. L. Browning inhibition in fresh-cut pears. **Journal of Food Science**, v. 63, p. 342-346, 1998.

SASAKI, T., KOHYAMA, K., SUZUKI, Y., OKAMOTO, K., NOEL, T. R., RING, S. G. Physicochemical characteristics of waxy rice starch influencing the *in vitro* digestibility of a starch gel. **Food Chemistry**, 116, 137-142, 2009.

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.

SHRESTHA, A. K., NG, C. S., LOPEZ-RUBIO, A., BLAZEK, J., GILBERT, E. P., GIDLEY, M. J. Enzyme resistance and structural organization in extruded high amylose maize starch. **Carbohydrate Polymers**, 80, 699-710, 2010.

SILVA, F. A.S., AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, 11, 39, 3733-3740, 2016.

SINGH, J., DARTOIS, A., KAUR, L. Starch digestibility in food matrix: a review. **Trends in Food Science & technology**, 21, 168-180, 2010.

SINGH, J.; BERG, T.; HARDACRE, A.; BOLAND, M. Cotyledon Cell Structure and *In Vitro* starch Digestion in Navy Beans. In: BOLAND,D.; GOLDING, M.;

SINGH, H. **Food Structures, Digestion and Health**. Elsevier, Cap. 8. 223-242, 2014.

SINGH, N.; PAL, N.; MAHAJAN, G.; SINGH, S.; SHEVKANI, K. Rice grain and starch properties: Effects of nitrogen fertilizer application. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 1, p. 219–225, 2011.

SINGH, N.; SINGH, H.; KAUR, K.; BAKSHI, M.S. Relationship between the degree of milling, ash distribution pattern and conductivity in brown rice. **Food Chemistry**, v. 69, n. 2, p. 147-151, 2000.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. JR. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, p. 144–158, 1965.

TAMURA, M., OKAZAKI, Y., KUMAGAI, C., OGAWA, Y. The importance of an oral digestion step in evaluating simulated *in vitro* digestibility of starch from cooked rice grain. **Food Research International**, 94, 6-12, 2017.

TAMURA, M., SINGH, J, KAUR, L., & OGAWA, Y. Impact of the degree of cooking on starch digestibility of rice – An *in vitro* study. **Food Chemistry**, 191, 98-104, 2016 b.

TAMURA, M., SINGH, J., KAUR, L., OGAWA, Y. Impact of structural characteristics on starch digestibility of cooked rice. **Food Chemistry**, 191, 91-97, 2016 a.

TIKAPUNYA, T., ZOU, W., YU, W., POWELL, P. O., FOX, G.P., FURTADO, A., HENRY, R. J., GILBERT, R.G. Molecular structures and properties of starches of Australian wild rice. **Carbohydrate Polymers**, 172, 213-222, 2017.

TOPPING, D. L.; CLIFTON, P. M. Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. **Physiological Reviews**, v. 81, n. 3, p. 1031-1064, 2001.

TUTIN, T.S., KEYWOOD, V.H., BUEGES, N.A., MOORE, D.R., VALENTINE, D.H., WALTERS, ed. Flore Europaea. V. **Cambridge Univ.** 385 f. 1980

VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T.; BERRIOS, J. J.; OLIVEIRA, L. C, ELIAS, M. C. Thiamine content and technological quality properties of parboiled rice treated with sodium bisulfite: Benefits and food safety risk. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 41, p. 98-103, 2015.

VIEIRA, N. R. de A.; CARVALHO, L. V. de. Qualidade Tecnológica. In: **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás Embrapa: Arroz e Feijão, 1999. p. 582-599.

VILLAS-BOAS, F.; FRANCO, C. M. L. Effect of bacterial β -amylase and fungal α -amylase on the digestibility and structural characteristics of potato and arrowroot starches. **Food Hydrocolloids**, v. 52, n. 795-803, 2016.

VIÑAS, P.; LÓPEZ-ERROZ, C.; BALSALOBRE, N.; HERNÁNDEZ-CÓRDOBA, M. Reversed-phase liquid chromatography on an amide stationary phase for the determination of the B group vitamins in baby foods. **Journal of Chromatography A**, v. 1007, p. 77-84, 2003.

VIÑAS, PILAR; LÓPEZ-ERROZ, CARMEN; BALSALOBRE, NURIA; Hernández-Córdoba, Manuel. Reversed-phase liquid chromatography on an amide stationary phase for the determination of the B group vitamins in baby foods. *Journal of Chromatography A*. p. 77-84, 2003.

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

WANG, K., WAMBUGU, P. W., ZHANG, B., WU, A. C., HENRY, R. J., GILBERT, R. G. The biosynthesis, structure and gelatinization properties of starches from wild and cultivated African rice species (*Oryza barthii* and *Oryza glaberrima*). **Carbohydrate Polymers**, 129, 92-100, 2015.

WILLIAMS, P. The glycemic index. Extension of Utah State University, Utah, USA. 2004.

XIAOLI, XIANG LIYI, YANG; SHUANG, HUA; WEI, LI; YI, SUN; HAO, MA; JUSONG, ZHANG; ZENG. Determination of oligosaccharide contents in 19 cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L) seeds by high performance liquid chromatography. p. 215-219, v. 111, 2008.

YANG, Y., ZHU, K., XIA, H., CHEN, L., CHEN, K. Comparative proteomic analysis of indica and japonica rice varieties. **Genetics and Molecular Biology**, 37, 4, 652-661, 2014.

YE, J., HU, X., LUO, S., MCCLEMMETS, D. J., LIANG, L., LIU, C. Effect of endogenous proteins and lipids on starch digestibility in rice flour. **Food Research International**, 106, 404-409, 2018.

ZAEFARIAN, F.; ABDOLLAHI, M. R.; E RAVINDRAN, V. Starch digestion in broiler chickens fed cereal diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 209, p. 16-29, 2015.

ZEMEL G. P.; SIMS, C. A.; MARSHALL, M. R.; BALABAN, M. Low pH inactivation of polyphenoloxidase in apple juice. **Journal of Food Science**, v. 55, p. 562-563, 1990.

ZHOU, Y.; MENG, S.; CHEN, D.; ZHU, X.; YUAN, H. Structure characterization and hypoglycemic effects of dual modified resistant starch from indica rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 103, p. 81-86, 2014.

ZHOU, Z., ROBARDS, K., HELLIWELL, S., & BLANCHARD, C. Composition and functional properties of rice. **International journal of science and Technology**, 37, 849-868, 2002.

ZHU, L., LIU, Q., WILSON, J., GU, M., & SHI, Y. Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa*) flours and starches differing in amylose content. **Carbohydrate Polymers**, 86, 1751-1759, 2011.