

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA “ELISEU MACIEL”
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



Dissertação

Fatores abióticos no processo de germinação induzida e efeitos sobre propriedades tecnológicas, nutricionais e sensoriais de arroz

Lucas Ávila do Nascimento

Pelotas, 2020

Lucas Ávila do Nascimento

Fatores abióticos no processo de germinação induzida e efeitos sobre propriedades tecnológicas, nutricionais e sensoriais de arroz

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Comitê de orientação: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias – UFPel

Prof. Dra. Rosana Colussi – UFPel

Pelotas, 2020

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

N244f Nascimento, Lucas Ávila do

Fatores abióticos no processo de germinação induzida e efeitos sobre propriedades tecnológicas, nutricionais e sensoriais de arroz / Lucas Ávila do Nascimento ; Moacir Cardoso Elias, orientador ; Rosana Colussi, coorientadora. — Pelotas, 2020.

64 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

1. Ácido gama-aminobutírico. 2. Digestibilidade. 3. Germinação. I. Elias, Moacir Cardoso, orient. II. Colussi, Rosana, coorient. III. Título.

CDD : 664

Banca examinadora:

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Prof. Dra. Rosana Colussi

Prof. Dra. Bianca Pio Ávila

Dra. Shanise Lisie Mello El Halal

**Dedico aos meus amados pais,
irmão e amigos.**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Nédia Beatriz e Paulo Ricardo e ao meu irmão Victor, por todo amor, carinho e ternura a mim dedicados, por sempre acreditarem na minha capacidade e por serem meu maior exemplo de vida. Vocês são minha inspiração.

Aos demais familiares, principalmente aos meus tios Antônio Cezar, Jorge Luís e Lédia e primos, Camila, Cecy, Cláudio, Daniel, Jéssica e Natália por compreenderem a minha ausência e por todo companheirismo e apoio durante esta jornada.

A família que me acolheu desde que me mudei para Pelotas, Carlos Augusto, Rosmeri e Luiza, por todo apreço que têm por mim e pelo suporte desde o início.

Ao Matheus Penteado, um amigo que eu tenho o prazer de chamar de irmão, por sempre se fazer presente para ajudar, dar ouvidos, ter sempre a melhor palavra e por servir de exemplo como filho, homem, ser humano.

Ao orientador acadêmico Prof. Dr. Moacir Elias pelas diretrizes passadas a mim sempre com muita sabedoria e destreza, por confiar no meu potencial e incentivar meu crescimento profissional.

A prof. Dra. Rosana Colussi por empenhar-se com afinco na coorientação deste trabalho, sempre com contribuições de extrema relevância, pela aprendizagem proporcionada e por ser um exemplo de profissional.

A prof. Dra. Bianca Ávila por me acompanhar desde o início da minha vida acadêmica e profissional, a todo o momento instigando e auxiliando na busca pelo conhecimento e pela amizade construída.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal de Pelotas (PPGCTA – UFPel), em especial ao prof. Dr. Nathan Vanier e a prof. Dra. Márcia Gularte, pelos ensinamentos transmitidos durante o mestrado, os quais foram fundamentais para a elaboração deste estudo, e pelo profissionalismo.

Aos amigos de longa data, Dener Acosta, Gustavo Griep, Gustavo Mazza e João Gava Just, por não se distanciarem nos momentos mais difíceis e por sempre demonstrarem alegria pelas minhas vitórias. Vocês são os melhores.

Aos queridos amigos, Dianini, Estefânia, Felipe, Thais, Thauana e Wyller, com quem tive o prazer de compartilhar a maioria dos meus dias durante o período de mestrado, por não faltar amizade e companheirismo em todos os momentos e pela honestidade e generosidade sempre demonstradas. A vocês minha imensa admiração e eterna gratidão.

Aos companheiros que ganhei ao ingressar no mestrado, Adriano, Adrielle, Cristian, Franciene, Gabriel, Gustavo, Henrique, Inajara, João Pedro, Juliani, Laura, Miguel e Suzane, por nunca hesitarem em me estender a mão, por tornarem os dias mais felizes no ambiente de trabalho e também por permitirem que essa amizade ultrapassasse as fronteiras da universidade.

Ao meu amigo Newton Timm, pessoa de grande coração, pelo compartilhamento de ideias, saberes, vivências e pela oportunidade de trabalharmos juntos ao longo desses anos.

Aos demais colegas de laboratório, pela receptividade e pelo convívio durante o período de mestrado.

A todos que de alguma forma ou de outra fizeram parte dessa caminhada para minha formação e conquista pessoal, meu muito obrigado.

Da mesma forma gostaria de agradecer a mim, por nunca desistir ou desviar dos meus objetivos e por ser sempre eu mesmo, independente das circunstâncias.

“Everybody’s blind when the view is amazing”

Post Malone

RESUMO

NASCIMENTO, Lucas Ávila do. **Fatores abióticos no processo de germinação induzida e efeitos sobre propriedades tecnológicas, nutricionais e sensoriais de arroz**. Orientador: Moacir Cardoso Elias. 2020. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

Objetivou-se com este estudo avaliar o efeito da germinação e estresses abióticos, pelo frio e pela salinidade, sobre as características tecnológicas, nutricionais e sensoriais do arroz integral. Os grãos foram embebidos em água a 40 °C até atingirem 30% de umidade. Os grãos encharcados foram germinados a 30 °C por 36 horas em câmara do tipo BOD. As condições de estresse foram aplicadas nas últimas 4 horas de germinação com solução salina (5% m/v), baixa temperatura (4 °C) e uma combinação de solução salina e baixa temperatura. Os parâmetros de cor, propriedades tecnológicas, perfil de textura, teor de ácido gama-aminobutírico, digestibilidade de proteínas e amido e alguns parâmetros sensoriais foram analisados após a germinação. Os grãos germinados, sem nenhum estresse, eram mais escuros que o arroz integral. Os grãos de arroz germinado expostos ao estresse pelo frio foram mais resistentes ao esmagamento e à mastigação em comparação aos grãos expostos ao estresse por salinidade e aqueles expostos a estresses tanto por frio quanto por salinidade. A germinação aumentou o conteúdo de ácido gama-aminobutírico (GABA) e a digestibilidade do amido. O conteúdo de GABA teve seu aumento acentuado, enquanto a digestibilidade da proteína diminuiu (devido à reação de Maillard) nos grãos germinados após exposição a estresses abióticos. Os resultados deste estudo foram satisfatórios para os parâmetros nutricionais e tecnológicos e, portanto, a exposição de grãos germinados ao estresse abiótico pode ser um método alternativo para a produção de arroz enriquecido.

Palavras-chave: Ácido gama-aminobutírico. Digestibilidade. Germinação.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Lucas Ávila do. **Abiotic factors in the induced germination process and effects on technological, nutritional and sensory properties of rice.** Advisor: Moacir Cardoso Elias. 2020. 63 f. Dissertation (Masters in Food Science and Technology) – Graduate Program in Food Science and Technology, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2020.

The aim of this study was to evaluate the effect of germination and abiotic stresses, by cold and salinity, on the technological, nutritional and sensory characteristics of brown rice. The grains were soaked in water at 40 °C until they reached 30% humidity. The soaked grains were germinated at 30 °C for 36 hours in a BOD chamber. The stress conditions were applied in the last 4 hours of germination with saline solution (5% w/v), low temperature (4 °C) and a combination of saline solution and low temperature. The color parameters, technological properties, texture profile, gamma-aminobutyric acid content, protein and starch digestibility and some sensory parameters were analyzed after germination. The sprouted grains, without any stress, were darker than brown rice. Germinated rice grains exposed to cold stress were more resistant to crushing and chewing compared to grains exposed to salinity stress and those exposed to both cold and salinity stresses. Germination increased the content of gamma-aminobutyric acid (GABA) and the digestibility of starch. The GABA content had a marked increase, while the digestibility of the protein decreased (due to the Maillard reaction) in the germinated grains after exposure to abiotic stresses. The results of this study were satisfactory for the nutritional and technological parameters and, therefore, the exposure of germinated grains to abiotic stress can be an alternative method for the production of enriched rice.

Keywords: Digestibility. Gamma-aminobutyric acid. Germination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção de arroz no mundo	18
Figura 2. Anatomia estrutural do grão de arroz	19
Figura 3. Grãos de arroz integral durante a germinação induzida por 36 (trinta e seis) horas	21
Figura 4. Estrutura molecular do (l) ácido gama-aminobutírico e seus isômeros.....	23
Figura 5. Reação de descarboxilação do L-glutamato e formação de GABA	24
Figura 6. Sede da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel.....	26
Figura 7. Diagrama de cores para os eixos L*, a* e b*.....	29
Figura 8. Curva estatística do perfil de textura. H = Dureza; A3 = Adesividade; A2/A1 = Coesividade, B = Fraturabilidade; T2/T1 = Elasticidade; H x A2/A1 x T2/T1 = Mastigabilidade; H x A2/A1 = Gomosidade.....	31
Figura 9. Tempo de cocção dos grãos de arroz integral (AI) e germinado sob diferentes condições. AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal.	36
Figura 10. Digestibilidade das proteínas dos grãos de arroz integral (AI) e germinados em diferentes condições. AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal.	40
Figura 11. Digestibilidade do amido dos grãos de arroz integral (AI) e germinados em diferentes condições. AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal.	41
Figura 12. Conteúdo de GABA dos grãos de arroz integral (AI) e germinados em diferentes condições. AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal.	43
Figura 13. . Análise temporal das sensações das amostras de arroz integral (AI) e germinado nas diferentes condições. AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado	

pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal; “*Metallic*” (“sabor metálico”); “*Bitter*” (“sabor amargo”); “*Salty*” (“sabor salgado”); “*Sand texture*” (“textura arenosa”); “*Residual taste*” (“sabor residual”); “*Non-sticky*” (“não-pegajoso”, “solto”); “*firm*” (“firme”, “rijo”); “*Sweet*” (“sabor doce”); “*Chance*” (“nível de chance”); “*Sig. Level*” (“nível significativo”).45

Figura 14. Biplot de correspondência do arroz germinado nas diferentes condições.

AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal; “*sweet taste*” (“sabor doce”); “*brown color*” (“coloração marrom”); “*non-sticky*” (“não-pegajoso”, “solto”); “*salty taste*” (“sabor salgado”); “*sand texture*” (“textura arenosa”); “*soltness*” (“soltabilidade”); “*bitter taste*” (“sabor amargo”); “*metallic taste*” (“sabor metálico”); “*residual taste*” (“sabor residual”).47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Delineamento experimental para avaliar o efeito dos tratamentos nas propriedades tecnológicas e nutricionais do arroz	27
Tabela 2. Perfil colorimétrico dos grãos de arroz integral e germinados sob diferentes condições	35
Tabela 3. Rendimento gravimétrico e volumétrico dos grãos de arroz integral e germinados sob diferentes condições	38
Tabela 4. Perfil textuométrico dos grãos de arroz integral e germinados em diferentes condições	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Arroz.....	17
2.2 Germinação induzida e controlada.....	20
2.3 Ácido gama-aminobutírico.....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Material.....	26
3.1.1 Delineamento experimental.....	27
3.2 Métodos.....	27
3.2.1 Teste de germinação.....	27
3.2.2 Germinação induzida.....	28
3.2.3 Perfil colorimétrico	28
3.2.4 Tempo de cocção	29
3.2.5 Rendimento gravimétrico.....	29
3.2.6 Rendimento volumétrico.....	30
3.2.7 Perfil textuométrico	30
3.2.8 Digestibilidade proteica	31
3.2.9 Digestibilidade do amido	31
3.2.10 Ácido gama-aminobutírico.....	32
3.2.11 Análise sensorial	33
3.2.11.1 Análise temporal das sensações.....	33
3.2.11.2 Avaliação de atributos sensoriais	34
3.2.12 Análise estatística	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 Perfil colorimétrico.....	35

4.2 Tempo de cocção	36
4.3 Rendimento gravimétrico e volumétrico	37
4.4 Perfil textuométrico	38
4.5 Digestibilidade proteica	39
4.6 Digestibilidade do amido	41
4.7 Ácido gama-aminobutírico	42
4.8 Análise sensorial	44
4.8.1 Análise temporal das sensações	44
4.8.2 Avaliação de atributos sensoriais	46
5. CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) faz parte da dieta da maior parte da população mundial, especialmente nos países em desenvolvimento, como principal fonte de amido e proteínas, bem como fibras, minerais e vitaminas do complexo. Este é comercializado de várias formas, como arroz polido, arroz integral, arroz parboilizado, arroz de cozimento rápido e arroz integral germinado.

A germinação induzida é um dos processos comumente usados para estimular a produção de vários fitoquímicos, como ácido gama-aminobutírico (GABA), ácido ascórbico, tocotrienóis e compostos fenólicos, que normalmente estão presentes no grão em menor quantidade. A germinação induzida promove maior disponibilidade de nutrientes que são benéficos para a saúde do consumidor, no entanto, os grãos devem absorver água suficiente para a reativação dos processos metabólicos. A falta de água ou a exposição a outros estresses, como frio e estresses com sal, ativam os mecanismos específicos de adaptação nos grãos. O processo de germinação em grãos tem sido extensamente estudado. Durante a germinação o valor nutricional dos grãos é alterado, tal como a biodisponibilidade dos nutrientes. Alguns estudos demonstram que a formação de compostos bioativos varia durante a germinação. Além disso, pesquisas reportam que a exposição das sementes a diferentes tipos de estresse aumenta ainda mais a produção de compostos bioativos.

O GABA é um aminoácido não proteico com quatro carbonos derivados da descarboxilação do ácido L-glutâmico. A descarboxilação é catalisada pela descarboxilase do ácido glutâmico (GAD), que tem uma função metabólica no ciclo de Krebs. Este funciona como um neurotransmissor e está envolvido em várias funções, como alívio da dor, regulação da ansiedade, insônia e pressão arterial, além de estimulação da produção de insulina no pâncreas, o que ajuda na prevenção do diabetes tipo 2. Além disso, vários estudos relataram o papel do GABA na prevenção da doença de Alzheimer, hipercolesterolemia e doença renal crônica.

Neste contexto, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito da germinação induzida aliada ao estresse pelo frio, pelo sal e pela combinação de ambos como

método, bem como avaliar os seus efeitos sobre as propriedades físicas, químicas, tecnológicas, nutricionais e sensoriais dos grãos de arroz.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Arroz

A cultura do arroz surgiu em uma região do sul do continente asiático, em território indiano, há cerca de 10.000 anos (NUNES, 2013; PEREIRA, 2002). Neste continente predominava o cultivo da espécie *Oryza rufipogon*, já no continente Americano, mais especificamente na América do Sul, a espécie *Oryza glumaepatula* que se sobressaía e após uma série de adaptações e seleção de características específicas originou a *Oryza sativa* (KOVACH, SWEENEY & MCCOUCH, 2007).

No Brasil, a produção desse cereal baseia-se principalmente no estado do Rio Grande do Sul, que apesar da redução de 5% na área plantada na safra 2017/18 manteve com uma produção de 7,34 milhões de toneladas na safra 2018/2019 devido ao aumento de 5,2% na sua produtividade, permanecendo assim como o principal responsável pela maior parte da produção nacional, seguido de Santa Catarina, Tocantins, Mato Grosso e Maranhão que juntos representam cerca de 90% do montante produzido pelo país, que foi de 10,5 milhões de toneladas na última safra e estima-se que na próxima a produção deva girar em torno de 10,64 milhões de toneladas. Uma parte dos grãos produzidos é exportada, e os principais países importadores são países do oeste africano com baixo poder aquisitivo (CONAB, 2019; SELLAPAN et al., 2009).

Se tratando de produção a nível continental, o Brasil continua se destacando como principal produtor, sendo responsável por mais de 75% da quantidade produzida no Mercosul, à frente do Uruguai, Argentina e Paraguai, respectivamente. No ranking mundial, o Brasil ocupa a nona colocação de maior produtor, sendo este liderado pela China, Índia, Indonésia e outros cinco países do continente asiático (CONAB, 2016), conforme ilustrado na Figura 1.

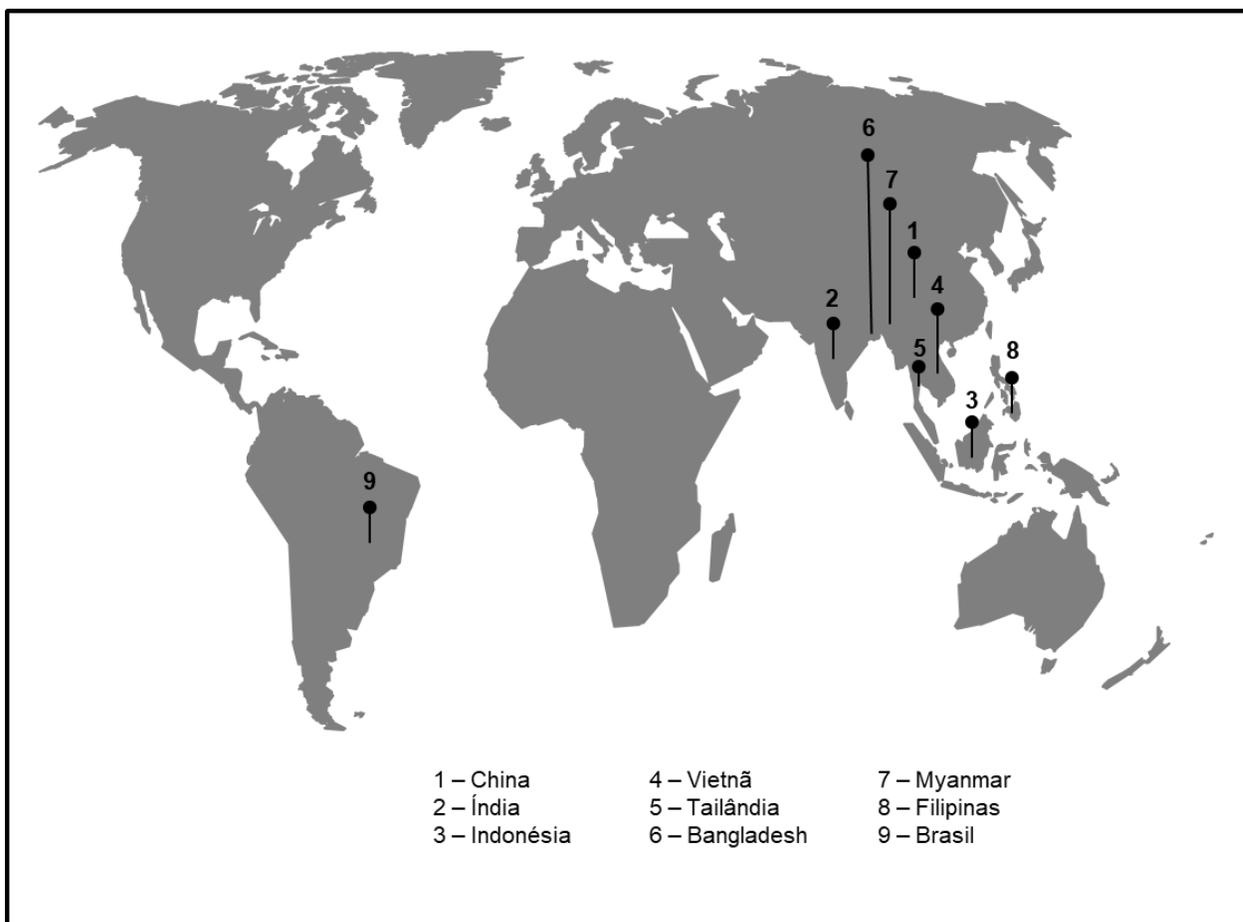


Figura 1. Ranking de produção de arroz no mundo

Fonte: Conab (2016), com adaptações.

O arroz é uma planta herbácea da classe das monocotiledôneas, família Poaceae do gênero *Oryza*, pertencente ao grupo de plantas C-3, pode ser produzido em dois ecossistemas: (a) terras altas, também conhecido como arroz de sequeiro, é o que predomina em regiões onde há baixa disponibilidade de água e (b) várzeas, predominante em regiões com elevada disponibilidade de água, podendo ser irrigado por inundação controlada ou natural, o qual possui maior rendimento (DUAN et al., 2007, CARMONA, GULARTE & ELIAS, 2004).

Esta gramínea de produção anual e adaptada ao ambiente aquático é composta estruturalmente pelo endosperma, gérmen e pericarpo, envoltos pelas brácteas: pálea e a lema, que possuem função de proteger a semente contra fungos e insetos além de

delimitar o tamanho e formato dos grãos, e juntas compõem a casca do grão de arroz ou cariopse, como mostra a Figura 2 (WALTER, MARCHEZAN & AVILA, 2008).

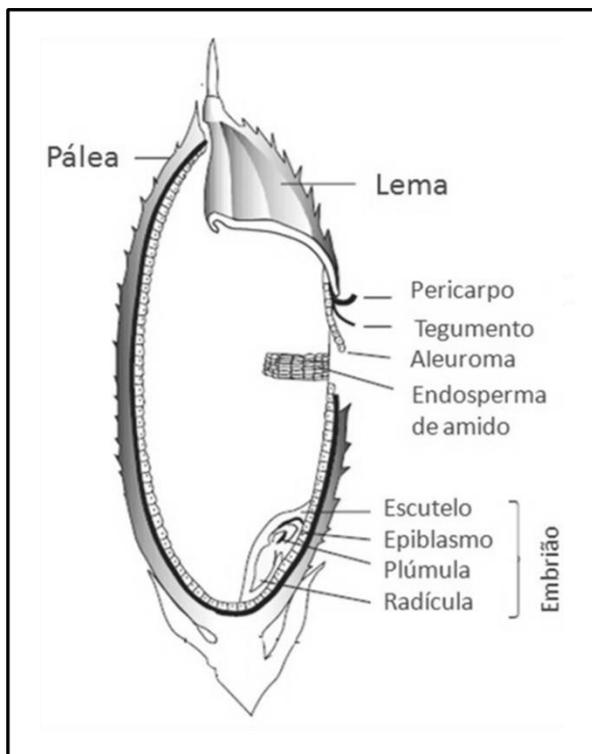


Figura 2. Anatomia estrutural do grão de arroz

Fonte: MCLEAN et al. (2002), com adaptações.

A sua composição apresenta alto conteúdo de amido, proteínas, minerais e vitaminas do complexo B, tornando-se a principal fonte de nutrientes para países em desenvolvimento (KORRES, NORSWORTHY, BURGOS & OOSTERHUIS, 2017; HEINEMANN et al., 2005; BAO et al., 2004).

Entretanto, os nutrientes não estão distribuídos de maneira uniforme por todo o grão. A casca é constituída por celulose, hemicelulose e lignina além de uma grande quantidade de silício (FERNANDES, SABINO E ROSSETTO, 2014). No pericarpo, logo abaixo da casca, juntamente da camada de aleurona e de testa estão localizadas as proteínas, fibras, os minerais e pigmentos em cultivares com diferentes colorações (LANG et al., 2019). No endosperma se concentram as reservas de energia da semente, composta basicamente por amido e frações proteicas (XIA et al., 2017). Já no gérmen armazena grande quantidade de lipídios e enzimas importantes para seu desenvolvimento (MOONGNGARM, DAOMUKDA & KHUMPIKA, 2012).

O arroz, conforme mencionado anteriormente, é um dos cereais mais produzidos no mundo e também é consumido nos mais diversos países justamente por conta de ser uma ótima fonte nutricional. Os países do sul e sudeste da Ásia são os principais consumidores deste alimento, chegando a consumir cerca de 100 kg.hab.ano⁻¹ enquanto no Brasil esse valor gira em torno de 50 kg.hab.ano⁻¹ (CONAB, 2019).

As formas mais comuns de encontrar esse grão são na condição de arroz polido, integral, parboilizado polido e parboilizado integral. Além destas, recentemente têm crescido o interesse pelas cultivares de arrozes especiais como o arroz aromático e o pigmentado, com processos que proporcionem características sensoriais e nutricionais específicas para cada produto ou na forma de produtos obtidos através das farinhas (branca e integral) ou do amido de arroz (BATISTA et al., 2019; ELIAS et al., 2012).

2.2 Germinação induzida e controlada

Segundo Miranda (2006 apud MEREDITH & POMERANZ, 1985), deve-se diferenciar os tipos de germinação devido aos resultados obtidos por cada método. Desta forma a germinação pode ser classificada em: germinação no campo, maltagem e germinação em laboratório ou induzida de forma controlada.

A germinação induzida de forma controlada do arroz tem sido estudada ao longo dos últimos anos (DING et al., 2018; EAMARJHARN, THEERAKULKAIT & THANACHASAI, 2016; CHUNGCHAROEN et al., 2014; NG et al., 2013; KARLADEE & SURIYONG, 2012; KOMATSUZAKI et al., 2007). Por ser um método eficiente para melhorar a composição de compostos bioativos e reduzir as funções antinutricionais dos cereais (CHUNGCHAROEN et al., 2014; NG et al 2013). Dessa forma, agrega-se valor ao arroz.

Este tipo de germinação também tem sido utilizado como uma alternativa para obter grãos com características específicas, sendo estas nutricionais e/ou tecnológicas (DING et al., 2018; CÁCERES et al., 2017; THIYAJAI et al., 2016; CHUNGCHAROEN et al., 2014). Para que isso ocorra é imprescindível que o gérmen do grão esteja presente e intacto, para que haja a produção de fito-hormônios, responsáveis pela divisão e alongamento celular (FINNIE, BROVELLI & NELSON, 2019; EVERT & EICHHORN, 2013).

A germinação inicia-se assim que a semente encontra-se em condições favoráveis, tais como: teor de umidade que varia entre 15 e 45%, temperatura superior a 4°C, na ausência de inibidores da germinação e da presença de ar atmosférico, além disso, algumas sementes ainda necessitam de luz. Por isso a primeira etapa do processo é a embebição em água, que irá penetrar na semente pelos poros e micrópilo e será armazenada no seu interior devido a interações prevalentemente com proteínas e fibras, resultando no rompimento do pericarpo na região do gérmen. Na Figura 3 estão apresentadas as alterações estruturais que o grão de arroz sofre durante o processo de germinação em diferentes tempos (RATHJEN, STROUNINA & MARES, 2009).



Figura 3. Grãos de arroz integral durante a germinação induzida por 36 (trinta e seis) horas

Fonte: O autor.

Ao longo do processo de germinação a semente sintetiza e/ou libera uma série de hormônios vegetais que servem de sinalizadores, como o ácido giberélico, ácido abscísico e etileno, para a ativação e liberação de enzimas, como amilases, lipases e proteases que irão degradar os nutrientes de reserva (MCKIE & MCCLEARY, 2015).

A alfa-amilase e a beta-amilase são as principais enzimas amilolíticas atuantes durante a germinação (CHAROENTHAIKIJ et al., 2009). Estas atuam sobre as ligações alfa-(1-4) da amilose e amilopectina, tendo sua ação bloqueada nas ligações alfa-(1-6) presente nas moléculas de maltose resultantes dessa degradação, onde é necessária a ação das pululanases para reduzir à glicose, a qual é utilizada durante a respiração celular e produção de energia, bem como para gerar novos tecidos (MCKIE & MCCLEARY, 2015; MIAO et al., 2015).

Para o desenvolvimento de novos tecidos também são necessários aminoácidos e estes são provenientes da degradação cadeias peptídicas pela ação das proteases, a qual resulta na liberação de aminoácidos livres que, por vezes, sofrem ação de isomerases dependendo do seu destino ou para facilitar o transporte no interior da célula (JONES, 2005).

Durante os processos metabólicos há o rompimento das interações entre amido e proteínas, o que pode facilitar a digestão destes nutrientes, e simultaneamente ocorre a formação de novos tecidos com altos teores de fibras e de compostos bioativos como o GABA (CHALERMCHAIWAT et al., 2015; NG, HUANG, CHEN & SU, 2013; RAMAKRISHNA, RANI & RAO, 2008).

Por este motivo, os grãos germinados têm sido utilizados como novos ingredientes na indústria de alimentos para elaboração de barras de cereais, massas, doces, biscoitos, pães, sopas instantâneas, entre outros (FINNIE, BROVELLI & NELSON, 2019; MONTEMURRO et al., 2019; WU & XU, 2019; SIKORA & SWIECA, 2018). O principal motivo é o incremento no valor nutricional, ou seja, a maior biodisponibilidade dos nutrientes. No entanto, alguns aspectos negativos relatados por autores são a baixa *shelf life*, termo utilizado pra se referir à da vida útil de um produto, e o possível desenvolvimento de microrganismos (SWIECA & GAWLIK-DZIKI, 2017; LIU et al., 2013). Assim, na literatura são observados estudos que visam incrementar o valor nutricional (DING et al., 2018), aumentar a vida útil ou melhorar o processo de elaboração, ou ainda, desenvolver novos produtos a partir dos grãos germinados (SAREEPUANG et al., 2008; SIRISOONTARALAK et al., 2015).

Ding et al. (2018) empregaram ultrassom durante o processo de germinação de arroz vermelho visando incremento nos teores de do ácido gama-aminobutírico e metabólitos benéficos à saúde, e verificaram que este é um método eficaz para tal.

Sirisoontaralak et al. (2015) desenvolveram um arroz germinado de cocção rápida com benefícios à saúde. O produto desenvolvido apresentou tempo de cocção curto, e apresentou características sensoriais desejadas pelos avaliadores, além de proporcionar benefícios adicionais à saúde dos consumidores com maior teor de amido resistente comparado ao arroz integral comum.

Cornejo et al. (2015) elaboraram pães livres de glúten a partir da farinha de arroz germinado e constataram que houve melhorias com o processo tanto pelo incremento no conteúdo de compostos bioativos quanto pela redução do ácido fítico, considerado um antinutricional por reduzir a biodisponibilidade de minerais em alimentos.

2.3 Ácido gama-aminobutírico

O grupo dos ácidos aminobutíricos é formado por oito isômeros, cada um com características e funções bioquímicas específicas, dentre eles encontra-se o ácido gama-aminobutírico (Figura 4) (C₄H₉NO₂) (VEMULA et al., 2017). Um aminoácido não-canônico, ou seja, que não é incorporado à proteínas naturais, o qual pode ser produzido por microrganismos, animais e plantas onde desempenha papéis diferentes de acordo com o espécime (HE et al., 2019; PASSIOURA & SUGA, 2017).

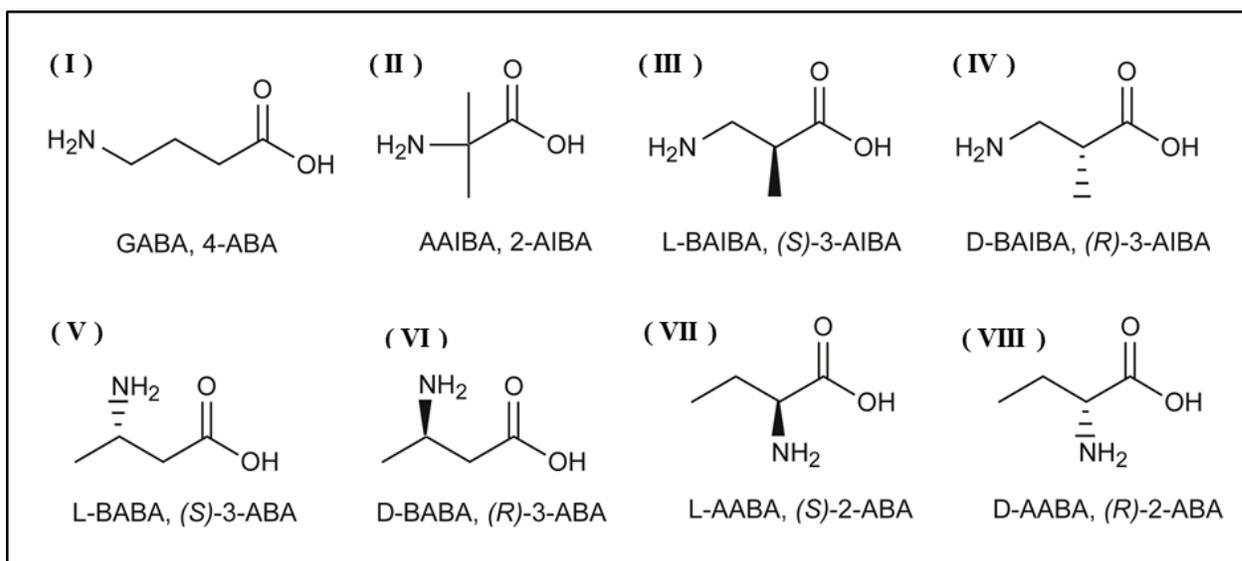


Figura 4. Estrutura molecular do (I) ácido gama-aminobutírico e seus isômeros

Fonte: VEMULA et al. (2017).

Em humanos, os níveis de GABA são aumentados quando em condição de patologia, como alguns tipos de câncer e em situações imunogênicas no caso de inflamações (KAISER et al., 2010), no entanto disfunções genéticas podem ocasionar na perda de enzimas específicas da via de produção desse aminoácido e, por

consequência, em doenças neurodegenerativas como Alzheimer, epilepsia e Parkinson (BUCHANAN et al., 2015; COLEMAN et al., 2001; TYAGI et al., 2015).

Atuando diretamente sobre as sinapses, impossibilitando o trânsito das correntes sinápticas, o GABA é capaz de regular o equilíbrio inibitório-excitatório do sistema nervoso central e células glandulares (RODRIGO et al., 2019; OH, KIM & LIM, 2019), além de agir como regulador da ansiedade (HE et al., 2019) e da pressão arterial e de estimular a produção de insulina no pâncreas, auxiliando na prevenção da diabetes tipo 2 (OHM, LEE & CHO, 2016).

De outro modo, nos microrganismos e plantas a síntese desse aminoácido é estimulada em situações de estresses abióticos como hipóxia (DING et al., 2016), frio (WANG, et al., 2019a), seca (SEVIK & CETIN, 2015), alcalinidade (WANG, et al., 2011), água oxidante eletrolisada (KIM, LEE, LIM & HAN, 2015) e salinidade (TUNG & NG, 2016).

Essas condições promovem o acúmulo de Ca^{2+} ou H^+ e calmodulina para regular o pH e o metabolismo de carbono e nitrogênio na região do citosol e que, após uma série de reações, resultam na biogênese da proteína ativadora da enzima glutamato descarboxilase (GAD), responsável por catalisar a reação de descarboxilação do L-glutamato e formar o GABA e dióxido de carbono (CO_2), Figura 5, (OH, KIM & LIM, 2019; BROWN & SHELP, 2016).

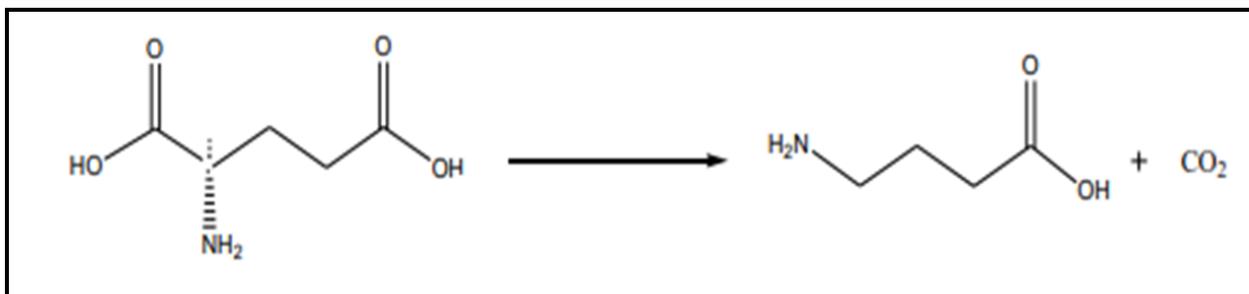


Figura 5. Reação de descarboxilação do L-glutamato e formação de GABA

Fonte: HAYAT et al. (2015).

O crescente interesse por esse composto tem sido demonstrado por diversas áreas de pesquisa como a da biotecnologia, farmacêutica e de alimentos, em virtude da sua relevância na produção de polímeros biodegradáveis e aplicação em embalagens

ativas, medicamentos fitoterápicos e suplementos alimentares, respectivamente (DIEZ-GUTIÉRREZ et al., 2020; LIM et al., 2018; PHAM et al., 2016; BOONSTRA et al., 2015).

Estudos com arroz mostram que o processo de germinação em grãos pode incrementar de forma significativa os teores deste metabólito. Chungcharoen et al., (2014) verificaram os efeitos do processo de germinação e temperatura de secagem sobre os teores de ácido gama-aminobutírico (GABA) e digestibilidade do amido de arroz integral germinado. Os autores reportam que todas as variáveis do processo devem ser monitoradas e ajustadas para que os teores de GABA não sejam afetados.

Jongyingcharoen & Cheevitsopon (2016), avaliaram o tratamento de UV-C na conservabilidade de grãos de arroz germinado com menor impacto no conteúdo de GABA do produto. Foi relatado pelos pesquisadores que o tempo e a intensidade de tratamento podem causar alterações no conteúdo final deste aminoácido e por isso deve ser controlados.

Tuntipopipat et al. (2015) avaliaram a influência do processo de parboilização dos grãos de arroz germinado na bioacessibilidade e captação do GABA, gama-orizanol, tocoferóis e tocotrienóis no intestino e sua eficiência na supressão do estresse oxidativo e efeito anti-inflamatório em células Caco-2. Os autores sugerem que a quantidade dos compostos bioativos presentes no grão seja mais relevante no combate aos causadores do estresse e inflamações.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Para a realização do presente estudo foram utilizados grãos de arroz pardo (*Oryza sativa* L.) pertencente a cultivar BRS Pampeira, cedida gentilmente pela Embrapa Clima Temperado - Estação Experimental Terras Baixas, localizada no município de Capão do Leão. O arroz em casca da safra 2017/18 estava armazenado a 16 °C em sacaria de polipropileno com teor de umidade de 13%, os grãos foram transportados para o Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (LABGRÃOS), do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) localizado na Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) situada no Campus Capão do Leão – UFPel (Figura 6), onde permaneceu sob as mesmas condições durante o desenvolvimento do trabalho, sendo realizado o descascamento somente antes de iniciar o processo de germinação induzida.

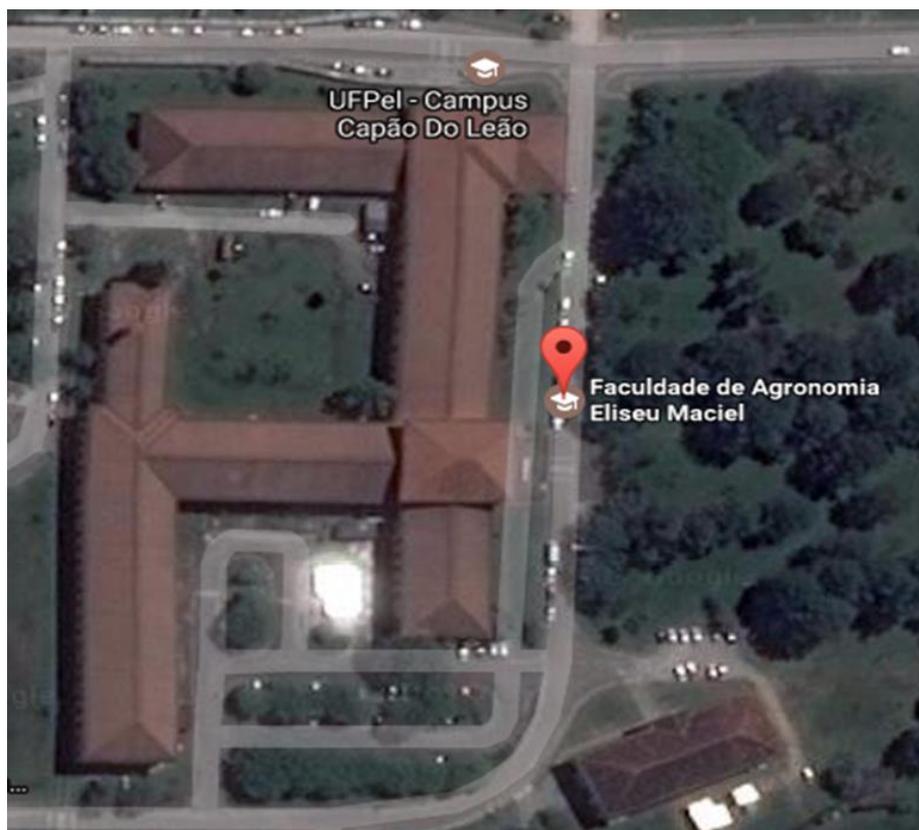


Figura 6. Sede da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

Fonte: Google Maps, 2020.

3.1.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental que visa avaliar o efeito do processo germinativo em diferentes condições sobre os parâmetros tecnológicos, nutricionais e sensoriais dos grãos está disposto na Tabela 1. O experimento consta de cinco tratamentos, compostos por um cultivar, quatro tipos de germinação, mais o arroz integral.

Tabela 1. Delineamento experimental para avaliar o efeito dos tratamentos nas propriedades tecnológicas e nutricionais do arroz

Variáveis independentes		Variáveis dependentes
Tratamentos	Condição de germinação	
1	Arroz integral (sem germinação)	Percentual de germinação
2	Arroz integral germinado	Perfil colorimétrico
3	Arroz integral germinado + estresse pelo frio	Tempo de cocção
4	Arroz integral germinado + estresse salino	Rendimento Gravimétrico
5	Arroz integral germinado + estresse salino	Rendimento Volumétrico
	Arroz integral germinado + estresse frio + estresse salino	Perfil Texturométrico
		Digestibilidade proteica
		Digestibilidade do amido
		Concentração de GABA
		Análise Sensorial

3.2 Métodos

3.2.1 Teste de germinação

O teste de germinação foi realizado seguindo a metodologia proposta por Hase & Kawamura (2012), com modificações. Primeiramente 100 grãos de arroz integral foram selecionados e macerados à 40°C por 4 horas e em seguida dispostos em papel filtro embebido em água destilada, o qual foi enrolado para manter os grãos separados e preservar a umidade do papel. Após, estes foram acomodados em câmaras do tipo BOD à 30°C e 80% de umidade durante 36 horas e logo após foi realizada a contagem dos grãos que apresentaram a plúmula aparente. Para esta amostra, encontrou-se o percentual de 94,9±2,0% de grãos germinados.

3.2.2 Germinação induzida

A germinação induzida das sementes de arroz foi realizada segundo metodologia proposta por Ng et al. (2013), com modificações. Inicialmente, os grãos foram imersos em solução de hipoclorito de sódio 2,5% (v/v) durante 20 minutos, em seguida lavados com água destilada até pH 7,0 e macerados a 40°C até os grãos atingirem 32% de umidade. Após os grãos foram acondicionados em câmaras do tipo BOD a 30°C e 80% de umidade relativa por um período de 36 horas intercalando 12 horas na presença e 12 horas na ausência de luz (simulando as condições de germinação que ocorrem no campo), e em seguida foram estressados em solução salina (NaCl) 5% (m/v), em baixa temperatura (4°C), e solução salina (NaCl) 5% (m/v) à 4°C durante as últimas 4 horas do processo. Os grãos germinados foram secos à 40°C em estufa com circulação de ar forçada até 13% de umidade.

3.2.3 Perfil colorimétrico

O perfil colorimétrico das amostras foi determinado usando colorímetro Minolta (Modelo CR-310, Osaka, Japão), que realizou leituras de cores em um sistema tridimensional, gerando os parâmetros L^* , a^* e b^* . O parâmetro L^* representa a luminosidade e pode variar de preto ($L=0$) a branco ($L=100$). Os valores das coordenadas a^* e b^* , variam de $-a$ (verde) até $+a$ (vermelho) e de $-b$ (azul) até $+b$ (amarelo), respectivamente, ilustrado na Figura 7.

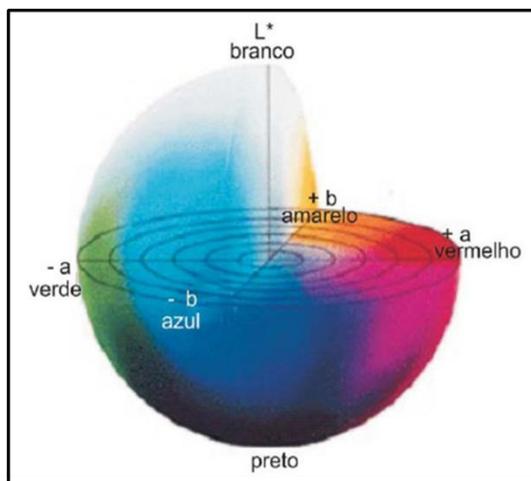


Figura 7. Diagrama de cores para os eixos L*, a* e b*

Autor: Minolta (1994).

3.2.4 Tempo de cocção

O tempo de cocção foi determinado de acordo com o teste de Ranghino com as adaptações realizadas por Mohapatra & Bal (2006). Quando 90% dos grãos apresentaram ausência do centro branco ao ser esmagado entre duas placas de Petri limpas o tempo de cocção, em minutos, foi registrado.

3.2.5 Rendimento gravimétrico

Para a determinação do rendimento gravimétrico foi utilizada a metodologia de Martinez & Cuevas (1989) com adaptações propostas por Mohapatra & Bal (2006). Foram pesados 30g de grãos, em seguida colocados em panelas de cocção e adicionados de água na proporção de 1:2,5 m/v e mantidos à 98±2 °C. Após passado o tempo de cocção previamente determinado, as panelas foram mantidas em repouso por 30 minutos e posteriormente pesadas em balança analítica. O rendimento volumétrico foi determinado a partir da Equação 1.

$$Rg = \left(\frac{Pf}{Pi} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

Rg = rendimento gravimétrico (%);

Pf = peso do arroz cozido (g);

Pi = peso do arroz cru (g).

3.2.6 Rendimento volumétrico

O rendimento volumétrico foi realizado conforme descrito conforme Martinez & Cuevas (1989) e adaptações feitas por Mohapatra & Bal (2006). Onde inicialmente foram pesados 30g de grãos e dispostos em panelas de cocção, em seguida foram realizadas cinco medidas, com o auxílio de paquímetro digital (Mitutoyo, Santo Amaro, SP, Brasil), da altura da massa de grãos e logo após foi adicionado água, na proporção de 1:2,5 m/v, e mantidos à 98 ± 2 °C pelo tempo de cocção pré-determinado. Após os grãos foram mantidos em repouso por 30 minutos e foram realizadas outras cinco medições da altura da massa de grãos. O rendimento volumétrico foi calculado a partir da Equação 2.

$$Rv = \left(\frac{Vf}{Vi} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

Rv = rendimento volumétrico (%);

Vf = volume da massa de grãos cozidos (cm³);

Vi = volume da massa de grãos crus (cm³).

3.2.7 Perfil textuométrico

Os grãos de arroz integral e germinados foram previamente cozidos conforme o item 3.2.4 e, em seguida, o perfil textuométrico dos grãos cozidos foi determinado utilizando o equipamento marca Stable Micro Systems Texture Analysers, modelo TA.XTplus, com uma célula de carga de 5kg aplicando uma compressão de dois ciclos (PARK et al., 2001), resultando no gráfico ilustrado na Figura 8. Os grãos cozidos foram pressionados até reduzir 90% do tamanho original, em uma velocidade de $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ com

um probe cilíndrico de 4,5 cm de diâmetro. As informações obtidas foram dureza, coesividade e mastigabilidade, definidas como a força necessária para deformar o grão, resistência do mesmo até o rompimento da sua estrutura e a quantidade de repetições necessárias para tornar o grão apropriado para a deglutição, respectivamente.

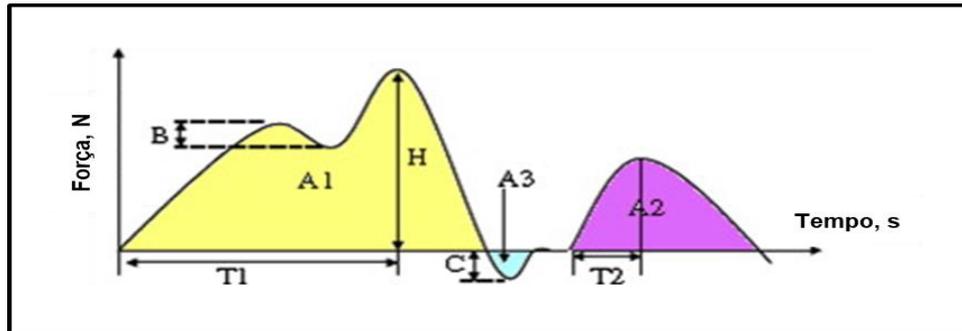


Figura 8. Curva estatística do perfil de textura. H = Dureza; A3 = Adesividade; A2/A1 = Coesividade, B = Fraturabilidade; T2/T1 = Elasticidade; $H \times A2/A1 \times T2/T1$ = Mastigabilidade; $H \times A2/A1$ = Gomosidade

Autor: CHEN & OPARA (2013), traduzido.

3.2.8 Digestibilidade proteica

A digestibilidade das proteínas foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Tavano et al. (2016). Pesou-se 1g de amostra e misturou-se em 25 mL de água destilada, colocou-se em banho-maria a 37 °C e ajustou-se o pH para 8, com adição de hidróxido de sódio e ácido clorídrico, e então foi adicionado 3 mL de solução enzimática, contendo 2,5 mg.mL⁻¹ de tripsina e 1,6 mg.mL⁻¹ de pancreatina, e verificou-se a queda do pH no tempo de 10 min. Os resultados foram expressos em porcentagem de digestão.

3.2.9 Digestibilidade do amido

A digestibilidade *in vitro* do amido foi realizada conforme a metodologia proposta por Dartois et al. (2010) com as adaptações sugeridas por Batista et al. (2019), simulando condições gástricas e intestinais. Foram pesados 25 g de grãos de arroz cozido, os grãos foram submetidos a um processo de moagem em processador de bancada com o objetivo de simular o processo de mastigação dos grãos. Após, os grãos foram acondicionados em reator de vidro encamisado e adicionado 70 mL de água destilada, sendo a temperatura mantida a 37±1 °C. Posteriormente o pH da solução foi ajustado para 1,2 com ácido clorídrico (0,5 M) e logo em seguida foi

adicionado o fluido gástrico simulado (SGF), contendo pepsina. Alíquotas de 0,5 mL foram retiradas nos tempos 0, 15 e 30 min de digestão. Para simular as condições do intestino delgado, o pH foi reajustado para 6,8 com hidróxido de sódio (0,5M) e em seguida adicionado o fluido intestinal simulado (SIF) contendo pancreatina, amiloglucosidase e invertase. Alíquotas de 0,5 mL foram retiradas nos tempos 0, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90 min de digestão e colocadas em tubos falcon contendo 3 mL de etanol absoluto para paralisar a reação.

As amostras foram incubadas com solução contendo amiloglucosidase e invertase, conforme descrito por Dartois et al. (2010), e em seguida analisado utilizando o kit D-glucose assay (GOPOD-FORMAT, K-GLUC 05/2008, Megazyme International Ireland Ltd., Ireland). Os resultados foram calculados a partir das Equações 3 e 4, apresentadas a seguir, e expressos em porcentagem de amido hidrolisado.

$$\%SH = \frac{Sh}{Si} \quad (3)$$

Onde:

%SH = percentual de hidrólise do amido (total);

Sh = quantidade de amido hidrolisado (g);

Si = quantidade inicial de amido (g).

$$= Cf \cdot \frac{Gp}{Si} \quad (4)$$

Onde:

GP = quantidade de glicose produzida (g);

Cf = fator de conversão calculado a partir do peso molecular do monômero de amido/peso molecular da glicose (162/180 = 0,9).

3.2.10 Ácido gama-aminobutírico

A extração e quantificação do ácido gama-aminobutírico foram realizadas de acordo com o método descrito por Baranzelli et al. (2018). Resumidamente, 1 g de amostra foi extraída com 5 mL de metanol a 90% (v/v). A mistura foi agitada no vórtex

por 10 minutos, sonicada por 15 minutos à temperatura ambiente e centrifugada a 2500 x g por 10 minutos. O sobrenadante foi coletado e o resíduo re-extraído duas vezes nas mesmas condições. Os sobrenadantes foram misturados (resultando em 15 mL de extrato), filtrados através de um filtro de seringa de nylon de 0,22 µm. Em seguida, 10 µL do extrato foram injetados em um sistema LC-ESI-QToF-MS em um cromatógrafo líquido ultra-rápido (UFLC, Shimadzu, Japão) acoplado a um espectrômetro de massa com tempo de voo em quadrupolo (Maxis Impact, Bruker Daltonics, Alemanha) com uma fonte de ionização por electropulverização. Uma coluna de hidreto de diamante (100 mm x 2,1 mm; 2,2 µm) (Microsolv Technology Corporation, EUA) foi utilizada para análise.

As fases móveis foram acetato de amônio 0,1 mM em água (solvente A) e acetato de amônio 0,1 mM em acetonitrila: água (95: 5, v / v) (solvente B). A fase móvel inicial foi de 100% da solução A, que foi aumentada linearmente com a solução B até 5% em 6,0 min. Aos 6,1 min, o gradiente foi elevado a 90% da solução B e mantido constante até 10 min. A fase móvel foi então reiniciada para 100% da solução A em 12 minutos para a próxima injeção. O fluxo foi de 0,2 mL min⁻¹ e o forno da coluna foi mantido a 40 ° C. O espectrômetro de massa foi operado no modo ESI positivo, onde os espectros foram adquiridos em uma faixa de massa de m / z 50 a 1200. Para a quantificação, uma curva de calibração externa com o padrão GABA foi preparada (Sigma Aldrich, 97% de pureza) na faixa de concentração de 7–1000 ng.mL⁻¹. O software QuantAnalysis (Bruker Daltonics, Alemanha) foi utilizado para processar as curvas de calibração e os dados de quantificação e os resultados foram expressos em µg.g⁻¹.

3.2.11 Análise sensorial

3.2.11.1 Análise temporal das sensações

O teste de dominância temporal das sensações (TDS) foi realizado seguindo os protocolos de Pineau et al. (2009), com uma equipe de avaliadores selecionados com base na aptidão sensorial. Doze consumidores de arroz foram recrutados para a análise. Após os testes triangulares, os avaliadores estavam familiarizados com o

software SensoMaker e treinados para reconhecer os sabores específicos para descrever as amostras. Após o treinamento, os testes definitivos foram realizados em triplicatas. Durante a análise sensorial, os avaliadores foram solicitados a escolher a sensação dominante durante o tempo de ingestão, que era o sabor dominante percebido pelos avaliadores com maior clareza e intensidade entre os outros sabores em uma lista predefinida. Uma duração de 30 segundos foi determinada como o tempo para analisar cada amostra. Os seguintes atributos foram avaliados durante a análise: gosto amargo, doce, metálico, firme, solto, palha, arenáceo e salgado.

3.2.11.2 Avaliação de atributos sensoriais

Para avaliação dos atributos sensoriais, 20 pessoas treinadas de todas as idades foram recrutadas. Os avaliadores foram informados sobre os procedimentos de pesquisa e o consentimento informado para participar do estudo foi obtido de todos. Os avaliadores foram treinados em três sessões de 15 minutos. Os termos foram selecionados avaliando a frequência com que apareceram, e os sinônimos ou termos raramente citados consensualmente foram eliminados. No total, foram avaliados 8 termos (cor marrom, sabor amargo, sabor metálico, sabor doce, sabor salino, não pegajoso, textura de areia e maciez).

O método descritivo foi utilizado com o teste de perfil de atributo para os grãos de arroz cozido, com a escala não estruturada de 9 pontos de vista como características sensoriais dos grãos de arroz submetidos a diferentes tensões. As amostras foram codificadas com três dígitos aleatórios e 10 g da amostra foram servidos aos participantes em pratos de porcelana. O teste foi realizado em cabines individuais, com luz branca, livre de ruídos e odores, no meio das refeições principais. Todos os experimentos realizados neste estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Pelotas, Brasil.

3.2.12 Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata e os resultados submetidos à análise de variância (ANOVA) e à comparação de médias pelo teste de Tukey, com nível de 5% de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perfil colorimétrico

A primeira impressão que o consumidor tem ao se deparar com um produto é visual e uma alternativa para facilitar a aceitação de um produto novo no mercado é torna-lo semelhante visualmente ao que já está consolidado no mercado. Desta forma, o perfil colorimétrico do arroz integral e do arroz integral germinado nas diferentes condições está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Perfil colorimétrico dos grãos de arroz integral e germinados sob diferentes condições

Parâmetros de cor	AI	Condição de germinação			
		AIG	AIG/F	AIG/S	AIG/C
Luminosidade	60,84±1,16 ^a	57,02±1,90 ^b	58,63±2,40 ^{ab}	58,29±2,75 ^{ab}	57,98±1,95 ^b
Chroma a	0,36±0,27 ^c	1,85±0,83 ^b	2,58±0,68 ^{ab}	2,85±0,49 ^a	2,80±0,67 ^a
Chroma b	20,67±0,94 ^b	21,87±1,35 ^{ab}	22,89±1,61 ^a	22,70±1,06 ^a	22,66±0,97 ^a

*Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). AI: Arroz integral; AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal.

Os grãos de arroz submetidos apenas à germinação induzida apresentaram luminosidade mais baixa que o arroz integral. Esse escurecimento pode ter ocorrido devido a reações enzimáticas, como a oxidação de flavonoides presentes no pericarpo (camada da testa e aleurona) do arroz integral, que estão presentes em quantidades muito baixas nas variedades pardas (DÍAS, CALDAS & BLAIR, 2010).

As mudanças na coloração dos grãos também podem ter ocorrido devido à reação de Maillard. Nesse caso, açúcares redutores e aminoácidos reagem entre si a temperaturas acima de 40 °C para formar compostos marrons insolúveis e outros compostos com peso molecular intermediário que também exibem coloração escura (FINNIE, BROVELLI & NELSON, 2019). Os compostos de baixo peso molecular utilizados como substratos são gerados pelas ações das enzimas amilolíticas e proteolíticas, que reduzem os carboidratos e as proteínas de reserva de grãos.

4.2 Tempo de cocção

Outro quesito levado em consideração pelos consumidores no momento de decidir qual produto comprar é o tempo que este necessita para tornar-se apto para o consumo. Assim, o tempo de cocção dos grãos de arroz integral e germinado em diferentes condições está apresentado na Figura 9.

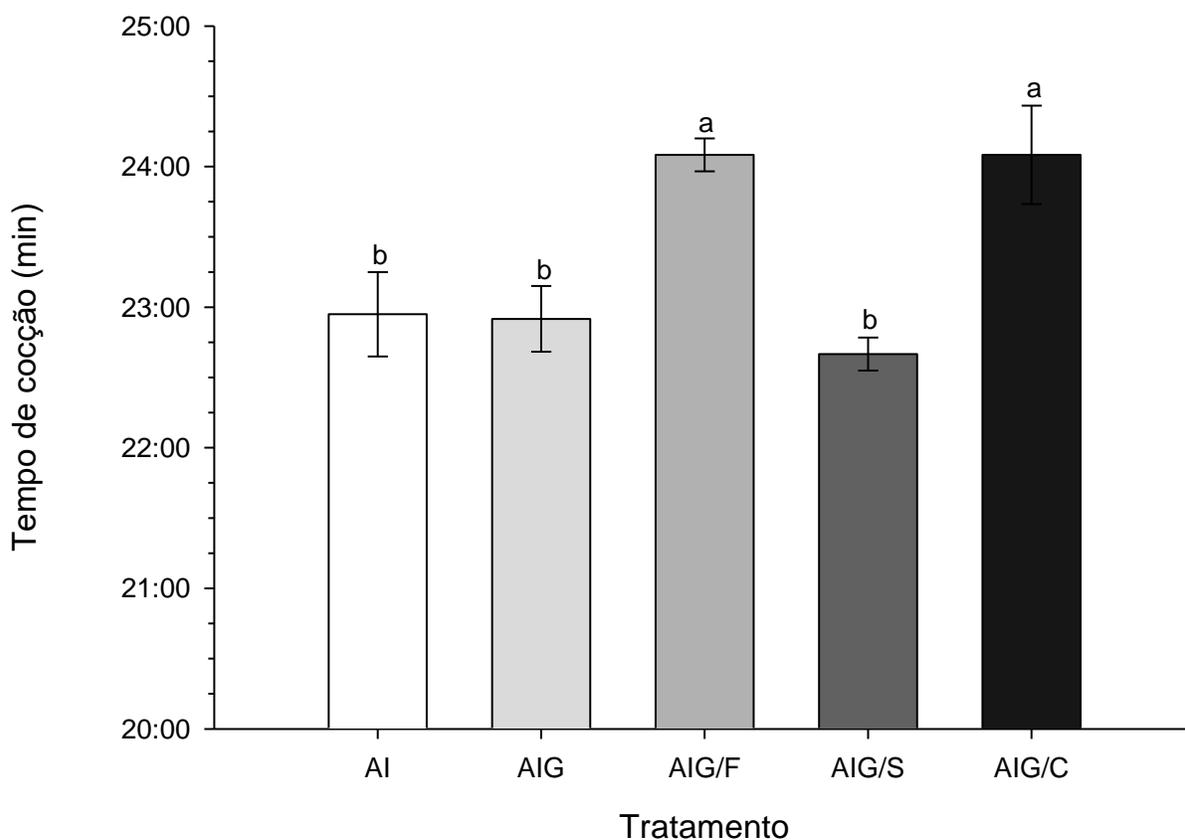


Figura 9. Tempo de cocção dos grãos de arroz integral (AI) e germinado sob diferentes condições. AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal.

As amostras AI, AIG e AIG/S não diferiram entre si, apresentando valor reduzido no tempo de cocção quando comparado aos tratamentos AIG/C e AIG/F, variando de 22:45 à 24:20. Tendo em vista que o tempo de cocção do arroz integral é maior que o arroz polido, estes valores encontram-se coerentes com os obtidos por Batista et al. (2019) e Ziegler et al. (2018), onde ambos constataram valores em torno de 23:00 para cocção de arroz integral de diferentes cultivares de arroz pardo. Nos dias atuais há uma

incessante busca por alimentos com maior praticidade aliada à elevada qualidade nutricional devido aos novos hábitos da sociedade moderna (BATISTA et al., 2019), assim, o arroz que apresenta menor tempo de cocção é preferido pelo consumidor.

O grão de arroz é considerado cozido quando os grânulos de amido que foram expostos à umidade e calor acima de 60 °C, por um determinado período de tempo, rompem as ligações das cadeias de amilose e posteriormente de amilopectina presentes nos grânulos de amido, perdendo assim a sua birrefringência frente a um feixe de luz (PARAGINSKI et al., 2014a). A germinação, por sua vez, altera a conformação dos grânulos de amido e suas propriedades de pasta devido à atividade da enzima alfa-amilase (WANG et al., 2019b). Essa enzima atua rompendo interações entre os monômeros de glicose e com isso promove a abertura da estrutura do amido, entretanto, o frio aplicado como estresse abiótico pode dificultar a ação dessa enzima bem como propiciar a formação de zonas cristalinas pela aproximação das cadeias de polissacarídeos e demais estruturas internas, o que justificaria o maior tempo de cocção do AIG/F (KEETELS, VAN VLIET & WALSTRA, 1996).

4.3 Rendimento gravimétrico e volumétrico

Assim como o tempo de cocção dos grãos, a maneira como ele se comporta durante e depois de preparado são de extrema importância para o consumidor (PARAGINSKI et al., 2014b). À vista disso, os resultados obtidos para o rendimento gravimétrico (Tabela 3) demonstram uma queda abrupta nos valores após a germinação, sendo mais evidenciado no AIG/F. Da mesma maneira, o rendimento volumétrico foi menor para o tratamento com uso exclusivo do frio.

Tabela 3. Rendimento gravimétrico e volumétrico dos grãos de arroz integral e germinados sob diferentes condições

Rendimento (%)	AI	Condição de germinação			
		AIG	AIG/F	AIG/S	AIG/C
Gravimétrico	329,1±1,84 ^a	246,02±0,25 ^b	240,6±1,27 ^c	247,15±0,64 ^b	248,65±1,77 ^b
Volumétrico	245,09±1,58 ^a	248,38±1,51 ^a	208,86±1,22 ^b	254,57±12,3 ^a	247,51±6,22 ^a

*Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

AI: Arroz integral; AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal.

A germinação por curtos períodos de tempo pode atuar auxiliando na absorção de água pela abertura da estrutura nas regiões cristalinas, porém períodos mais longos podem promover o desligamento das moléculas de glicose presentes nas cadeias de amilose e amilopectina, assim como das cadeias peptídicas (SHARMA & GUJRAL, 2019; SINGH, SHARMA & SINGH, 2017). O que dificultaria a retenção do líquido no seu interior após a cocção. Da mesma maneira, a aproximação das estruturas internas dos grãos causados pelo frio, citados na sessão 4.3, podem ser relacionadas aos menores rendimentos, tanto gravimétrico quanto volumétrico.

4.4 Perfil textuométrico

A textura, principalmente a dureza e a aparência do arroz após o cozimento, são as características que definem a aceitabilidade de uma cultivar ou de um novo produto que chega ao mercado (CHEN & OPARA, 2013). Os grãos AIG/F foram mais resistentes ($p < 0,05$) ao esmagamento e mastigação do que o arroz integral não germinado. No entanto, os grãos AIG/S e AIG/C exibiram capacidade de esmagamento e mastigação semelhantes aos do arroz integral não germinado (Tabela 4).

Tabela 4. Perfil textuométrico dos grãos de arroz integral e germinados em diferentes condições

Parâmetros de textura	AI	Condição de germinação			
		AIG	AIG/F	AIG/S	AIG/C
Dureza (g)	7502,67±	8399,63±	9192,51±	7849,82±	8033,21±
	1125,0 ^c	720,00 ^{ab}	862,00 ^a	605,00 ^{bc}	738,00 ^{bc}
Coésividade	0,36±0,04 ^{ab}	0,37±0,02 ^{ab}	0,39±0,02 ^a	0,35±0,02 ^b	0,36±0,02 ^b
Mastigabilidade (g.seg ⁻¹)	1155,42±	1348,91±	1576,43±	995,03±	1153,62±
	424,0 ^b	359,9 ^{ab}	440,00 ^a	216,90 ^b	416,00 ^b

*Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey (p<0,05).

AI: Arroz integral; AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal.

A germinação estimula as sementes a produzir novos tecidos para fortalecer a parede celular, o que pode ser ainda mais acentuado sob alguns tipos de estresse (MENDOZA-SANCHEZ et al., 2016, ACOSTA-ESTRADA, GUTIÉRREZ-URIBE & SERNA-SALDIVAR, 2014). A parede celular reforçada dificulta o acesso ao amido presente nos amiloplastos de grãos para gelatinização e conseqüentemente aumenta a dureza dos grãos.

O estresse pelo frio também pode ocasionar o aumento da formação de amido resistente devido à retrogradação e compactação do amido (DOAN et al., 2019). A coesão dos grãos do grupo AIG/F e AIG foi maior que a dos grãos do grupo AIG/S e arroz integral, devido a maior dificuldade de penetração da água através das camadas externas do grão. Tamura et al. (2016) relataram que as camadas externas do grão contêm os maiores teores de lipídios e fibras. A mastigabilidade foi afetada de maneira semelhante com a formação de novos tecidos no grão.

4.5 Digestibilidade proteica

A maior digestibilidade proteica foi observada nos grãos de arroz integral, seguidos pelos grãos AIG, AIG/S, AIG/C e AIG/F. Portanto, os grãos do grupo de tratamento AIG/F requerem mais tempo para digestão e conseqüente absorção de proteínas (Figura 10).

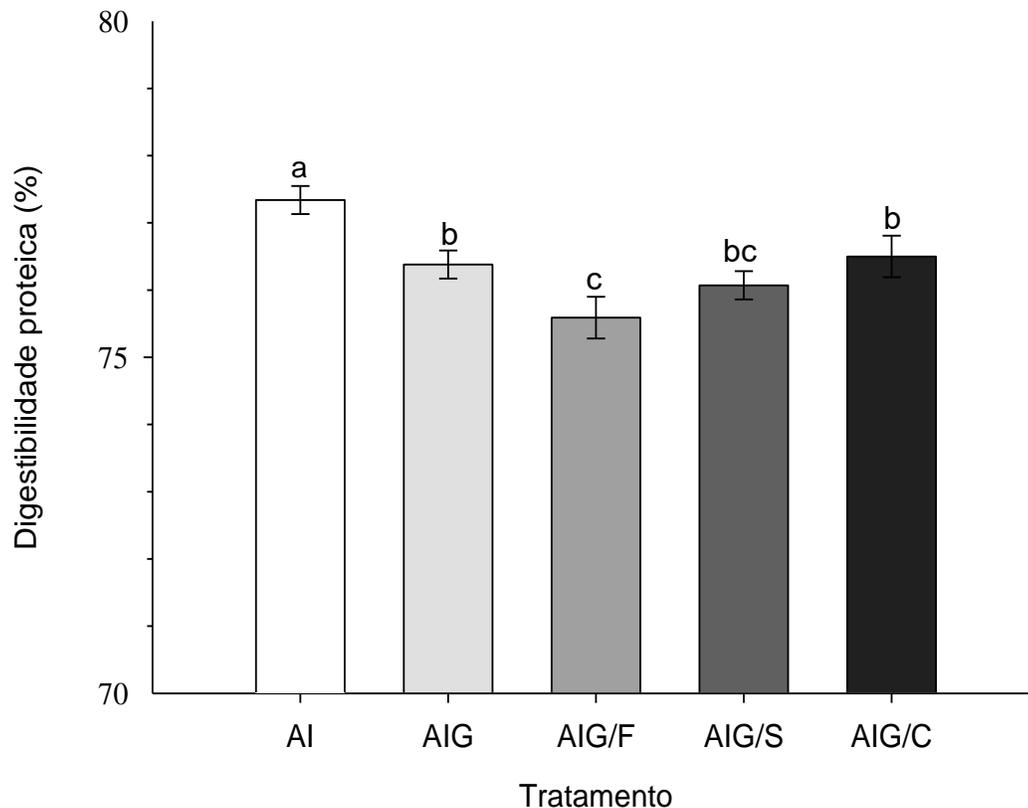


Figura 11. Digestibilidade das proteínas dos grãos de arroz integral (AI) e germinados em diferentes condições. AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal.

Para que uma proteína seja nutritiva ela não depende só do seu valor quantitativo, mas de outros fatores como a qualidade e disponibilidade dos seus aminoácidos e da digestibilidade dos mesmos. Digestibilidade essa que é entendida como sendo a hidrólise das proteínas pelas enzimas digestivas até que seja reduzido a aminoácidos para que possam ser absorvidos pelo organismo (DANGIN et al., 2001).

Os resultados obtidos nesta pesquisa contradizem os encontrados por Chungcharoen et al., 2014, Ng et al., 2013 e Wu et al., 2013a, que relataram que a digestibilidade da proteína aumenta após a germinação. No entanto, outros estudos como o de Cornejo et al. (2015) reporta que a digestibilidade das proteínas diminui quando o tempo de germinação excede 24 horas, devido sua utilização na síntese de novos tecidos de difícil digestão, vindo ao encontro dos resultados obtidos neste estudo.

Outro fator que pode ser relacionado com a redução da digestibilidade proteica é a reação de Maillard (LAMBERTS et al., 2012). Onde a combinação dos aminoácidos e os monossacarídeos redutores formados durante o processo de germinação induzida é favorecida em temperaturas acima de 40 °C, condição em que os grãos foram expostos durante a secagem (SIRISOONTARALAK et al., 2015; CHEVITSOPON & NOOMHORM, 2011). A complexação destes compostos os torna difíceis de serem digeridos pelo organismo humano.

4.6 Digestibilidade do amido

A germinação induzida e controlada promoveu alterações na digestibilidade do amido (Figura 11). A digestão gástrica simulada de grãos de arroz não resultou em liberação de glicose devido à ausência de enzimas amilase na fase gástrica. Entretanto, a hidrólise do amido (%) aumentou durante o processo de digestão intestinal simulada.

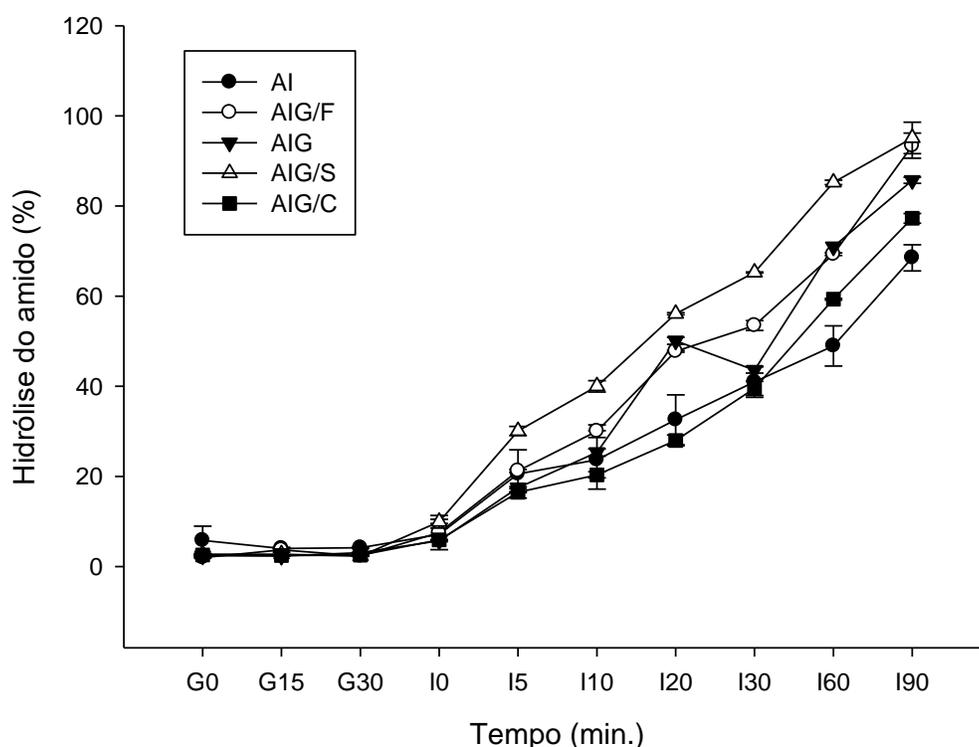


Figura 12. Digestibilidade do amido dos grãos de arroz integral (AI) e germinados em diferentes condições. AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal.

A hidrólise do amido dos grãos de AIG/S foi significativamente ($p < 0,05$) superior à dos grãos de arroz integral. Ao final da digestão no intestino delgado, os grãos AIG/S exibiram uma liberação de glicose mais alta (95%) do que os grãos AIG (80%). A ação enzimática aumentada, induzida pelo estresse pode ter causado maiores danos à estrutura do amido e, conseqüentemente, propiciou a liberação de açúcares simples. Indicando que a liberação de glicose dos grãos é aumentada sob condições de estresse. A digestão e absorção do amido são fatores importantes para o metabolismo da dieta rica em amido (HU et al., 2004). A liberação mais lenta de glicose durante a digestão pode indicar um prolongamento da saciedade ou sensação de comer novamente (GOEBEL et al., 2019).

Durante a germinação, a produção de enzimas é estimulada para digerir as moléculas de reserva presentes nos grãos. (XIA et al., 2017). As enzimas alfa-amilase catalisam a hidrólise de ligações glicosídicas entre os monossacarídeos amilose e amilopectina e liberam açúcares simples (DING et al., 2018). A ação enzimática resulta em menor tamanho de partícula e, posteriormente, os monômeros são facilmente acessíveis para enzimas digestivas. Além disso, os espaços criados na estrutura dos grãos após a germinação facilitam a ação das enzimas presentes no sistema digestivo humano (WU et al., 2013b).

A maior digestibilidade após a germinação foi relatada para outros grãos, como grão de bico (XU et al., 2012), lentilha (FRIAS et al., 1998) e arroz (DING et al., 2018; CHUNGCHAROEN et al., 2014). Vários estudos sugerem que o aumento da digestibilidade durante a germinação pode ser devido à degradação da cadeia do amido pelas enzimas amilolíticas, o que aumenta a acessibilidade das cadeias às enzimas digestivas. Também foi relatado que a digestibilidade do amido é influenciada pela morfologia dos grânulos, grau de cristalinidade e estrutura molecular da amilopectina (TAMURA et al., 2016).

4.7 Ácido gama-aminobutírico

Os níveis de ácido gama-aminobutírico (GABA) aumentaram com o processo de germinação e foram melhorados com a exposição às condições de estresse (Figura 12).

Isso pode ser devido à atividade enzimática aprimorada durante o processo de germinação.

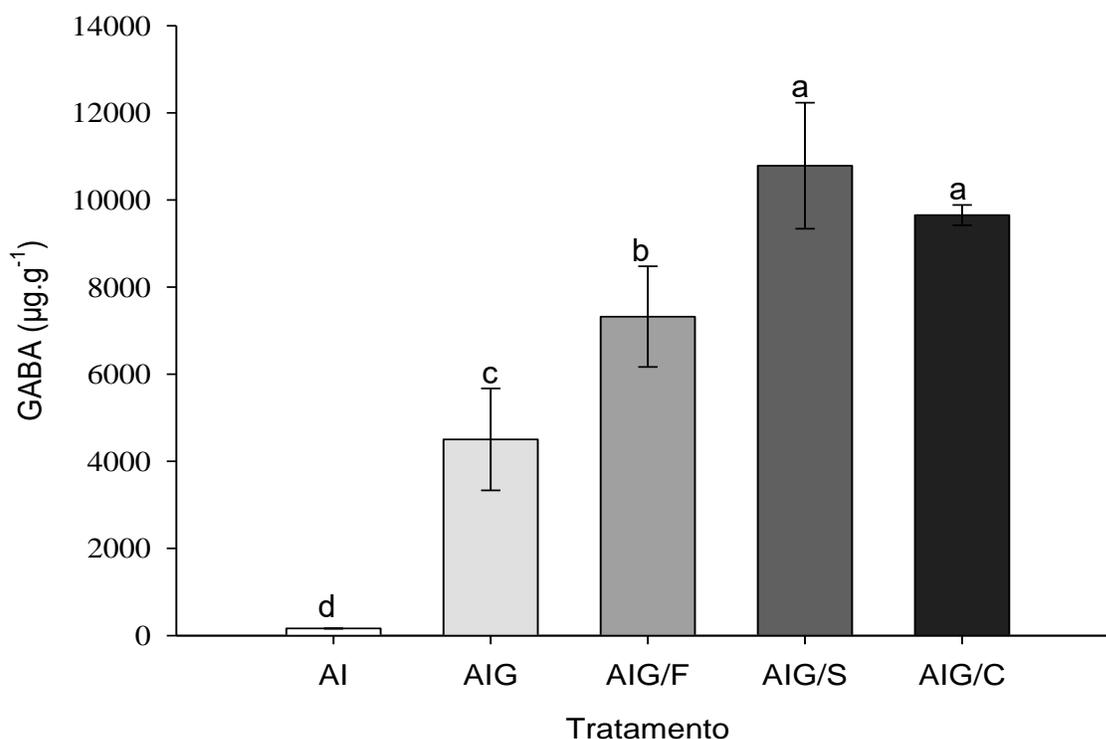


Figura 13. Conteúdo de GABA dos grãos de arroz integral (AI) e germinados em diferentes condições. AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal.

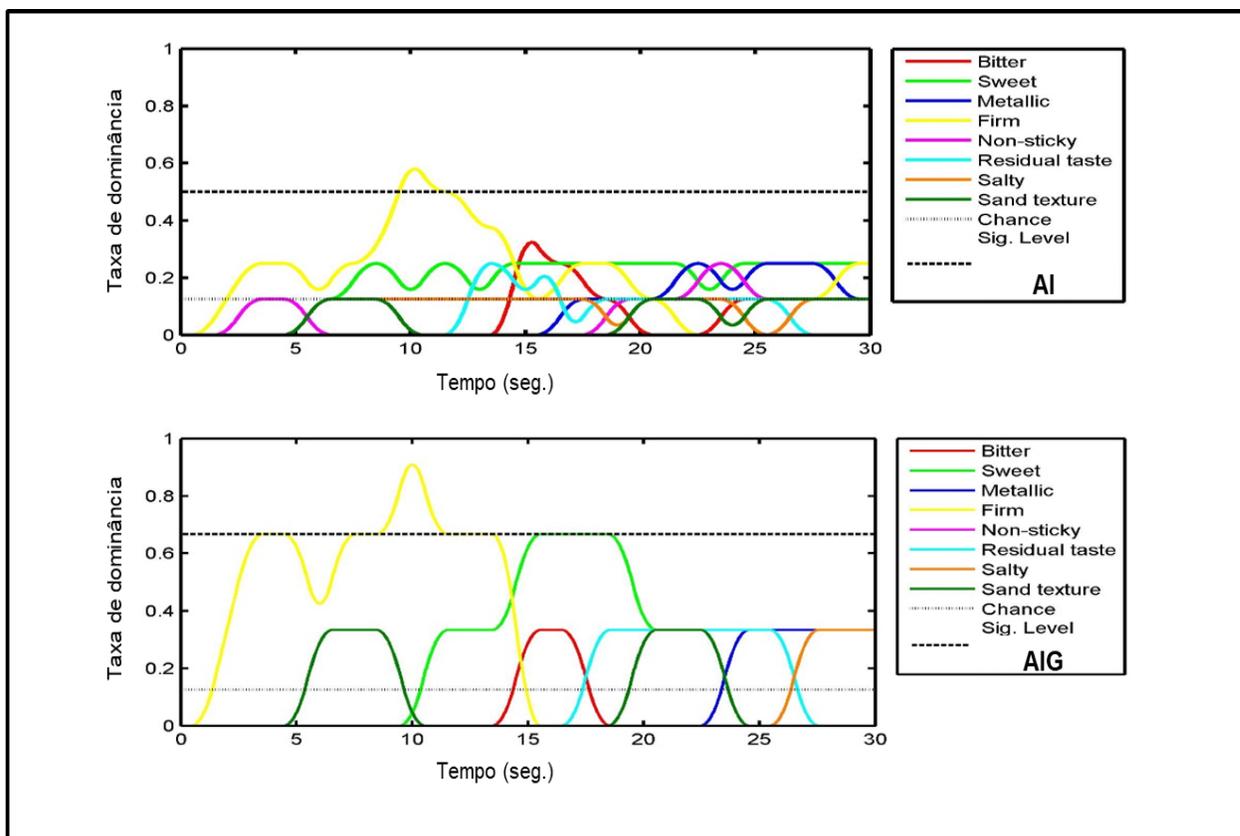
A ação enzimática é necessária para atender a demanda de energia e da formação de novos tecidos (KIM et al., 2015; CHUNGCHAROEN et al., 2014). Sob condições de estresse, os mecanismos de defesa são ativados e o metabolismo e a produção de GABA são alterados. Além disso, quantidades maiores de metabólitos são produzidas devido ao estímulo para fortalecer a parede celular (MENDOZA-SÁNCHEZ et al., 2016). Embora os grãos do grupo AIG/F exibissem maior produção de GABA comparado ao AI e AIG, as concentrações encontradas foram inferiores aos dos grãos AIG/S e AIG/C, indicando que o sal apresenta maior influência neste parâmetro. Isso pode ser devido à atividade metabólica reduzida das enzimas em temperaturas mais baixas (RAZAVI, BLAGODATSKAYA, & KUZYAKOV, 2016)

Outros estudos também relataram níveis aumentados de GABA após a exposição a vários estresses abióticos durante a germinação: (a) hipóxia, $8183,2 \pm 1002,1 \mu\text{g.g}^{-1}$ aumentando em 30 vezes (DING et al., 2016), (b) condições de frio e congelamento, $1869 \pm 0,090 \mu\text{g.g}^{-1}$ aumentando em 50 vezes (MAZZUCOTELLI et al., 2006) e (c) secagem ao sol, $348,4 \pm 27,8 \mu\text{g.g}^{-1}$ aumentando 35 vezes (CÁCERES et al., 2017), quando comparado com os valores iniciais de cada amostra não tratada respectiva. Esses valores foram inferiores aos obtidos neste estudo, onde o conteúdo de GABA foi de $10785,5 \pm 1446,8 \mu\text{g.g}^{-1}$ nos grãos AIG/S, aumentando 65 vezes seu conteúdo inicial.

4.8 Análise sensorial

4.8.1 Análise temporal das sensações

A Figura 13 mostra a análise temporal das sensações dos grãos de arroz integral, AIG, AIG/F, AIG/S e AIG/C, em que cada curva representa a dominância de um atributo ao longo do tempo.



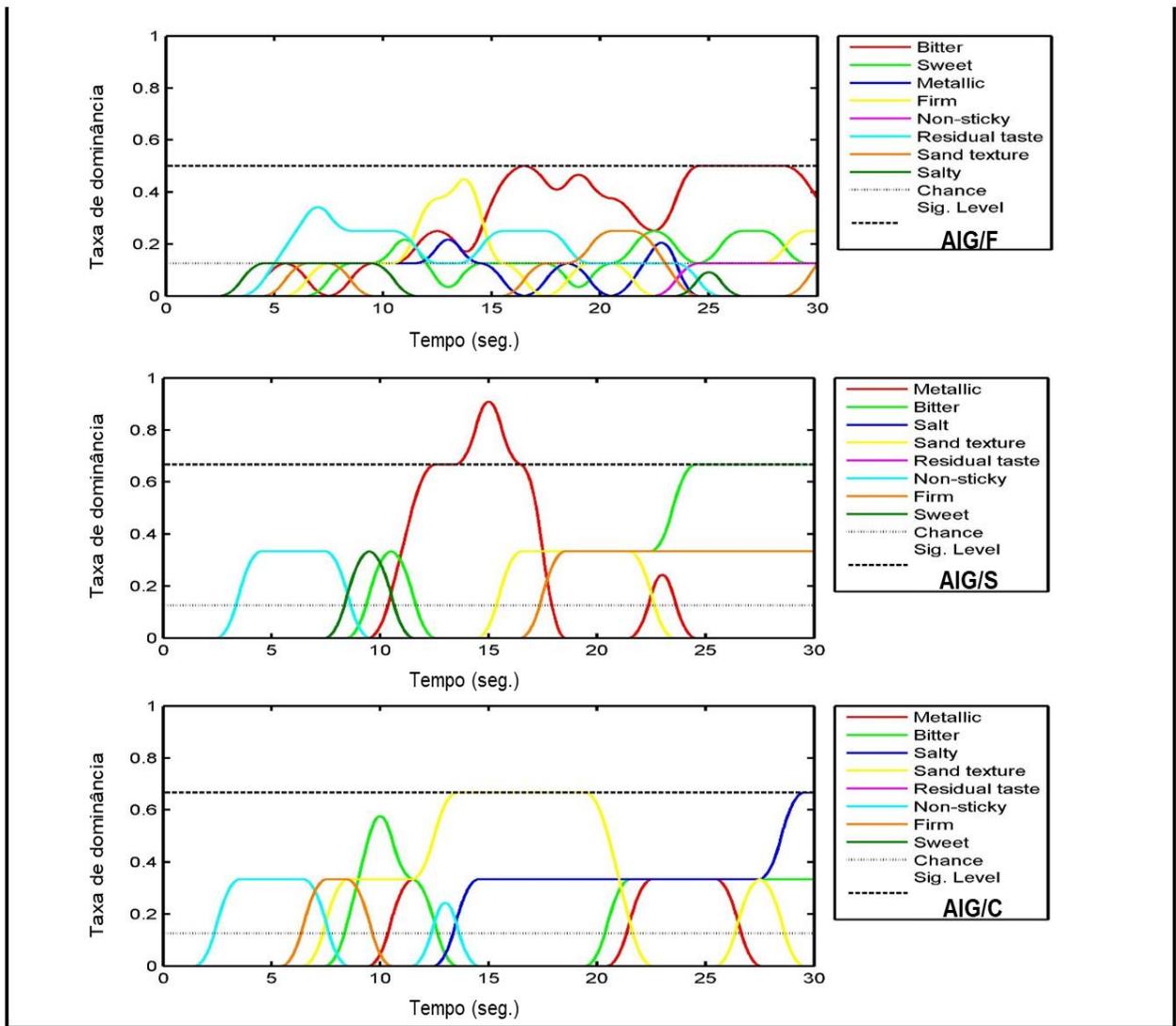


Figura 14. . Análise temporal das sensações das amostras de arroz integral (AI) e germinado nas diferentes condições. AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal; “*Metallic*” (“sabor metálico”); “*Bitter*” (“sabor amargo”); “*Salty*” (“sabor salgado”); “*Sand texture*” (“textura arenosa”); “*Residual taste*” (“sabor residual”); “*Non-sticky*” (“não-pegajoso”, “solto”); “*firm*” (“firme”, “rijo”); “*Sweet*” (“sabor doce”); “*Chance*” (“nível de chance”); “*Sig. Level*” (“nível significativo”).

A análise por TDS revelou que a sensação de dureza do arroz integral apresentou uma taxa de dominância máxima de 0,58. Assim, os avaliadores consideraram a sensação de dureza como a mais dominante. Essa percepção foi mantida ao longo da análise. No entanto, os avaliadores relataram menor intensidade de dureza após 20 segundos. Maior firmeza e sabor doce foram notados nos grãos de AIG. A firmeza mostrou uma alta taxa de dominância de 0,66 aos 4 segundos e de 0,90 aos 10 segundos. A maior dureza dos grãos coincidiu com os dados de firmeza obtidos pelo texturômetro, conforme discutido na seção 4.4.

Durante o período proposto, o atributo textura foi menos percebido e o sabor amargo, residual, sabor metálico, sabor salgado e textura arenosa foram os atributos mais percebidos pelos avaliadores. O sabor amargo nos grãos AIG/F foi percebido pelos avaliadores com a maior taxa de dominância de 0,5 aos 15 e 25 segundos, o que também foi percebido nos grãos AIG/S aos 24 segundos e perduraram até o final da análise com taxa de dominância máxima de 0,68. O gosto metálico foi percebido pelos avaliadores após 12 segundos com uma taxa de dominância máxima de 0,97, indicando que quase todos os avaliadores perceberam esse atributo.

Os avaliadores perceberam textura arenosa e sabor salgado nos grãos AIG/S no final do teste (aos 28 segundos), com uma taxa de dominância máxima de 0,69 para ambos os atributos. As sensações percebidas no TDS coincidiram com as características normalmente encontradas no arroz integral e foram acentuadas com a exposição a diferentes estresses. Bett-Garber et al. (2012) relataram que as sensações de adstringência e sabor amargo do arroz integral estão associadas aos polifenóis presentes nas camadas de testa e de aleurona, mantidas no arroz integral, bem como a textura mais firme.

4.8.2 Avaliação de atributos sensoriais

Para a interpretação dos escores atribuídos pelos avaliadores aos grãos analisados expostos aos diferentes estresses, foram utilizadas as duas primeiras dimensões da análise de correspondência com uma explicação acumulada de 87,2% da variabilidade dos dados, como mostra a Figura 14.

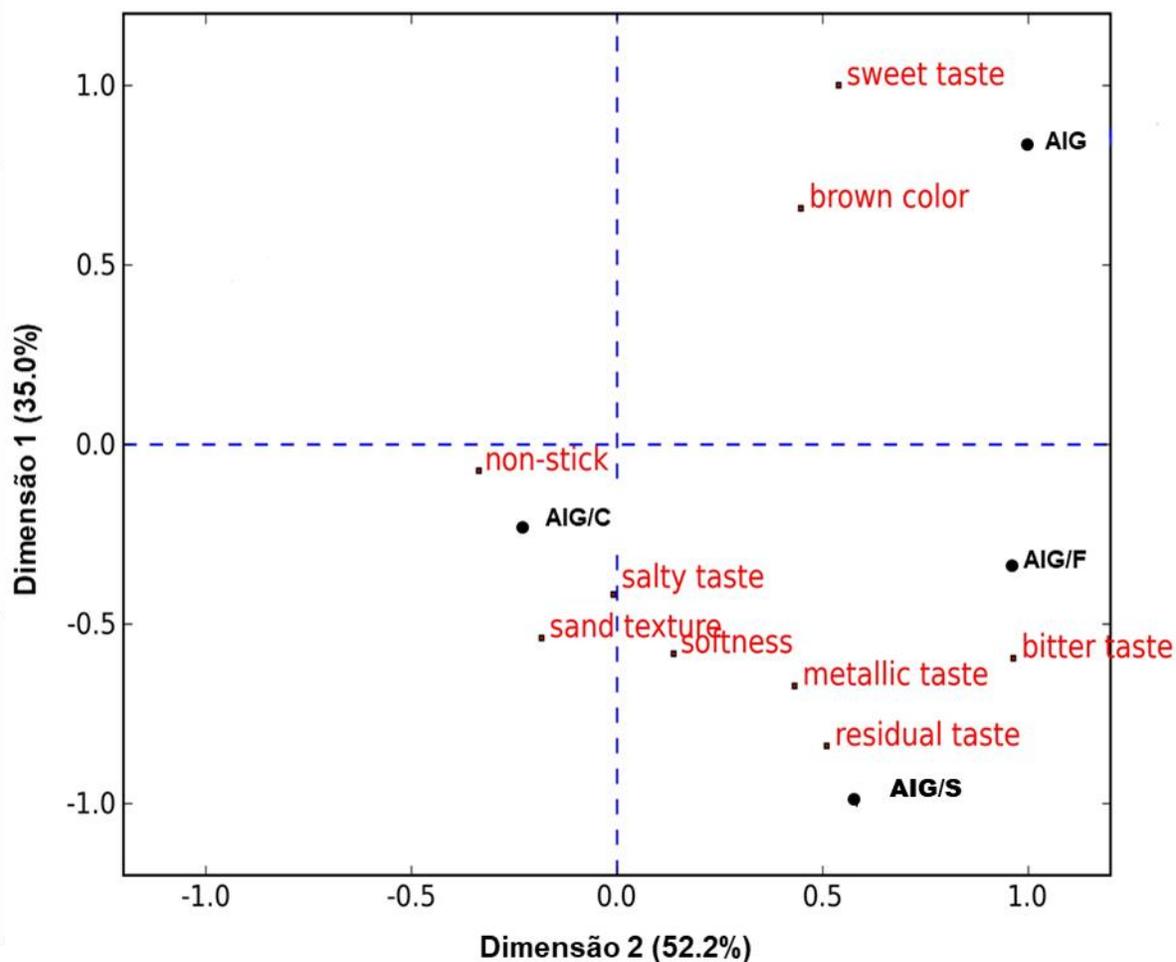


Figura 15. Biplot de correspondência do arroz germinado nas diferentes condições. AIG: Arroz integral germinado; AIG/F: Arroz integral germinado e estressado pelo frio; AIG/S: Arroz integral germinado e estressado pelo sal; AIG/C: Arroz integral germinado e estressado com a combinação do frio e sal; “*sweet taste*” (“sabor doce”); “*brown color*” (“coloração marrom”); “*non-sticky*” (“não-pegajoso”, “solto”); “*salty taste*” (“sabor salgado”); “*sand texture*” (“textura arenosa”); “*softness*” (“soltabilidade”); “*bitter taste*” (“sabor amargo”); “*metallic taste*” (“sabor metálico”); “*residual taste*” (“sabor residual”).

O eixo da dimensão 1 foi associado positivamente aos atributos de sabor doce e cor marrom que correspondem ao AIG. Mudanças de cor também foram relatadas na análise instrumental do perfil colorimétrico (seção 4.1), onde foi sugerido que este resultado seja atribuído a presença dos produtos de coloração castanha oriundos da reação de Maillard e também da possível oxidação de frações lipídicas e dos flavonoides presentes, mesmo que em baixas concentrações, no pericarpo dos grãos

de arroz integral. Os avaliadores puderam diferenciar claramente o arroz germinado do arroz germinado exposto a condições de estresse, onde o tratamento que mais se assemelhou, sensorialmente, foi o AIG/C. As amostras de AIG/F e AIG/S estavam na dimensão 2 e estavam relacionadas ao sabor amargo e metálico e sabor residual, respectivamente. A amostra AIG/C foi caracterizada pelos quatro atributos a seguir: sabor salgado, textura arenosa, não pegajosa e decréscimo na maciez, provavelmente devido ao fortalecimento da parede celular com a germinação estresses abióticos.

5. CONCLUSÕES

O processo de germinação induzida, combinado à exposição ao estresse pelo frio e salinidade, facilitou a digestão do amido do arroz integral e promoveu maior produção de GABA, obtendo resultados mais acentuados no tratamento com sal para esta variável bem como para os parâmetros textura, reduzindo a dureza dos grãos.

O processo de germinação pode ter favorecido a reação de Maillard, que consequentemente reduziu a digestibilidade proteica e promoveu o escurecimento dos grãos. A germinação também intensificou os atributos sensoriais presentes no arroz integral, mesmo alguns indesejáveis como sabor metálico e amargo.

Assim, a exposição de grãos germinados ao estresse pode ser um excelente método alternativo para a produção de arroz enriquecido. No entanto, estudos futuros são necessários para evitar o sabor residual após a exposição ao estresse salino quando combinado ao frio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BARANZELLI, J.; KRINGEL, D. H.; COLUSSI, R.; PAIVA, F. F.; ARANHA, B. C.; MIRANDA, M. Z.; ZAVAREZZI, E. R.; DIAS, A. R. G. Changes in enzymatic activity, technological quality and gamma-aminobutyric acid (GABA) content of wheat flour as affected by germination. **LWT – Food Science and Technology**, v. 90, p. 483-490, 2018.

BATISTA, C. S.; SANTOS, J. P.; DITTGEN, C. L.; COLUSSI, R.; BASSINELLO, P. Z.; ELIAS, M. C.; VANIER, N. L. Impact of cooking temperature on the quality of quick cooking brown rice. **Food Chemistry**, v. 286, p. 98-105, 2019.

BETT-GARBER, K. L.; LEA, J. M.; MCCLUNG, A. M.; CHEN, M.-H. Correlation of Sensory, Cooking, Physical, and Chemical Properties of Whole Grain Rice with Diverse Bran Color. **Cereal Chemistry Journal**, v. 90, p. 521–528, 2013.

BOONSTRA, E.; KLEIJN, R.; COLZATO, L. S.; ALKEMADE, A.; FORSTMANN, B. U.; NIEUWENHUIS, S. Neurotransmitters as food supplements: the effects of GABA on brain and behavior. **Frontiers in Psychology**, v. 6, p. 6-11, 2015.

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

BROWN, A. W.; SHELP, B. J. Plant GABA: Not Just a Metabolite. **Trends in Plant Science**, v. 21, p. 811-813, 2016.

BUCHANA, R. J.; GJINI, K.; DARROW, D.; VARGA, G.; ROBINSON, J. L.; NADASDY, Z. Glutamate and GABA concentration changes in the globus pallidus internus of Parkinson's patients during performance of implicit and declarative memory tasks: A report of two subjects. **Neuroscience Letters**, v. 589, p. 73-78, 2015.

CÁCERES, P. J.; PEÑAS, E.; MARTINEZ-VILLALUENGA, C.; AMIGO, L.; FRIAS, J. Enhancement of biologically active compounds in germinated brown rice and the effect of sun-drying. **Journal of Cereal Science**, v. 73, p. 1-9, 2017.

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

CHALERMCHAIWAT, P.; JANGCHUD, K.; JANGCHUD, A.; CHARUNUCH, C.; PRINYAWIWATKUL, W. Antioxidant activity, free gamma-aminobutyric acid content, selected physical properties and consumer acceptance of germinated brown rice extrudates as affected by extrusion process. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, p. 490–496, 2015.

CHAROENTHAIKIJ, P.; JANGCHUD, K.; JANGCHUD, A.; PIYACHOMKWAN, K.; TUNGTRAKUL, P.; PRINYAWIWATKUL, A. Germination Conditions Affect Physicochemical Properties of Germinated Brown Rice Flour. **Journal of Food Science**, v. 74, p. 658-665, 2009.

CHEVITSOPON, E.; NOOMHORM, A. Effects of parboiling and fluidized bed drying on the physicochemical properties of germinated brown rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, p. 2498-2504, 2011.

CHEN, L. OPARA, U. L. Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods – A review. **Journal of Food Engineering**, v. 113, p. 497-507, 2013.

CHO, D-H; LIM, S-T. Germinated brown rice and its bio-functional compounds. **Food Chemistry**, v. 196, p. 259-271, 2016.

CHUNGCHAROEN, T.; PRACHAYAWARAKORN, S.; TUNGTRAKUL, P.; SOPONRONNARIT, S. Effects of Germination Process and Drying Temperature on Gamma-Aminobutyric Acid (GABA) and Starch Digestibility of Germinated Brown Rice. **Drying Technology**, v. 32, p. 742-753, 2014.

COLEMAN, S. T.; FANG, T. K.; ROVINSKY, S. A.; TURANO, F. J.; MOYEROWLEY, W. S. Expression of a Glutamate Decarboxylase Homologue Is Required for Normal Oxidative Stress Tolerance in *Saccharomyces cerevisiae*. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 276, p. 244-250, 2001.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2016. Acompanhamento da safra de grãos Brasileira – 10°C levantamento, Julho de 2015.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2019. Acompanhamento da safra de grãos Brasileira – v. 6 – Safra 2018/2019 - sétimo levantamento, Abril de 2019.

CORNEJO, F.; CÁCERES, P.J.; MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C.; ROSELL, C.M.; FRIAS, J. Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads. **Food Chemistry**, v. 173, p. 298–304, 2015.

DANGIN, M.; BOIRIE, Y.; GARCIA-RODENAS, C.; GACHON, P.; FAUQUANT, J.; CALLIER, P.; BELLÈVRE, O.; BEAUFRÈRE, B. The digestion rate of protein is an independent regulating factor of postprandial protein retention. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, v. 280, p. 340-348, 2001.

DARTOIS, A.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, H. Influence of Guar Gum on the In Vitro Starch Digestibility - Rheological and Microstructural Characteristics. **Food Biophysics**, v. 5, p. 149-160, 2010.

DAS, G.; PATRA, J. K.; CHOI, J.; BAEK, K-H. Rice grain, a rich source of natural bioactive compounds. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 54, p. 671-682.

DIANA, M.; QUÍLEZ, J.; RAFECAS, M. Gamma-aminobutyric acid as a bioactive compound in foods: a review. **Journal of Functional Foods**, v. 10, p. 407-420, 2014.

DÍAS, A. M.; CALDAS, G. V.; BLAIR, M. W. Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. **Food Research International**, v. 43, p. 595-601, 2010.

DIEZ-GUTIÉRREZ, L.; VICENTE, L. S.; BARRÓN, L. J. R.; VILLARÁN, M. C.; CHÁVARRI, M. Gamma-aminobutyric acid and probiotics: Multiple health benefits and their future in the global functional food and nutraceuticals Market. **Journal of Functional Foods**, v. 64, p. 1-14, 2020.

DING, J.; ULANOV, A. V.; DONG, M.; YANG, T.; NEMZER, B. V.; XIONG, S.; ZHAO, S.; FENG, H. Enhancement of gamma-aminobutyric acid (GABA) and other health-related metabolites in germinated red rice (*Oryza sativa* L.) by ultrasonication. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 40, p. 791–797, 2018.

DING, J.; YANG, T.; FENG, H.; DONG, M.; SLAVIN, M.; XIONG, S.; ZHAO, S. Enhancing Contents of γ -Aminobutyric Acid (GABA) and Other Micronutrients in Dehulled Rice during Germination under Normoxic and Hypoxic Conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p. 1094-1102, 2016.

DOAN, H. X. N.; SONG, Y.; LEE, S.; LEE, B-H.; YOO, S-H. Characterization of rice starch gels reinforced with enzymatically-produced resistant starch. **Food Hydrocolloids**, v. 91, p. 76-82, 2019.

DUAN, S.; LU, B.; LI, Z.; TONG, J.; KONG, J.; YAO, W.; LI, S.; ZHU, Y. Phylogenetic Analysis of AA-genome *Oryza* Species (Poaceae) Based on Chloroplast, Mitochondrial, and Nuclear DNA Sequences. **Biochemical Genetics**, v. 45, p. 113-129, 2007.

ELIAS, M.C. OLIVEIRA, M.; VANIER, N.L.; PARAGINSKI, R.T.; CASARIL, J. **Manejo tecnológico na pós-colheita e inovações na conservação de grãos de arroz**. In: ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N.L. (Org.). Qualidade de arroz da póscolheita ao consumo. 1ed. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, v. 1, p. 21-42. 2012.

EAMARJHARN, A.; THEERAKULKAIT, C.; THANACHASAI, S. Effect of incubation time, buffer type and concentration on gamma-aminobutyric acid (GABA) production using Khao Dawk Mali 105 rice bran. **Agriculture and Natural Resources**, v. 50, p. 80-84, 2016.

EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven Biology of Plants**. W.H. Freeman and Company Publishers, New York, ed. 8, 2013.

FINNIE, S.; BROVELLI, V.; NELSON, D. Sprouted grains as a food ingredient. **Sprouted Grains**, p. 113–142, 2019.

FRIAS, J.; FORNAL, J.; RING, S. G.; VIDAL-VALVERDE, C. Effect of Germination on Physico-chemical Properties of Lentil Starch and its Components, **LWT - Food Science and Technology**, v. 31, p. 228-236, 1998.

GOEBEL, J. T. S.; KAUR, L.; COLUSSI, R.; ELIAS, M. C.; SINGH, J. Microstructure of indica and japonica rice influences their starch digestibility: A study using a human digestion simulator. **Food Hydrocolloids**, v. 94, p. 191-198, 2019.

HASE, T.; KAWAMURA, K. Evaluating compost maturity with a newly proposed index based on a germination test using Komatsuna (*Brassica rapa var. peruviridis*) seeds. **Journal Mater Cycles Waste Management**, v. 14, p. 220-227, 2012.

HAYAT, A.; MUHAMMAD, T.; YAR, M.; ALAMGIR, M.; HUSSAIN, Z.; UL, F.; GHULAM, S. HPLC determination of gamma amino butyric acid (GABA) and some biogenic amines (BAs) in controlled, germinated, and fermented brown rice by pre-column derivatization. **Journal of Cereal Science**, v. 64, p. 56–62, 2015.

HE, Y.; OUYANG, J.; HU, Z.; YANG, J.; CHU, Y.; HUANG, S.; YANG, Y.; LIU, C. Intervention mechanism of repeated oral GABA administration on anxiety-like behaviors induced by emotional stress in rats. **Psychiatry Research**, v. 271, p. 649-657, 2019.

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.

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**, v. 40, p. 231-237, 2004.

JONES, B. L. Endoproteases of barley and malt. **Journal of Cereal Science**, v. 42, p. 139–156, 2005.

JONGYINGCHAROEN, J. S.; CHEEVITSOPON, E. Development of UV-treated cooked germinated brown rice and effect of UV-C treatment on its storability, GABA content, and quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 71, p. 243-248, 2016.

KAISER, E.; SCHOENKNECHT, P.; KASSNER, S.; HILDEBRANDT, W.; KINSCHERF, R.; SCHROEDER, J. Cerebrospinal Fluid Concentrations of Functionally Important Amino Acids and Metabolic Compounds in Patients with Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease. **Neurodegenerative Diseases**, v. 7, p. 251-259, 2010.

KARLADEE, D.; SURIYONG, S. γ -Aminobutyric acid (GABA) content in different varieties of brown rice during germination. **Science Asia**, v. 38, p. 13-17, 2012.

KEETELS, C. J. A. M.; VAN VLIET, T.; WALSTRA, P. Gelation and retrogradation of concentrated starch systems: 1 Gelation. **Food Hydrocolloids**, v. 10, p. 343-353, 1996.

KIM, H. S.; LEE, E. J.; LIM, S-T.; HAN, J-H. Self-enhancement of GABA in rice bran using various stress treatments. **Food Chemistry**, v. 172, p. 657-662, 2015.

KOMATSUZAKI, N.; TSUKAHARA, K.; TOYOSHIMA, H.; SUZUKI, T.; SHIMIZU, N.; KIMURA, T. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 556-560, 2007.

KOVACH, M. J.; SWEENEY, M. T.; MCCOUCH, S. R. New insights into the history of rice domestication. **Trends in Genetics**, v. 23, p. 578-587, 2007.

LANG, G. H.; LINDEMANN, I. S.; FERREIRA, C. D.; HOFFMANN, J. F.; VANIER, N. L.; OLIVEIRA, M. Effects of drying temperature and long-term storage conditions on black rice phenolic compounds. **Food Chemistry**, v. 287, p. 197-204.

LIM, H. S.; SEO, D-H.; CHA, I-T.; LEE, H., NAM, Y-D.; SEO, M-J. Expression and characterization of glutamate decarboxylase from *Lactobacillus brevis* HYE1 isolated from kimchi. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 34, p. 1-10, 2018.

LIU, K.; ZHAO, S.; LI, Y.; CHEN, F. Analysis of volatiles in brown rice, germinated brown rice, and selenised germinated brown rice during storage at different vacuum levels. **Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 2295-2301, 2017.

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

MAZZUCOTELLI, E.; TARTARI, A.; CATTIVELLI, L.; FORLANI, G. Metabolism of c-aminobutyric acid during cold acclimation and freezing and its relationship to frost tolerance in barley and wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 3755–3766, 2006.

MCGRANE, S.; CORNELL, H.; RIX, C. A simple and rapid colourimetric method for the determination of amylose in starch products. **Starch: International Journal for the Investigation Processing and Use of Carbohydrates and their Derivatives**, v. 50, p. 158-163, 1998.

MCKIE, V.A.; MCCLEARY, B.V. A rapid, automated method for measuring α -amylase in pre-harvest sprouted (sprout damaged) wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 64, p. 70–75, 2015.

MCLEAN, J. L.; DAWE, D. C.; HARDY, B.; HETTEL, G. P. **Rice almanac: source book for the most important economic activity on earth**. p. 298, 2002.

MENDOZA-SÁNCHEZ, M.; GUEVARA-GONZÁLEZ, R. G.; CASTAÑO-TOSTADO, E.; MERCADO-SILVA, E. M.; ACOSTA-GALLEGOS, J. A.; ROCHA-GUZMÁN, N. E.; REYNOSO-CAMACHO, R. Effect of chemical stress on germination of cv Dalia bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as an alternative to increase antioxidant and nutraceutical compounds in sprouts. **Food Chemistry**, v. 212, p. 128-137, 2016.

MEREDITH, P.; POMERANZ, Y. Sprouted grain. In: POMERANZ, Y. (Ed.). **Advances in cereal science and technology**. Saint Paul: A.A.C.C, v. 7, p. 239-320, 1985.

MIAO, M.; LI, R.; HUANG, C.; ZHANG, T. Impact of β -amylase degradation on properties of sugary maize soluble starch particles. **Food Chemistry**, v. 177, p. 1-7, 2015.

MINOLTA. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. **MINOLTA Co. Ltd.**, 1994.

MIRANDA, M. Z. **Trigo: germinação e posterior extrusão para obtenção de farinha integral extrusada de trigo germinado**. Embrapa Trigo, 74, p. 1-12, 2006.

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

MOONGNGARM, A. Influence of germination conditions on starch, physicochemical properties, and microscopic structure of rice flour. **International Conference on Biology, Environment and Chemistry**, v. 1, p. 78–82, 2010.

MOONGNGARM, A.; DAOMUKDA, N.; 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.

MONTEMURRO, M.; PONTONIO, E.; GOBBETTI, M.; RIZZELLO, C. G. Investigation of the nutritional, functional and technological effects of the sourdough fermentation of sprouted flour. **International Journal of Food Microbiology**, v. 302, p. 47-58, 2019.

NEMZER, B.; LIN, Y.; HUANG, D. Antioxidants in sprouts of grains. **Sprouted Grains**, v. 11, p. 55-68, 2019.

NG, L-T.; HUANG, S-H.; CHEN, Y-T.; SU, C-H. Changes of Tocopherols, Tocotrienols, γ -Oryzanol, and γ -Aminobutyric Acid Levels in the Germinated Brown Rice

of Pigmented and Nonpigmented Cultivars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 12604-12611, 2013.

NUNES, J. L. S. **Culturas, Arroz, Histórico**. 2013. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/historico.aspx>. Acesso em 18 de dezembro de 2019.

OH, S-J.; KIM, H. S.; LIM, S-T. Increase of gamma-aminobutyric acid contents in rice embryo with protein hydrolysates and pyridoxal-5-phosphate using abiotic stress. **Journal of Cereal Science**, v. 89, p. 1-6, 2019.

OHM, J.-B.; LEE, C. W.; CHO, K. Germinated Wheat: Phytochemical Composition and Mixing Characteristics. **Cereal Chemistry**, v. 93, p. 612–617, 2016.

PAJAK, P.; SOCHA, R.; GAŁKOWSKA, D.; ROZNOWSKI, J.; FORTUNA, T. Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. **Food Chemistry**, v. 143, p. 300-306, 2014.

PARAGINSKI, R. T.; VANIER, N. L.; MOOMAND, K.; OLIVEIRA, M.; ZAVAREZE, E. R.; SILVA, R. M.; FERREIRA, C. D.; ELIAS, M. C. Characteristics of starch isolated from maize as a function of grain storage temperature. **Carbohydrate Polymers**, v. 102, p. 88-94, 2014a.

PARAGINSKI, R. T.; ZIEGLER, V.; TALHAMENTO, A.; ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. Technological properties and cooking of rice grains conditioned at different temperatures before parboiling. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 146-153, 2014b.

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

PASSIOURA, T.; SUGA, H. A RaPID way to discover nonstandard macrocyclic peptide modulators of drug targets. **Chemical Communications**, v. 53, p. 1931–1940, 2017.

PEREIRA, J. A. **Cultura do Arroz no Brasil: subsídios para sua história.** Embrapa Meio-norte, 1 ed., 2002.

PHAM, V. D.; SOMASUNDARAM, S.; LEE, S. H.; PARK, S. J.; HONG, S. H. Gamma-aminobutyric Acid Production through GABA Shunt by Synthetic Scaffolds Introduction in Recombinant *Escherichia coli*. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v. 21, p. 261-267, 2016.

PINEAU, N.; SCHLICH, P.; CORDELLE, S.; MATHONNIÈRE, C.; ISSANCHOU, S.; IMBERT, A.; ROGEAUX, M.; ETIÉVANT, P.; KÖSTER, E. Temporal Dominance of Sensations: Construction of the TDS curves and comparison with time-intensity. **Food Quality and Preference**, v. 20, p. 450-455, 2009.

RAMAKRISHNA, V.; RANI, P. J.; RAO, P. R. Changes in antinutritional factors in Indian bean (*Dolichos lablab* L.) seeds during germination and their behaviour during cooking. **Nutrition and Food Science**, Bingley, v. 38, p. 6-14, 2008.

RATHJEN, J.; STROUNINA, E.; MARES, D. Water movement into dormant and non-dormant wheat (*Triticum aestivum* L.) grain. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, p. 1619-1631, 2009.

RAZAVI, B. S.; BLAGODATSKAYA, E.; KUZYAKOV, Y. Temperature selects for static soil enzyme systems to maintain high catalytic efficiency. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 97, p. 15-22, 2016.

RODRIGO, M. M.; ESTESO, M. A.; VERÍSSIMO, L. M. P.; ROMERO, C. M.; RAMOS, M. L.; VALENTE, A. J. M.; RIBEIRO, A. C. F. A comparative study between the behavior diffusion of α -aminobutyric acid and γ -aminobutyric acid in sodium chloride aqueous solutions. **Journal of Molecular Liquids**, v. 291, p. 1-7, 2019.

SAREEPUANG, K.; SIRIAMORNUN, S.; WISET, L.; MEESO, N. Effect of Soaking Temperature on Physical, Chemical and Cooking Properties of Parboiled Fragrant Rice. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 4, p. 409-415, 2008.

SEVIK, H.; CETIN, M. Effects of Water Stress on Seed Germination for Select Landscape Plants. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 24, p. 689-693, 2015.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos**. São Paulo: Varela, 1996. 517 p.

SIRISOONTARALAK, P.; NAKORNPANOM, N. N.; KOAKIETDUMRONGKUL, K. PANUMASWIWATH, C. Development of quick cooking germinated brown rice with convenient preparation and containing health benefits. **LWT - Food Science and Technology**, v. 61, p. 138-144, 2015.

SHARMA, B.; GUJRAL, H. S. Modifying the dough mixing behavior, protein & starch digestibility and antinutritional profile of minor millets by sprouting. **International Journal of Biological Macromolecules**, *in press*, 2019.

SHEN, S.; WANG, Y.; LI, M.; XU, F.; CHAI, L.; BAO, J. The effect of anaerobic treatment on polyphenols, antioxidant properties, tocopherols and free amino acids in white, red, and black germinated rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Functional Foods**, v. 19, p. 641-648, 2015.

SIKORA, M.; SWIECA, M. Effect of ascorbic acid postharvest treatment on enzymatic browning, phenolics and antioxidant capacity of stored mung bean sprouts. **Food Chemistry**, v. 239, p. 1160-1166, 2018.

SINGH, A.; SHARMA, S.; SINGH, B. Effect of germination time and temperature on the functionality and protein solubility of sorghum flour. **Journal of Cereal Chemistry**, v. 76, p. 131-139, 2017.

SWIECA, M.; GAWLIK-DZIKI, U. Effects of sprouting and postharvest storage under cool temperature conditions on starch content and antioxidant capacity of green pea, lentil and young mung bean sprouts. **Food Chemistry**, v. 185, p. 99-105, 2015.

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

TAVANO, O. L.; NEVES, V. A.; DA SILVA JÚNIOR, S. I. *In vitro* versus *in vivo* protein digestibility techniques for calculating PDCAAS (protein digestibility-corrected amino acid score) applied to chickpea fractions. **Food Research International**, v. 89, p. 756–763, 2016.

THIYAJAI, P.; SAETANG, P.; KETTAWAN, A.; CHAROENKIATKUL, S.; SRICHAMNONG, W. Promising industrial flour processing and household applications of parboiled germinated brown rice (*Khao dok mali* 105). **LWT - Food Science and Technology**, v. 73, p. 406–411, 2016.

TUNG, Y-H.; NG, L-T. Effects of Soil Salinity on Tocopherols, Tocotrienols, and g-Oryzanol Accumulation and their Relation to Oxidative Stress in Rice Plants. **Crop Science**, v. 95, p. 3143-3151, 2016.

TUNTIPOPITAT, S.; MUANGNOI, C.; THIYAJAI, P.; SRICHAMNONG, W.; CHAROENKIATKUL, S.; PRAENGAM, K. A bioaccessible fraction of parboiled germinated brown rice exhibits a higher anti-inflammatory activity than that of brown rice. **Food & Function**, v. 6, p. 1480-1488, 2015.

TYAGI, R. K.; BISHT, R.; PANT, J.; KUMAR, P.; MAJEED, A. B. A.; PRAKASH, A. Possible role of GABA-B receptor modulation in MPTP induced Parkinson's disease in rats. **Experimental and Toxicologic Pathology**, v. 67, p. 211-217, 2015.

VAUGHAN, D. A.; LU, B-R.; TOMOOKA, N. The evolving story of rice evolution (review). **Plant Science**, v. 174, p. 394-408, 2008.

VELUPPILLAI, S.; NITHYANANTHARAJAH, K.; VASANTHARUBA, S.; BALAKUMAR, S.; ARASARATNAM, V. Biochemical changes associated with germinating rice grains and germination improvement. **Rice Science**, v. 16, p. 240–242, 2009.

VEMULA, H.; KITASE, Y.; AYON, N. J.; BONEWALD, L.; GUTHEIL, W. G. Gaussian and linear deconvolution of LC-MS/MS chromatograms of the eight aminobutyric acid isomers. **Analytical Biochemistry**, v. 516, p. 75-85, 2017.

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

WANG, H.; WU, Z.; CHEN, Y.; YANG, C.; SHI, D. Effects of salt and alkali stresses on growth and ion balance in rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Soil Environment**, v. 57, p. 286-294, 2011.

WANG, H.; XIAO, N.; DING, J.; ZHANG, Y.; LIU, X.; ZHANG, H. Effect of germination temperature on hierarchical structures of starch from brown rice and their relation to pasting properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, *in press*, 2019b.

WANG, P.; HU, T.; KONG, F.; XU, J.; ZHANG, D. Rice exposure to cold stress in China: how has its spatial pattern changed under climate change?. **European Journal of Agronomy**, v. 103, p. 73-79, 2019a.

WU, F.; CHEN, H.; YANG, N.; WANG, J.; DUAN, X.; JIN, Z.; XU, X. Effect of germination time on physicochemical properties of brown rice flour and starch from different rice cultivars. **Journal of Cereal Science**, v. 58, p. 263-271, 2013b.

WU, F.; XU, X. Sprouted grains-based fermented products. **Sprouted Grains Nutritional Value, Production and Applications**, p. 143-173, 2019.

WU, F.; YANG, N.; TOURÉ, A.; JIN, Z.; XU, X. Germinated Brown Rice and Its Role in Human Health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 53, p. 451-463, 2013a.

WU, Z.; SONG, L.; HUANG, D. Food Grade Fungal Stress on Germinating Peanut Seeds Induced Phytoalexins and Enhanced Polyphenolic Antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 5993-6003, 2011.

XIA, Q.; WANG, L.; XU, C.; MEI, J.; LI, J. Effects of germination and high hydrostatic pressure processing on mineral elements, amino acids and antioxidants in vitro bioaccessibility, as well as starch digestibility in brown rice (*Oryza sativa* L.). **Food Chemistry**, v. 214, p. 533-542, 2017.

XU, J.; ZHANG, H.; GUO, X.; QIAN, H. The impact of germination on the characteristics of brown rice flour and starch. **Journal of the Science and Food Agriculture**, v. 92, p. 380-387, 2012.