

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

GIOVANNA PACHECO PRETTO

QUALIDADE DO ARROZ PARBOILIZADO SOB EFEITO DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA E DA TEMPERATURA DE ENCHARCAMENTO

Alegrete

2025

GIOVANNA PACHECO PRETTO

**QUALIDADE DO ARROZ PARBOILIZADO SOB EFEITO DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA E DA TEMPERATURA DE ENCHARCAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Engenharia Agrícola

Orientador: Lanes Beatriz Acosta Jaques

Alegrete

2025

GIOVANNA PACHECO PRETTO

**QUALIDADE DO ARROZ PARBOILIZADO SOB EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E DA
TEMPERATURA DE ENCHARCAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Agrícola da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharela em
Engenharia Agrícola.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 17, julho de 2025.

Banca examinadora:

Profª Drª. Lanes Beatriz Acosta Jaques
Orientadora
(UNIPAMPA)

Eng. Agríc. Giulian Rubira Gauterio
(UNIPAMPA)

Ma. Eng. Agríc. Bruna Flores Batistella
(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **BRUNA FLORES BATISTELLA, ENGENHEIRO-AREA**, em 23/07/2025, às 09:45, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LANES BEATRIZ ACOSTA JAQUES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/07/2025, às 09:50, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GIULIAN RUBIRA GAUTERIO, ENGENHEIRO-AREA**, em 23/07/2025, às 10:26, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1793243** e o código CRC **3ABB1943**.

AGRADECIMENTO

A Deus por me permitir chegar até aqui, guiar meus passos, e por muitas vezes ser meu refúgio nos momentos de angústia.

A minha família, por sempre estar ao meu lado e me apoiando. Por me permitir estudar, por me mostrar que com minha dedicação e esforço sou capaz de alcançar o inimaginável. Obrigada por me amparem em situações de angústia, onde eu pensava que jamais conseguiria sair, o caminho até aqui não foi fácil, passamos por diversos turbilhões, mas juntos conseguimos.

Aos meus amigos, que não é preciso citar nome a nome, gratidão por entenderem que muitas vezes os estudos falavam mais alto, mas mesmo assim estiveram ao meu lado. Obrigada pelas vezes que me incentivaram e mostraram que eu era capaz, essa é mais uma etapa que estou concluindo e ter vocês, torna tudo mais leve. Aos amigos mais antigos, gratidão por estarem comigo desde o início.

Aos amigos da faculdade, gratidão a todos, cada um tem um papel importante na minha trajetória até aqui. Em especial ao Tiago e Felipe “é sobre ter com quem dividir o peso do processo”, isso torna tudo mais fácil e mais leve, obrigada pelas inúmeras risadas, pelos desesperos coletivos. Tiago gratidão pela companhia, nas madrugadas e tardes quentes, para medir folha de soja.

Ao Programa de Educação Tutorial – PET Ciência, Tecnologia e Cidadania (PET-CTC) da Universidade Federal do Pampa, agradeço imensamente pela oportunidade de crescimento acadêmico, profissional e pessoal. Participar do PET foi uma experiência enriquecedora, que me proporcionou aprendizado além da sala de aula, ampliando minha visão crítica, senso de responsabilidade e compromisso com a comunidade acadêmica. Sou igualmente grata ao FNDE/MEC pela concessão da bolsa, essencial para minha permanência e dedicação às atividades acadêmicas.

A todos os professores, obrigada por todos os ensinamentos e aprendizados, irei levar cada um com muito carinho no meu coração.

Agradeço imensamente ao técnico Giulian, desta instituição, pelo apoio fundamental na realização deste trabalho. Mais do que isso, sou grata por toda a ajuda, disponibilidade e incentivo prestados ao longo de toda a minha graduação, que fizeram diferença em minha trajetória acadêmica.

A minha orientadora, o meu muito obrigada por ter aceitado esse desafio, por ter me recebido de forma tão carinhosa, por ter feito eu me apaixonar por uma área que jamais havia

pensado em trabalhar, tenho certeza que isso irá contribuir muito na minha formação quanto profissional.

Enfim agradeço a todos que de alguma maneira fizeram parte da minha trajetória até aqui.

EPÍGRAFE

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível.”

São Francisco de Assis

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação nitrogenada e da temperatura de encharcamento na qualidade do arroz parboilizado. Foram testadas quatro doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg/ha) combinadas com quatro temperaturas de imersão (60, 70, 80 e 90 °C), totalizando 16 tratamentos. Os parâmetros avaliados incluíram peso de mil grãos, peso hectolitro, condutividade elétrica, rendimento industrial, grãos quebrados e classificação comercial. Os resultados indicaram que a adubação nitrogenada influenciou significativamente a qualidade tecnológica dos grãos, com destaque para o peso de mil grãos, maior nas doses mais baixas (0 e 50 kg/ha). O peso hectolitro diminuiu com o aumento da temperatura, sendo melhor preservado a 60 °C. A condutividade elétrica foi menor a 60 °C e 70 °C, indicando maior integridade das membranas celulares nessas faixas térmicas. O rendimento industrial foi maximizado com 150 kg/ha de nitrogênio a 70 °C (70,53%), sendo a melhor combinação observada. Por outro lado, a classificação final dos grãos revelou que a dose de 100 kg/ha de nitrogênio resultou em desempenho inferior, com classificações fora de tipo a 60 °C e 90 °C, comprometendo a qualidade comercial. A dose de 50 kg/ha de N a 70 °C se destacou como a mais equilibrada, obtendo Tipo 2, demonstrando ótima qualidade. Conclui-se, portanto, que a combinação entre 50 kg/ha de nitrogênio e temperatura de 70 °C proporciona a melhor relação entre rendimento, qualidade física e classificação comercial do arroz parboilizado, sendo recomendada para maior aproveitamento industrial e competitividade de mercado.

Palavras-chave: Nutrição mineral, Integridade estrutural, Tratamentos térmicos

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of nitrogen fertilization and soaking temperature on the quality of parboiled rice. Four nitrogen doses (0, 50, 100, and 150 kg/ha) were tested in combination with four soaking temperatures (60, 70, 80, and 90 °C), totaling 16 treatments. The evaluated parameters included thousand-grain weight, test weight, electrical conductivity, industrial yield, broken grains, and commercial classification. The results indicated that nitrogen fertilization significantly influenced the technological quality of the grains, with emphasis on thousand-grain weight, which was higher at lower doses (0 and 50 kg/ha). Test weight decreased with increasing temperature, being better preserved at 60 °C. Electrical conductivity was lower at 60 °C and 70 °C, indicating greater cell membrane integrity in these temperature ranges. Industrial yield was maximized with 150 kg/ha of nitrogen at 70 °C (70.53%), representing the best combination observed. On the other hand, the final grain classification showed that the 100 kg/ha nitrogen dose led to inferior performance, with out-of-type classifications at 60 °C and 90 °C, compromising commercial quality. The 50 kg/ha N dose at 70 °C stood out as the most balanced, achieving Type 2 classification, demonstrating excellent quality. It is concluded, therefore, that the combination of 50 kg/ha of nitrogen and a soaking temperature of 70 °C provides the best balance between yield, physical quality, and commercial classification of parboiled rice, being recommended for greater industrial use and market competitiveness.

Keywords: Mineral nutrition, Structural integrity, Thermal treatments

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Morfologia da planta de arroz.....	14
Figura 2 - Anatomia do Arroz	16
Figura 3 - Composição arroz em casca, arroz integral e arroz polido	17
Figura 4 - Processo de migração de nutrientes da periferia para o centro do grão.....	17
Figura 5 - Fluxograma genérico do beneficiamento dos grãos de arroz pelo processo convencional e por parboilização	19
Figura 6 – Representação dos tratamentos (A) Temperatura de 60°C, (B) Temperatura de 70°C, (C) Temperatura de 80°C e (D) Temperatura de 90°C	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do arroz por Grupo e Subgrupo.....	15
Tabela 2 - Resumo da análise de variância para às variáveis referentes a qualidade tecnológica de grãos de arroz, em função da adubação nitrogenada e temperatura de imersão na etapa de encharcamento da parboilização.....	25
Tabela 3 - Peso de mil grãos em função da adubação nitrogenada no cultivo de arroz.	26
Tabela 4 - Peso hectolitro grãos em função da temperatura de imersão na etapa de encharcamento da parboilização.....	27
Tabela 5 - Condutividade elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) em função da temperatura de imersão na etapa de encharcamento da parboilização.....	28
Tabela 6 - Desmembramento da interação adubação nitrogenada (0, 50, 100, 150 kg/ha) x temperatura de imersão na etapa de encharcamento da parboilização (60, 70, 80 e 90°C), para variável de rendimento	29
Tabela 7 – Desmembramento da interação adubação nitrogenada (0, 50, 100, 150 kg/ha) x temperatura de imersão na etapa de encharcamento da parboilização (60, 70, 80 e 90°C), para variável de quebrados.	30
Tabela 8 – Incidência de defeitos em grãos de arroz parboilizados submetidos a diferentes temperaturas de encharcamento e doses de adubação nitrogenada	32
Tabela 9 – Classificação de em grãos de arroz parboilizados provenientes de diferentes temperaturas de encharcamento e doses de adubação nitrogenada	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO GERAL	13
	2.1 Objetivos específicos.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
	3.1 Aspectos de importância e de consumo de arroz.....	14
	3.2 Estrutura dos grãos	16
	3.3 Adubação nitrogenada	17
	3.4 Parboilização do Arroz	18
4	METODOLOGIA.....	22
	4.1 Obtenção do material.....	22
	4.2 Processo de parboilização.....	22
	4.3 Avaliação da Qualidade Tecnológica	23
	4.3.1 Rendimento de grãos inteiros	23
	4.3.2 Peso hectolitro	23
	4.3.3 Peso de mil grãos.....	23
	4.3.4 Condutividade elétrica.....	23
	4.3.5 Classificação do Arroz Beneficiado Parboilizado Polido	24
	A avaliação considerou o tipo comercial, levando em conta a proporção de grãos inteiros, quebrados e defeituosos. Com base nesses parâmetros, as amostras foram classificadas em Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3, Tipo 4, Tipo 5 ou Fora de Tipo, conforme os limites máximos permitidos pela legislação vigente.....	24
	4.4 Delineamento Experimental e Análise estatística	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
6	CONCLUSÕES.....	37
7	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos principais alimentos básicos cultivados e consumidos no mundo, ao lado do trigo e do milho, sendo essencial para a segurança alimentar global (EMBRAPA, 2021). No Brasil, a cultura do arroz ocupa papel de destaque tanto pela relevância econômica quanto pelo papel social, especialmente no estado do Rio Grande do Sul, maior produtor nacional, com mais de 900 mil hectares de área cultivada. Na safra atual, a produção nacional alcançou 12,062 milhões de toneladas, representando um aumento de 13,95% em relação à safra anterior, conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024). Esse desempenho reforça a importância da cultura para o desenvolvimento econômico estadual e nacional (CONAB, 2021; EMATER, 2021; MARTINEZ, 2022).

Para sustentar e ampliar esse desempenho, é fundamental investir em práticas agrícolas eficientes, como a adubação nitrogenada, que desempenha papel essencial no aumento da produtividade e na qualidade do arroz. O nitrogênio (N) é um macronutriente essencial, sendo componente estrutural de proteínas, enzimas e clorofila, além de exercer grande influência no desenvolvimento das plantas e no rendimento dos grãos (SOSBAI, 2018; COSTA et al., 2013; GEHLING, 2022). No entanto, a qualidade final do arroz não depende apenas das etapas realizadas no campo.

Após a colheita, práticas pós-colheita são indispensáveis para garantir a qualidade e a conservação do produto, especialmente no caso do arroz parboilizado. Esse tipo de arroz, amplamente reconhecido pela resistência mecânica dos grãos e pelo elevado valor nutricional, passa por um processo tecnológico que envolve as etapas de encharcamento, gelatinização por calor e posterior secagem. Entre os parâmetros mais críticos que influenciam diretamente na qualidade do produto estão o tempo de encharcamento e a temperatura de secagem, que impactam características físicas, químicas e sensoriais do arroz (EMBRAPA, 2021).

A parboilização, portanto, não apenas melhora a conservação e o valor nutricional do arroz, mas também contribui para atender aos padrões de comercialização nacionais e internacionais. No Brasil, os critérios de classificação do arroz baseiam-se no Regulamento Técnico do Arroz, aprovado pela Instrução Normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009 (Brasil, 2009), que considera dimensões dos grãos e categorias como longo fino, longo, médio e curto (EMBRAPA, 2021). Dessa forma, práticas agrícolas eficientes e um manejo pós-colheita criterioso são fundamentais para assegurar a qualidade e o valor agregado do arroz no mercado.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar qualidade do arroz parboilizado sob a influência dos fatores tempo de encharcamento e doses de adubação nitrogenada.

2.1 Objetivos específicos

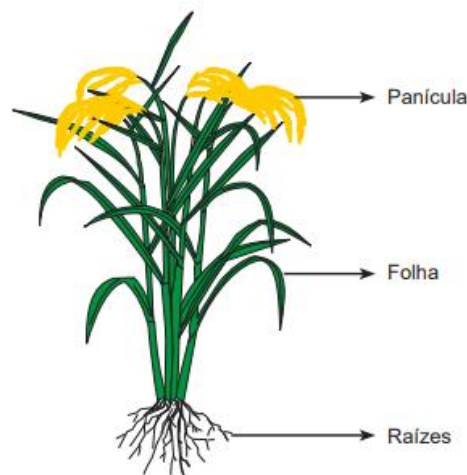
- Analisar a influência de diferentes temperaturas de encharcamento (60, 70, 80 e 90 °C) sobre o rendimento industrial e integridade dos grãos;
- Analisar o efeito de diferentes doses de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 150 kg/ha) na qualidade tecnológica do arroz parboilizado;
- Determinar as combinações mais eficientes de nitrogênio e temperatura que proporcionem maior rendimento industrial com menor incidência de defeitos nos grãos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos de importância e de consumo de arroz

A espécie *Oryza sativa* é uma monocotiledônea da família de plantas Poaceae, ciclo anual, classificada no grupo C-3, adaptada a solos alagados, mas desenvolvendo-se com sucesso em solos drenados ou em terras altas. A adaptação é devida à presença de aerênquima no colmo e nas raízes da planta, o que possibilita a passagem de oxigênio do ar para a camada da rizosfera. A planta é formada de raízes, colmos, folhas e panículas (figura 1) (EMBRAPA, 2021).

Figura 1 - Morfologia da planta de arroz



Fonte: Embrapa, 2021.

É uma planta cujo fruto, o arroz, é um prato típico do brasileiro, e adaptado ao cerrado brasileiro. A planta de arroz é rica em carboidratos (FILHO E CARVALHO, 2020). A cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) possui grande importância, pois é fonte primária de alimentação para mais de um terço da população mundial (FILHO E CARVALHO, 2020).

Segundo a EMBRAPA o arroz está entre os cereais mais cultivados e consumidos no mundo, o arroz merece destaque por diversos aspectos: constitui alimento básico para mais de três bilhões de pessoas; ocupa o segundo lugar em produção e extensão de área cultivada, tendo, em 2021, uma produção de 787,3 milhões de toneladas de grãos em casca, o que corresponde a aproximadamente 28% do total de grãos usados na alimentação humana de 2,8 bilhões de toneladas. Desempenha papel estratégico, tanto em nível econômico quanto social, para os povos das nações mais populosas do mundo; ao contrário de outros cereais, o arroz é consumido quase que exclusivamente por humanos; é um alimento em que o grão sai do campo e é consumido praticamente sem processo de industrialização.

A produção total de arroz, no Brasil, em 2022, foi de 10,7 milhões de toneladas, colhidas em 1,6 milhão de hectares, com produtividade média de 6.569 kg ha⁻¹. São considerados dois grandes ecossistemas para a cultura: o de várzeas e o de terras altas, que englobam todos os sistemas de cultivo de arroz no país, sendo os principais o irrigado por inundação e o de terras altas. O sistema de cultivo de arroz irrigado, com irrigação controlada, participou com 93,1% do total da produção nacional do cereal, seguido pelo arroz de terras altas com representatividade de 6,9%, em 2022 (EMBRAPA, 2023).

O arroz faz parte dos hábitos alimentares dos brasileiros, sendo consumido basicamente na forma de grãos descascados e polidos. Através do processo de beneficiamento separa-se a casca da cariopse (grão), obtendo-se o arroz integral. Este pode ser polido para remoção do farelo (pericarpo, tegumento, camada de aleurona e gérmen), obtendo-se o arroz branco polido. Os grãos também podem ser submetidos à parboilização, processo hidrotérmico através do qual se obtém o arroz parboilizado, o qual pode ser consumido na forma integral ou polido (LOPES E LOPES, 2019), podendo ser dividido em grupos e subgrupos.

Segundo a Instrução Normativa 6/2009, o Regulamento Técnico tem como objetivo definir o padrão oficial de classificação do arroz, considerando seus requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem, nos aspectos referentes à classificação do produto. Ainda segundo a Normativa, a classificação do arroz será estabelecida em função dos seus requisitos de identidade e qualidade, sendo classificados em Grupos, Subgrupos, Classes e Tipos conforme a seguir:

Tabela 1 - Classificação do arroz por Grupo e Subgrupo

Grupo	Subgrupo
Arros em casca	Arroz natural
	Arroz parboilizado
Arroz beneficiado	Arroz integra
	Arroz polido
	Arroz parboilizado integral
	Arroz parboilizado polido

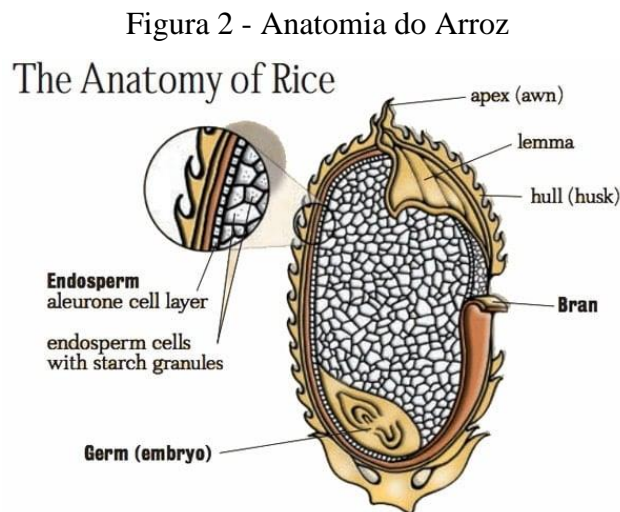
Fonte: Adaptado de Instrução Normativa nº 6/2009.

No Brasil, as formas de preparo e consumo do arroz são razoavelmente homogêneas nas diferentes regiões e a preferência da maioria dos consumidores é pelo arroz branco beneficiado polido. No mercado varejista, a oferta de produtos diferenciados é pequena. Além do arroz beneficiado polido, aparece em menor escala o arroz integral e o arroz parboilizado,

este último com uma representatividade de apenas 5% do total comercializado (LOPES E LOPES, 2019).

3.2 Estrutura dos grãos

O grão de arroz, também chamado de cariopse, quando maduro é colhido em casca, que é formada por duas folhas modificadas, a pálea e lema. Uma análise completa de todas as partes constituintes do arroz pode ser observada na Figura 2 (FIGUEIREDO, 2021).

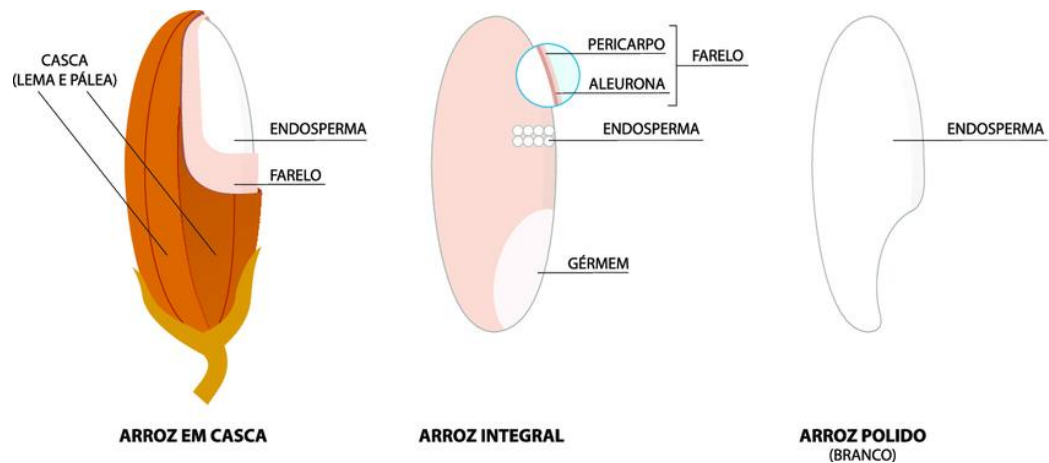


Fonte: Foolproof Living, 2020.

A casca é uma barreira física responsável por proteger os grãos contra fungos, insetos, umidade e oxigênio atmosférico e representa, em média, 20% do peso bruto do arroz. A cariopse é constituída pelo pericarpo, endosperma e gérmen (ou embrião). O pericarpo é a primeira camada de cobertura externa do endosperma. O endosperma é a principal porção da cariopse, representando cerca de 90%, e é composto principalmente por amido. O gérmen está presente em uma das extremidades do endosperma e é nele que se concentram os lipídios (FIGUEIREDO, 2021).

Para obtenção do produto beneficiado polido, o arroz é primeiramente submetido ao descascamento do grão. A casca representa, aproximadamente, 20% do peso total. Em seguida, o grão descascado integral passa pelas etapas de brunição e polimento, quando são retirados o embrião e a maior parte da película que recobre o grão. A brunição é complementada pelo polimento, que consiste no acabamento do produto e remoção dos resíduos de farelo. O subproduto resultante constitui o farelo, que representa cerca de 8% do grão em casca ou 10% do produto descascado (LOPES E LOPES, 2019).

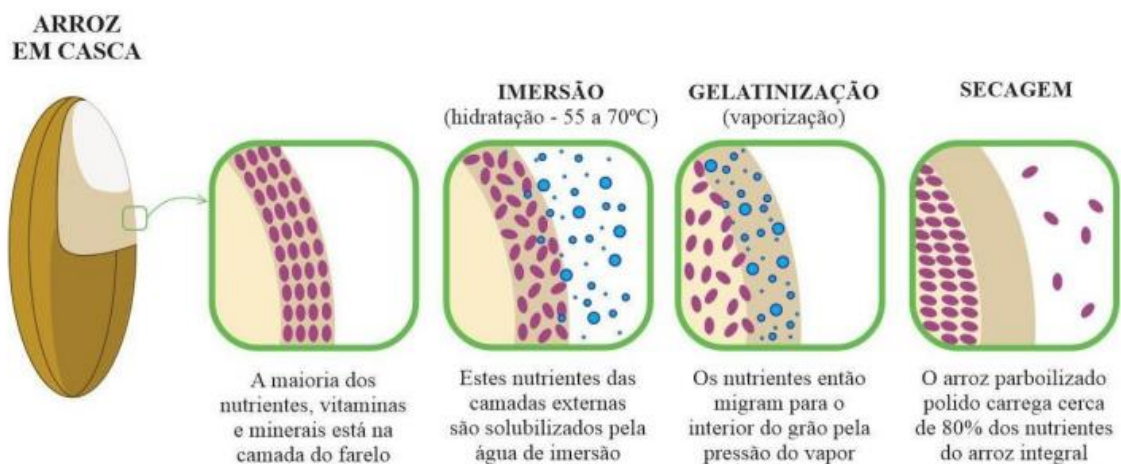
Figura 3 - Composição arroz em casca, arroz integral e arroz polido



Fonte: Oliveira, 2021.

O arroz parboilizado mantém boa parte dos nutrientes do arroz integral (vitaminas do complexo B, magnésio, fósforo e potássio) que no processo de parboilização migram da periferia do grão para o interior, como ilustrado na Figura 4 (OLIVEIRA, 2021; PERES 2022).

Figura 4 - Processo de migração de nutrientes da periferia para o centro do grão



Fonte: Oliveira, 2021.

3.3 Adubação nitrogenada

Dos nutrientes essenciais às plantas, o nitrogênio é o segundo nutriente requerido em maior quantidade pela cultura do arroz irrigado, sendo essencial a realização do seu suprimento via fertilizantes nitrogenados para a obtenção de elevados rendimentos de grãos da cultura. No entanto, a dinâmica desse nutriente no solo é bastante complexa, em virtude da

multiplicidade de reações químicas e biológicas no qual está envolvido, determinando a sua disponibilidade às plantas (ARAMBURU, 2018).

Em solos alagados, a complexidade da dinâmica do nitrogênio no solo é ainda maior, devido à existência de uma lâmina de água sobre o solo e de uma fina camada oxidada na superfície do mesmo, seguida por uma camada reduzida logo abaixo desta e outra camada oxidada em torno das raízes. Essa condição cria diferentes condições de oxirredução, os quais contribuem para os processos de transformação do nitrogênio no solo. Diante disso, a disponibilidade do nitrogênio no solo é alterada, podendo ocorrer restrição de nitrogênio às plantas ao longo do ciclo da cultura (ARAMBURU, 2018).

No solo, as formas passíveis de absorção de nitrogênio pelas plantas são o amônio (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-). No entanto, devido ao processo de alagamento, o NO_3^- é rapidamente consumido pelos microrganismos aeróbios nos processos biológicos que envolvem a transferências de elétrons na respiração celular, causando redução da sua concentração no solo e favorecendo o acúmulo de NH_4^+ , sendo essa a forma predominante de nitrogênio às plantas em condições de anaerobiose. Todavia, após a aplicação de fertilizantes nitrogenados, a concentração de NH_4^+ no solo diminui em função da absorção pelas plantas e das perdas por volatilização, desnitrificação e lixiviação (ARAMBURU, 2018).

Na cultura do arroz irrigado, o nitrogênio é exigido durante praticamente todo o seu ciclo biológico; no entanto, o período entre as fases de perfilhamento e o início da fase reprodutiva compreende os estádios de maior requerimento pela cultura. Em decorrência, estas são as duas épocas recomendadas pela Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado para a realização do fracionamento da adubação nitrogenada em cultivares de ciclo médio e precoce (ARAMBURU, 2018).

3.4 Parboilização do Arroz

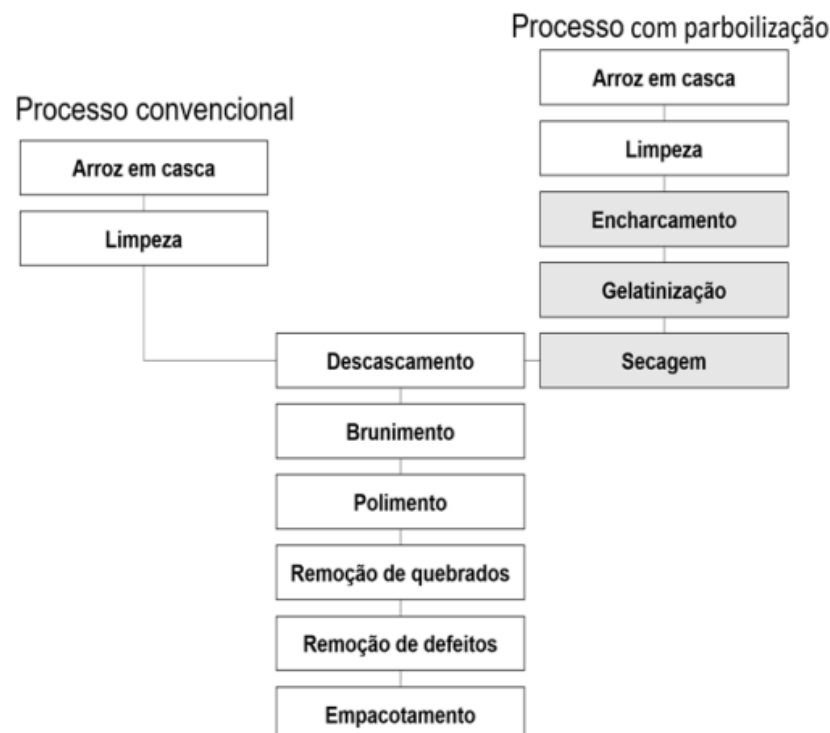
A parboilização do arroz é um processo tradicional antigo da Índia. O significado de parboilizar é que o arroz foi parcialmente fervido/cozido e pré-cozido em forma de arroz. O processo consiste em embeber o arroz em água até ficar saturado, drenar o excesso de água e depois cozinhar ou aquecer o grão para gelatinizar o amido e depois secar o grão. A parboilização do arroz tem muitas vantagens. Tal como reduzir a quebra do grão durante a moagem, melhora muito as vitaminas e outros nutrientes no grão de arroz polido, aumenta o óleo no farelo, reduz a propensão à infestação de insetos, altera a qualidade do cozimento e da

alimentação do arroz e reduz a perda de nutrientes durante culinária (NIYONSHIMA et. al, 2020).

Ainda falando das vantagens da parboilização do arroz, NIYONSHIMA et. al, 2020 fala sobre uma série de vantagens, incluindo a melhoria da qualidade e do rendimento do arroz na moagem e a preservação dos valores nutricionais, uma vez que o arroz parboilizado tem uma maior vida útil (devido à desativação de enzimas) e, por seus grãos serem mais duros, armazena melhor e é mais resistente a insetos-praga. A qualidade de cozimento do arroz parboilizado é melhor em vários aspectos: seus grãos permanecem firmes, não grudam e ele perde menos amido durante o cozimento.

O processo de parboilização do arroz é um tratamento hidrotérmico que envolve três etapas principais: imersão, vaporização e secagem (figura 5). Durante a parboilização, ocorre a gelatinização e a retrogradação do amido e, portanto, o arroz parboilizado requer tempos de cozimento mais longos (SIVAKAMASUNDARI et. al, 2020).

Figura 5 - Fluxograma genérico do beneficiamento dos grãos de arroz pelo processo convencional e por parboilização



Fonte: FIGUEIREDO, 2021.

A etapa de hidratação tem como objetivo fazer a hidratação adequada dos grãos enfraquecendo a estrutura granular através do rompimento das pontes de hidrogênio e proporcionando maior superfície para absorção de água. Essa maior superfície permite uma hidratação irreversível dos grânulos, pela maior atividade dissociativa da água molecular. Esse fenômeno é chamado gelatinização do amido, que inicia-se na hidratação e é complementado na gelatinização (VANIER et al., 2017; PERES, 2022). A etapa de hidratação deve ser a mais rápida possível, pois a permanência dos grãos nos tanques de hidratação, pode ocasionar fermentação de origem 28 enzimática e microbiana, que proporcionam alterações de cor, aroma e sabor, podendo tornar o produto inaceitável pelo consumidor (ELIAS et al., 2015; PERES, 2022).

Esta etapa (hidratação), ocorre pela imersão dos grãos em água potável com temperaturas que variam de 60 a 70 °C por um período de 4 a 7h, geralmente. Na literatura não foram encontradas condições de hidratação ideal para grãos do gênero *Zizania* sp. Para a definição de tempo e temperatura ideais para o processo, deve-se realizar previamente isotermas de hidratação, sendo variável em função da cultivar (PERES, 2022). A hidratação adequada se dá quando os grãos atingem cerca de 30% de umidade. O tempo do processo depende da umidade inicial dos grãos e da temperatura da solução de hidratação (AMATO et al., 1990; FERREIRA et al., 2020; PERES, 2022).

Durante o encharcamento ocorre a mudança de cor do arroz pela difusão das pigmentações avermelhadas e amareladas, provenientes dos carotenoides β caroteno e luteína, presentes na casca e no farelo, que migram para o interior do endosperma. Também, os ácidos fenólicos podem contribuir para as mudanças de coloração. A cor do arroz é determinada por uma combinação de fatores genéticos, 26 agrônômicos e pós-colheita (OLI et al., 2016; FIGUEIREDO, 2021). Também, o pH da solução de encharcamento, próximo a 4,5, aumenta a coloração amarelada característica do produto final devido a sua influência nas reações enzimáticas, as quais são responsáveis pela hidrólise do amido e das proteínas (LAMBERTS et al., 2006b; BHATTACHARYA, 2011; FIGUEIREDO, 2021).

A fim de melhorar a qualidade do arroz parboilizado, como cor e odor característicos, tem-se estudado o uso de aditivos durante o encharcamento com a finalidade de retardar o escurecimento e a formação de PRM e ainda aumentar a migração de compostos para o interior do grão e melhorar as suas propriedades tecnológicas (FIGUEIREDO, 2021).

Após a hidratação, os grãos são submetidos ao processo de gelatinização do amido. Na indústria essa etapa é usualmente realizada através de vapor aquecido e em recipientes fechados (autoclave) (DE OLIVEIRA et al., 2020). Devido ao arroz ser submetido a elevada

pressão (0,5 a 1,2Kgf.cm⁻² por 10 a 30 minutos) e temperatura (105 a 120 °C), nessa etapa ocorre a completa gelatinização do amido (ELIAS, 1998; ELIAS, OLIVEIRA e VANIER, 2015; AMATO e ELIAS, 2005; FIGUEIREDO, 2022). Essa etapa é a principal responsável pela intensificação da coloração escura dos grãos. Condições de vapor (pressão e tempo) mais severas podem aumentar a incidência de grãos danificados, dureza, tempo de cocção e o escurecimento dos grãos. Por outro lado, condições suaves, proporcionam grãos com maior brancura, porém com menor rendimento de inteiros, devido ao menor grau de gelatinização do amido e maior presença de grãos não completamente gelatinizados (ELIAS, OLIVEIRA e VANIER, 2015; LAMBERTS et al., 2008; LEETHANAPANICH, MAUROMOUSTAKOS e WANG, 2016; VILLANOVA et al., 2020; FIGUEIREDO, 2022).

A secagem é a última etapa do processo de parboilização e objetiva reduzir o grau de umidade dos grãos até um nível ótimo para o beneficiamento ou armazenamento, geralmente 13%. A secagem do arroz parboilizado é feita em duas ou três etapas, dependendo do layout instalado. Na primeira, ocorre uma secagem mais rápida dos grãos, onde retira-se a umidade superficial, reduzindo de 30-33% para umidade de 20-22%, esta secagem ocorre em secador de leito fluidizado, seguida por uma secagem em secador de coluna inteira, com duas câmaras de ar quente, afim que a umidade seja reduzida de 18 a 20%. A secagem complementar é procedida em secadores intermitentes com ar em temperaturas em torno de 150 °C, com recirculação de ar até os grãos atingirem 13% de umidade (AMATO e ELIAS, 2005; OLIVEIRA, et al., 2020; PERES, 2022). Ao fim desta etapa, é recomendado que os grãos fiquem em repouso por um período de 48 a 72 h, para que ocorra uniformidades de textura e umidade, diminuindo as tensões internas sem que o rendimento de inteiros 30 diminua (ELIAS et al., 2015; PERES, 2022). Após essas etapas novas características nutricionais e tecnológicas são agregadas aos grãos.

4 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho de conclusão detalhou a origem do material estudado, os tratamentos aplicados, a organização do experimento e as análises de qualidade tecnológica realizadas, garantindo uma descrição clara e precisa de cada etapa.

4.1 Obtenção do material

Foram utilizados grãos de arroz (*Oryza sativa* L.), da cultivar de grãos longo-fino IRGA 424 RI, cultivados em sistema irrigado na subestação do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), em Uruguaiana, durante a safra agrícola de 2023. A primeira adubação ocorreu conforme o recomendado no manual (igual para todos os tratamentos), a segunda aplicação ocorreu em R1, sendo de 0, 50, 100, 150 (kg há⁻¹). Os grãos foram colhidos mecanicamente e secos até atingirem 13% de umidade, utilizando um sistema de secagem intermitente. Em seguida, foram transportados para o Laboratório de Pós-Colheita de Grãos da Universidade Federal do Pampa, no Campus Alegrete, onde foram armazenados em garrafas PET à temperatura ambiente até o início do experimento.

4.2 Processo de parboilização

O arroz foi submetido ao processo de parboilização, que envolveu três etapas principais: encharcamento, cozimento e secagem (AMATO & ELIAS, 2005). Para todo o processo, foi realizada três repetições de cada tratamento. Na etapa de encharcamento, foram utilizadas amostras de 200g de arroz com casca que foram dispostas em sacos de filó devidamente identificados. As amostras foram submersas em béqueres de vidros contendo 600mL de água destilada. Em seguida, os béqueres foram colocados em banho-maria, com controle de temperatura, sendo submetidos a quatro faixas de temperaturas diferentes: 60°C, 70°C, 80°C e 90°C. Durante o encharcamento, a umidade dos grãos foi monitorada a cada 15 minutos, por meio da pesagem das amostras. O processo foi finalizado quando as amostraram atingiram cerca de 30% de umidade, valor considerado ideal para dar seguimento.

Depois de etapa de encharcamento, os grãos foram levados para o cozimento, que foi realizado em uma autoclave a 100°C, por 10 minutos, essa etapa teve como objetivo realizar a gelatinização parcial do amido.

Finalizado o cozimento as amostras foram distribuídas em bandejas de metal e conduzidas a estufa de circulação de ar forçada a uma temperatura de 110°C. A secagem foi feita até que os grãos atingissem uma umidade de 12%, valor recomendado para

armazenamento, o controle foi feito com o auxílio de um medidor de umidade da marca MOTOMCO.

4.3 Avaliação da Qualidade Tecnológica

4.3.1 Rendimento de grãos inteiros

O rendimento de grãos inteiros foi avaliado com base nos critérios estabelecidos pela Instrução Normativa nº 06, de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que define os padrões oficiais de classificação do arroz (BRASIL, 2009). Após o polimento dos grãos, com remoção de aproximadamente 6 a 7% do farelo, foi realizada a separação dos grãos quebrados utilizando um triuer. Em seguida, as amostras passaram por uma inspeção manual para garantir a precisão da seleção. Foram considerados grãos inteiros aqueles que apresentaram comprimento superior a 4,49 mm, conforme os parâmetros definidos para a classificação do arroz do tipo longo-fino.

4.3.2 Peso hectolitro

Foi utilizado um copo como padrão, com volume conhecido de 250 ml. O procedimento consistiu no enchimento do copo com amostras de grãos, o excesso de grãos foi removido com o auxílio de uma régua ou espátula niveladora. Após essa etapa, o conteúdo foi pesado em balança analítica. Foram feitas três repetições para cada tratamento. O peso obtido foi convertido para hectolitros.

4.3.3 Peso de mil grãos

O PMG foi obtido através da contagem e pesagem de 1000 grãos de arroz parboilizado, utilizando uma balança de precisão. O valor resultante é expresso em gramas (g). Foram feitas três repetições para cada tratamento.

4.3.4 Condutividade elétrica

Para a determinação da CE, foram pesados 50 grãos parboilizados em casca, que foram colocados em copos contendo um volume de 50ml de água destilada. As amostras permaneceram incubadas por um período de 24 horas. Após o período de embebição, foi realizada a leitura da condutividade da solução com auxílio de um condutivímetro previamente calibrado, e os resultados foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

4.3.5 Classificação do Arroz Beneficiado Parboilizado Polido

Já com os grãos beneficiados e polidos, foi feita a classificação, conforme os critérios estabelecidos pela Instrução Normativa nº 06, de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que define os padrões oficiais de qualidade para o arroz comercializado no Brasil (BRASIL, 2009).

Foram identificados e quantificados os principais defeitos presentes nos grãos, como ardidos, mofados, enegrecidos, manchados, picados, defeituosos e quebrados. A separação foi realizada por inspeção manual, com o auxílio de iluminação adequada e equipamentos laboratoriais. Essa análise permitiu verificar se os grãos atendiam aos requisitos mínimos de qualidade exigidos para a comercialização do arroz beneficiado parboilizado polido.

A avaliação considerou o tipo comercial, levando em conta a proporção de grãos inteiros, quebrados e defeituosos. Com base nesses parâmetros, as amostras foram classificadas em Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3, Tipo 4, Tipo 5 ou Fora de Tipo, conforme os limites máximos permitidos pela legislação vigente.

4.4 Delineamento Experimental e Análise estatística

O experimento foi organizado em um esquema fatorial com dois fatores:

- Adubação nitrogenada: foi composta por quatro doses de nitrogênio
 - 0 kg/ha;
 - 50 kg/ha;
 - 100 kg/ha;
 - 150 kg/ha.
- Temperatura de banho: foi composta por 4 temperaturas
 - 60°C;
 - 70°C;
 - 80°C;
 - 90°C.

Os resultados foram analisados com o software Sisvar. A análise de variância foi realizada a 5% de probabilidade. Posteriormente, realizou-se uma análise conjunta para identificar a interação entre os tratamentos. Os tratamentos que apresentaram interações significativas foram analisados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de variância (Tabela 2) permitiu avaliar os efeitos da adubação nitrogenada (X_1), da temperatura de imersão (X_2) e da interação entre ambos ($X_1 \times X_2$) sobre variáveis de qualidade tecnológica do arroz parboilizado. Os resultados mostraram que tanto X_1 quanto X_2 influenciaram significativamente diversos parâmetros de qualidade dos grãos.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para às variáveis referentes a qualidade tecnológica de grãos de arroz, em função da adubação nitrogenada e temperatura de imersão na etapa de encharcamento da parboilização.

F.V.	PM	PH	CE	RE	RN	QB
Adubação nitrogenada (X_1)	3,36*	24,67 ^{ns}	210,49 ^{ns}	7,65 ^{ns}	285,50*	220,11*
Temperatura de imersão (X_2)	0,022 ^{ns}	366,60*	740,89*	6,00 ^{ns}	513,57*	450,07*
$X_1 \times X_2$	0,15 ^{ns}	12,97 ^{ns}	83,89 ^{ns}	10,09 ^{ns}	422,28*	377,15*
erro	0,15	8,75	75,52	5,06	27,69	23,33
CV (%)	1,92	2,05	9,56	3,14	8,90	38,86

* e ns, significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente

FV – Fator de Variação; **PM** – Peso de mil grãos (kg); **PH** – Peso hectolitro (kg); **CE** – Condutividade elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$); **RE** – renda; **RN** – Rendimento; **QB** – Quebrados; **CV** – Coeficiente de Variação.

A adubação nitrogenada apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) sobre o peso de mil grãos (PM), renda (RE) e porcentagem de grãos quebrados (QB). Isso indica que o nível de nitrogênio aplicado afetou diretamente a massa individual dos grãos, a eficiência do processo de parboilização e a integridade física do produto final.

Por sua vez, a temperatura de imersão apresentou efeitos significativos sobre peso hectolitro (PH), condutividade elétrica (CE), rendimento (RN) e também para grãos quebrados (QB). O que demonstra que a temperatura utilizada durante o encharcamento interfere em propriedades físicas e estruturais dos grãos, como densidade, permeabilidade celular e resistência à quebra.

Já a interação entre adubação e temperatura ($X_1 \times X_2$) foi significativa para rendimento (RN) e grãos quebrados (QB), indicando que o efeito da adubação sobre essas variáveis

depende do nível de temperatura aplicado, e vice-versa. Tal interação sugere que a combinação inadequada entre esses dois fatores pode intensificar perdas por quebra ou reduzir o rendimento.

De forma geral, os resultados confirmam que a temperatura de imersão exerce um papel determinante sobre a maioria dos parâmetros avaliados, sendo essencial no controle da qualidade industrial do arroz. No entanto, o manejo da adubação nitrogenada também se mostrou relevante, com efeitos positivos no rendimento, embora com impacto potencialmente negativo sobre a integridade dos grãos.

De acordo com a Tabela 3, a variável peso de mil grãos (PM) foi significativamente influenciada pela adubação nitrogenada, sendo que os tratamentos com 0 e 50 kg/ha apresentaram os maiores valores médios, estatisticamente superiores aos observados nos tratamentos com 100 e 150 kg/ha, conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3 - Peso de mil grãos em função da adubação nitrogenada no cultivo de arroz.

Adubação nitrogenada (kg/ha)	Peso de mil grãos (kg)
0	21,40 A
50	21,05 A
100	20,25 B
150	20,45 B

* Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

O PM mais elevado nas doses mais baixas de nitrogênio podem ser explicadas pela menor competição entre os grãos durante o enchimento. Quando há excesso de nitrogênio, especialmente na fase reprodutiva, ocorre o estímulo à formação de um número maior de grãos por planta, o que aumenta a demanda por assimilados. Isso pode levar a uma distribuição menos eficiente de nutrientes e energia, resultando em grãos menos densos e, portanto, com menor peso individual. Estudo realizado por Zhao et al., (2022) em arroz revelou que aplicações excessivas de nitrogênio diminuíram a taxa de enchimento dos grãos em 12,7–25,8% e comprometeram a qualidade do grão, evidenciando o impacto negativo do N em excesso no peso.

FU et al., (2019) observou que altas doses de nitrogênio promovem má distribuição de assimilados, provocando enchimento desigual dos grãos durante o desenvolvimento. Com os resultados obtidos podemos verificar que doses moderadas ou baixas de nitrogênio favorecem

a formação de grãos mais pesados, possivelmente por garantir melhor eficiência no uso dos assimilados durante o enchimento.

Na Tabela 4 é apresentado que a temperatura de imersão na etapa de encharcamento exerceu influência significativa sobre o peso hectolitro (PH) dos grãos de arroz parboilizado. Observa-se uma tendência decrescente no PH com o aumento da temperatura, sendo que os grãos submetidos à temperatura de 60 °C apresentaram o maior valor médio de 148,48 kg/hl, estatisticamente superior ao registrado a 90 °C, que apresentou o menor valor, resultando em 136,05 kg/hl.

Tabela 4 - Peso hectolitro grãos em função da temperatura de imersão na etapa de encharcamento da parboilização

Temperatura (°C)	Peso hectolitro (kg/hl)
60	148,48 A
70	146,79 AB
80	144,83 B
90	136,05 C

*. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Essa redução progressiva do PH pode ser atribuída ao efeito das altas temperaturas sobre a estrutura física dos grãos. Em temperaturas mais elevadas, ocorre maior gelatinização do amido, que pode resultar na expansão e até fragilização da estrutura do grão, levando à formação de cavidades internas e redução da compactação entre os grãos no recipiente de medição (BALBINOTI et al., 2022). Conforme confirmado por Oli et al. (2014) a gelatinização do amido durante o processamento do arroz atua no fechamento de microfissuras presentes nos grãos. Esse preenchimento de espaços internos contribui para reduzir a incidência de grãos quebrados, além de aumentar a resistência do arroz ao ataque de insetos e micro-organismos (MULLER et al., 2022). Também proporciona uma textura mais firme aos grãos e favorece a retenção de nutrientes, resultando em um produto final de melhor qualidade.

Como o PH está relacionado à densidade aparente dos grãos, grãos mais porosos ou deformados tendem a gerar valores menores.

O valor intermediário observado a 70 °C (146,79 kg/hl), que não diferiu estatisticamente do valor a 60 °C, sugere que temperaturas moderadas podem preservar

melhor a estrutura dos grãos, mantendo sua densidade e resistência sem causar danos térmicos excessivos.

Os resultados apresentados na Tabela 5 demonstram que a temperatura de imersão influenciou significativamente os valores de condutividade elétrica (CE) dos grãos de arroz parboilizado. Observou-se um aumento progressivo da CE com a elevação da temperatura, sendo os menores valores registrados a 60 °C (85,12 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e 70 °C (85,39 $\mu\text{S}/\text{cm}$), e o maior valor a 90 °C (101,92 $\mu\text{S}/\text{cm}$), significativamente superior aos demais pelo teste de Tukey.

A condutividade elétrica é um parâmetro sensível à integridade das membranas celulares dos grãos (RAMOS et al., 2022). Valores mais elevados indicam maior perda de íons para o meio aquoso, ou seja, maior dano estrutural às membranas (SUGANTHI et al., 2024). Isso sugere que temperaturas mais altas durante o encharcamento provocam maior desorganização das membranas celulares, permitindo a saída de compostos como potássio, cálcio e outros eletrólitos, o que compromete a qualidade tecnológica do arroz (LAKMALI et al., 2024).

Tabela 5 - Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) em função da temperatura de imersão na etapa de encharcamento da parboilização.

Temperatura (°C)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
60	85,12 B
70	85,39 B
80	91,27 B
90	101,92 A

*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

A preservação da CE em temperaturas mais baixas (60 °C e 70 °C) indica que essas condições são menos agressivas ao tecido celular, mantendo maior integridade da parede celular e, conseqüentemente, a qualidade física e fisiológica dos grãos. Esses resultados confirmam que a temperatura de imersão deve ser cuidadosamente controlada no processo de parboilização, uma vez que temperaturas excessivas podem comprometer a qualidade final do grão, mesmo que favoreçam outros parâmetros tecnológicos. O uso da CE como ferramenta de avaliação é especialmente útil por sua sensibilidade à desorganização estrutural dos tecidos.

A variável rendimento (RN) apresentou interação significativa entre os fatores adubação nitrogenada e temperatura de imersão (Tabela 6), evidenciando que os efeitos de um fator dependem do nível do outro. Essa interação é crucial, pois o rendimento é um parâmetro diretamente ligado à eficiência industrial e ao aproveitamento econômico do produto final.

Tabela 6 - Desmembramento da interação adubação nitrogenada (0, 50, 100, 150 kg/ha) x temperatura de imersão na etapa de encharcamento da parboilização (60, 70, 80 e 90°C), para variável de rendimento

Doses de Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Temperatura de imersão (°C)			
	60	70	80	90
0	70,16 Aa	66,26 ABa	66,60 ABa	56,16 Bb
50	66,63 Aa	61,36 Aa	62,33 Aa	56,13 Ab
100	41,03 Bb	70,23 Aa	59,06 Aba	47,83 Ab
150	28,36 Cc	70,53 Aa	55,63 Ab	68,13 Aa

*. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

De forma geral, os maiores valores de rendimento foram observados nas temperaturas de 70 °C, especialmente nas doses de 100 e 150 kg/ha de N, com destaque para 70,23% (100 kg/ha) e 70,53% (150 kg/ha). Para Muchlisyyiyah et al., (2025) o maior rendimento no arroz parboilizado beneficiado foi de 72,28%, obtida com a temperatura de imersão de 74,14 °C. Estes resultados indicam que essa faixa térmica promove uma parboilização eficaz, favorecendo a coesão estrutural dos grãos e minimizando perdas por quebra, o que eleva a quantidade de grãos inteiros aproveitáveis.

Por outro lado, nas temperaturas extremas, como 60 °C e 90 °C, o comportamento do rendimento foi mais variável e, em muitos casos, inferior. A 60 °C, rendimentos mais altos foram observados nas doses de 0 e 50 kg/ha, sugerindo que, sob baixa temperatura, o excesso de nitrogênio compromete a qualidade estrutural dos grãos, como evidenciado pelos baixos valores com 100 kg/ha (41,03%) e 150 kg/ha (28,36%). Já a 90 °C, o rendimento manteve-se moderado apenas na dose de 150 kg/ha (68,13%), com quedas significativas nas demais.

Esse padrão reforça que doses elevadas de nitrogênio só são vantajosas em faixas térmicas bem controladas, como 70 °C, onde a estrutura do grão consegue suportar melhor o

estresse térmico. Em condições inadequadas de temperatura, o excesso de N pode tornar os grãos mais frágeis e propensos à quebra, reduzindo significativamente o rendimento.

Ressalta-se que rendimentos elevados são altamente desejáveis, pois representam maior quantidade de produto inteiro recuperado após o beneficiamento, o que se traduz em melhor eficiência econômica, menor perda de matéria-prima e maior competitividade do produto no mercado. Portanto, a interação entre adubação e temperatura precisa ser finamente ajustada para que o arroz parboilizado atinja sua máxima qualidade e aproveitamento, sendo a combinação de 100 ou 150 kg/ha de N a 70 °C as mais promissoras para o aumento do rendimento industrial.

A variável grãos quebrados (QB) apresentou interação significativa entre adubação nitrogenada e temperatura de imersão, conforme demonstrado na Tabela 7. Essa interação revela que o efeito da dose de nitrogênio sobre a integridade física dos grãos depende diretamente da temperatura utilizada no encharcamento durante a parboilização.

Tabela 7 – Desmembramento da interação adubação nitrogenada (0, 50, 100, 150 kg/ha) x temperatura de imersão na etapa de encharcamento da parboilização (60, 70, 80 e 90°C), para variável de quebrados.

Doses de Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Temperatura de imersão (°C)			
	60	70	80	90
0	2,86 Bc	5,53 ABa	6,93 ABa	15,20 Aa
50	4,73 Ac	10,73 Aa	10,50 Aa	14,83 Aa
100	30,13 Ab	2,90 Ca	12,26 BCa	22,83 ABa
150	41,96 Aa	2,86 Ba	10,73 Ba	3,83 Bb

*. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Os dados mostram que os menores percentuais de grãos quebrados foram observados com baixas doses de nitrogênio (0 e 50 kg/ha) e temperaturas moderadas de imersão (60–70 °C). O menor valor absoluto foi registrado no tratamento com 0 kg/ha de N a 60 °C (2,86%), evidenciando que essa combinação favoreceu a integridade dos grãos, reduzindo o risco de fraturas.

Por outro lado, o maior índice de grãos quebrados foi observado com 150 kg/ha de N a 60 °C (41,96%), seguido por 100 kg/ha na mesma temperatura (30,13%). Esses resultados

sugerem que, em temperaturas mais baixas, o excesso de nitrogênio pode comprometer a coesão estrutural dos grãos, tornando-os mais suscetíveis a quebras durante o processamento. Já em temperaturas mais elevadas (90 °C), os percentuais de quebrados também aumentaram em quase todos os tratamentos, o que é indicativo de fragilidade térmica ou choque estrutural durante o encharcamento.

A interação observada confirma que o controle simultâneo da adubação e da temperatura é essencial para preservar a qualidade física dos grãos. As melhores combinações, conforme os dados obtidos, foram 0–50 kg/ha de N com temperaturas entre 60 °C e 70 °C, que apresentaram menor incidência de fraturas. A ocorrência de grãos quebrados é altamente indesejável, pois reduz o rendimento comercial, deprecia o valor de mercado do arroz e compromete a aceitação do produto pelos consumidores e pela indústria.

De modo geral, os resultados obtidos evidenciam que tanto a adubação nitrogenada quanto a temperatura de imersão influenciam significativamente a qualidade tecnológica do arroz parboilizado. A análise isolada dos fatores mostrou efeitos distintos sobre variáveis como peso de mil grãos, peso hectolitro e condutividade elétrica, enquanto as interações entre esses fatores revelaram comportamentos complexos, especialmente nas variáveis rendimento e grãos quebrados. Tais interações reforçam a importância de um manejo integrado e criterioso dos dois fatores, uma vez que combinações inadequadas podem comprometer a integridade dos grãos e reduzir a eficiência industrial. Assim, a definição de estratégias ótimas de cultivo e processamento é essencial para maximizar a qualidade final do produto e o aproveitamento econômico da produção.

A tabela 8, apresenta a incidência de defeitos em grãos de arroz parboilizados submetidos a diferentes temperaturas de encharcamento e doses de adubação nitrogenada, é possível perceber que o total de quebrados foi significativamente influenciado pela combinação.

Tabela 8 – Incidência de defeitos em grãos de arroz parboilizados submetidos a diferentes temperaturas de encharcamento e doses de adubação nitrogenada

Adubação nitrogenada (kg há⁻¹)	Impureza	Mofados Ardidos e Enegrécidos	Não Gelatinizados	Danificados	Rajados	Picados ou Manchados	Total de Quebrados
Temperatura - 60°C							
0	0,00	0,34	0,00	0,19	0,00	0,03	2,87
50	0,00	0,32	0,00	0,18	0,00	0,03	4,73
100	0,00	0,20	0,00	0,11	0,00	0,02	30,13
150	0,00	0,14	0,00	0,08	0,00	0,01	41,97
Temperatura - 70°C							
0	0,00	0,32	0,00	0,18	0,00	0,03	5,53
50	0,00	0,29	0,00	0,17	0,00	0,02	10,73
100	0,02	0,34	0,00	0,19	0,02	0,03	2,90
150	0,00	0,34	0,00	0,19	0,00	0,03	2,87
Temperatura - 80°C							
0	0,00	0,32	0,00	0,18	0,01	0,03	7,95
50	0,00	0,30	0,00	0,17	0,00	0,02	10,50
100	0,00	0,28	0,00	0,16	0,00	0,02	12,27
150	0,00	0,27	0,00	0,15	0,00	0,02	10,73
Temperatura - 90°C							
0	0	0,30	0,00	0,17	0,00	0,03	15,20
50	0	0,25	0,00	0,14	0,00	0,02	14,83
100	0	0,31	0,00	0,18	0,00	0,03	22,83
150	0	0,31	0,00	0,17	0,00	0,03	3,83

Pode-se perceber, que na temperatura de 60°C, o aumento das doses de adubação nitrogenada resultou em um aumento expressivo no total de quebrados que passou de 2,87 para 41,97. O excesso de N pode proporcionar o desenvolvimento de doenças e afetar a produtividade e a qualidade dos grãos (MARZARI ET AL., 2007; CRUSCIOL ET AL., 2006).

Para a temperatura de 70°C, foi observado ao contrário da temperatura de 60°C as doses mais elevadas (100 e 150 kg há⁻¹), apresentaram os menores valores de quebrados, isso sugere que a combinação de maior temperatura com maior dose de adubação leva a uma maior gelatinização dos grãos, segundo Paraginski et al.,(2014) a redução dos teores de grãos quebrados é resultado do processo de gelatinização do amido, que ocorre durante a parboilização do arroz, promovendo uma reestruturação do endosperma amiláceo do grão. Durante esse processo, as fissuras intragranulares, resultado de adsorção e dessorção de umidade, durante as fases de cultivo, colheita, secagem e armazenamento, que provocariam a quebra dos grãos durante o descascamento e o polimento, são eliminadas, elevando o rendimento de grãos inteiros.

Na temperatura de 80°C, observou-se também um aumento no total de defeitos com o aumento das doses de adubação. Esse resultado de alta temperatura e altas doses de adubação podem prejudicar a estrutura do grão, segundo Souza et al., (2010), que observou aumento dos defeitos em arroz parboilizado sob condições de estresse térmico e nutricional.

Já na temperatura de 90°C, consegue-se observar que o maior valor de quebrados se encontra na dose de 100 (kg há⁻¹), enquanto na maior dose 150 (kg há⁻¹) encontra-se o menor valor de quebrado, se assemelhando ao resultado apresentado na temperatura de 70°C, reforçando uma interação favorável entre alta temperatura e altas doses de adubação, Segundo Oliveira et al., (2018), certas condições, o nitrogênio pode atuar positivamente na qualidade industrial do arroz quando associado a práticas de processamento adequadas. Porém pode-se observar um leve aumento no número de mofados, ardidos e enegrecidos conforme aumentou as doses de adubação.

Além do total de quebrados, outros defeitos como mofados e danificados também apresentaram leves variações, mas com menor impacto numérico, Paraginski et al., (2014), o aumento da incidência de defeitos é resultado do maior tempo de exposição a altas temperaturas em níveis de umidade elevados (30-32%) durante a parboilização, que intensificam as reações químicas, fazendo com que apareçam manchas e outras alterações que estavam latentes nos grãos antes da parboilização.

De maneira geral, o total de defeitos foi mais sensível à variação da adubação em temperaturas 60 °C e 90 °C, o que reforça a necessidade de um manejo técnico equilibrado entre nutrição da planta e parâmetros de parboilização, a fim de preservar a qualidade do produto final.

A tabela 9, mostra a classificação dos grãos de arroz parboilizado conforme a Instrução Normativa 6/2009, em função de diferentes doses de adubação nitrogenada e temperaturas de encharcamento.

Tabela 9 – Classificação de em grãos de arroz parboilizados provenientes de diferentes temperaturas de encharcamento e doses de adubação nitrogenada

Doses de Adubação (kg ha-1)	Temperatura de encharcamento (°C)			
	60	70	80	90
0	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 3	FT
50	Tipo 2	Tipo 4	Tipo 4	Tipo 5
100	FT	Tipo 2	Tipo 5	FT
150	FT	Tipo 2	Tipo 4	Tipo 2

*FT - Fora de tipo (excede os limites de tolerância para o Tipo 5)

Nas temperaturas de 60 e 90°C é possível observar a tendência para Arroz Fora de Tipo (FT), especialmente nas doses mais altas de adubação. Isso que dizer que sob essas condições, os grãos não apresentaram maiores índices de defeitos, como quebrados, ultrapassando os limites para o Tipo 5. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de que temperaturas muito baixas não promovem adequada gelatinização do amido, enquanto temperaturas muito altas podem provocar danos térmicos, ambos agravados pelo excesso de nitrogênio que pode deixar os grãos mais frágeis (Fageria & Baligar, 2001; Juliano, 1993).

Para as temperaturas de 70 e 80°C pode-se observar que a classificação ficou dentro dos limites aceitáveis (Tipo 2 e 5).

Na figura 6, estão representados os resultados dos tratamentos provenientes dos grãos de arroz parboilizados com diferentes doses de adubação nitrogenada e temperaturas de encharcamento.

Figura 6 – Representação dos tratamentos (A) Temperatura de 60°C, (B) Temperatura de 70°C, (C) Temperatura de 80°C e (D) Temperatura de 90°C



Fonte: Autor

Esses resultados mostram que não é apenas as doses de adubação nitrogenada que influenciam na qualidade do arroz parboilizado, mas sim a forma como ela é combinada com a temperatura aplicada no processo de encharcamento dos grãos. Trabalhar com temperaturas

intermediárias, aliadas a um uso consciente da adubação nitrogenada, se mostrou essencial para manter a aparência e a integridade dos grãos parboilizados. Essa combinação equilibrada contribui diretamente para a produção de um arroz de melhor qualidade, com maior valor de mercado e melhor aceitação pelos consumidores.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, foi possível identificar que a combinação de 100 e 150 kg/ha de nitrogênio com temperatura de imersão de 70 °C proporcionou os melhores rendimentos do arroz parboilizado, com valores de 70,23% e 70,53%, respectivamente. Esses tratamentos superaram significativamente combinações como 150 kg/ha a 60 °C, cujo rendimento foi de apenas 28,36%, representando uma diferença superior a 42 pontos percentuais.

Para a variável grãos quebrados, os menores valores foram observados com 0 kg/ha de N a 60 °C (2,86%) e 100 a 150 kg/ha de N a 70 °C (2,90% e 2,86%), enquanto os maiores índices ocorreram com 150 kg/ha a 60 °C (41,96%), representando um aumento de mais de 1.365% em relação ao melhor tratamento. Esses dados evidenciam que o excesso de nitrogênio em temperaturas inadequadas compromete drasticamente a integridade dos grãos.

Quanto à condutividade elétrica, a temperatura de 90 °C gerou os maiores valores (101,92 $\mu\text{S}/\text{cm}$), indicando maior dano celular, enquanto os menores valores foram registrados a 60 e 70 °C, em torno de 85 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sugerindo melhor preservação da integridade das membranas.

A análise dos defeitos nos grãos de arroz parboilizados, mostraram que tanto adubação nitrogenada quanto a temperatura de encharcamento influenciam significativamente na qualidade final do produto. Doses pequenas de adubação nitrogenada junto de baixas temperaturas de encharcamento, resultam em maiores incidências de grãos quebrados, evidenciando a fragilidade estrutural provocada pelo excesso de nitrogênio em condições de menor gelatinização.

O uso de temperatura de imersão moderada (70 °C), combinado a doses entre 100 e 150 kg/ha de nitrogênio, é a estratégia mais eficaz para alcançar alto rendimento com baixa quebra e boa qualidade estrutural dos grãos. Em temperaturas mais elevadas, como 80 °C e 90 °C, observou-se um comportamento não linear, com destaque para a dose de 150 kg ha⁻¹ a 90 °C, que apresentou baixo índice de defeitos, indicando possível efeito positivo da combinação entre calor intenso e alta disponibilidade de nitrogênio. Evidenciando a importância do manejo equilibrado da adubação nitrogenada junto com as condições adequadas de processamento térmico no processo de parboilização.

A qualidade do arroz parboilizado depende do equilíbrio entre a dose de nitrogênio e a temperatura de encharcamento. Temperaturas intermediárias, como 70 °C, aliadas a um bom manejo da adubação, contribuíram para grãos com melhor classificação comercial. Já combinações extremas prejudicaram a qualidade, reforçando a importância de ajustar bem as

práticas no campo e no processo industrial para garantir um produto final mais valorizado e aceito pelo mercado.

7 REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, Niyonshima; PAUL, H. Jean; GERARDINE, Nyirahanganyamunsi. Effect of parboiling technique on the nutritional quality of rice. **Glob. J. Nutr. Food Sci**, v. 2, p. 1-13, 2020.

AMATO, G.W; ELIAS, M.C. **A parboilização do arroz**. Porto Alegre. Ricardo Lenz Editor, 160p., 2005.

ARAMBURU, Bruno Behenck et al. **Disponibilidade de nitrogênio no solo e produtividade de arroz irrigado sob fracionamentos da adubação nitrogenada**. 2018.

Arroz - **Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz>>.

BALBINOTI, T, C, V.; JORGE, L, M, M.;HAMINIUK, C, W, I.; JORGE, R, M, M. Multiphysics simulation and characterisation of parboiling of long grain rice during hydration. **Journal of Cereal Science**, v. 103, p. 1-8, 2022.

DE LIMA LOPE SL, M. F.; DE MATOS T. EPES"" , A. **ASPECTOS QUALITATIVOS E NUTRICIONAIS DO ARROZ**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176490/1/Aspectos-qualitativos.pdf>>.

ELIAS, Moacir Cardoso; OLIVEIRA, Maurício de; VANIER, Nathan Levien. **Qualidade de arroz na pós-colheita e na agroindústria: análise, conservação e tipificação**. Pelotas: Santa Cruz, 2015.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 88, p. 97–185, 2001.

FIGUEIREDO, Eliane Lemke. Uso de aminoácidos como agentes limitantes da reação de Maillard no processo de parboilização de arroz e seus efeitos sobre a qualidade de três genótipos. 2021. 95 f. **Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)** – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

FU, P.; WANG, J.; ZHANG, T.; J, H.; PENG, S.; High nitrogen input causes poor grain filling of spikelets at the panicle base of super hybrid rice. **Field Crops Research**, v. 244, p. 1-9, 2019.

GEHLING, F. et al. **QUALIDADE FISIOLÓGICA DE DUAS CULTIVARES DE ARROZ EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA**. Disponível em: <<https://repositorio.ufpel.edu.br/bitstream/handle/prefix/9682/QUALIDADE%20FISIOL%20%93GICA%20DE%20DUAS%20CULTIVARES%20DE%20ARROZ%20EM%20FUN%20%87%20%83O%20DA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

LAKMALI, I.; JEGANATHAN, Y.; NADARAJAH, K. Comparative examination of leaching kinetics of soluble solids and effluent characteristics in different soaking processes of paddy parboiling. **Water Science & Technology**, v. 9, p. 1-35, 2024.

MARTINEZ, Diogo Silva. **AVALIAÇÃO TEMPORAL DA PRODUÇÃO DE ARROZ E SOJA NOS MUNICÍPIOS DE URUGUAIANA, BARRA DO QUARAÍ, SÃO BORJA E ITAQUI NO RIO GRANDE DO SUL**. 2022. **Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pampa**, Itaqui, 2022.

Marzari V, Marchezan E, Silva LS, Villa SCC, Santos FM & Teló GM (2007) População de plantas, dose de nitrogênio e aplicação de fungicida na produção de arroz irrigado: II. Qualidade de grãos e sementes. **Ciência Rural**, 37:936-941.

MATOS FILHO, Hélio Aparecido; CARVALHO, Renata de Castro Marques. Análise de carboidratos solúveis em plantas de arroz. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2020.

MUHLISYIYAH, J.; SHAMSUDIN, R.; BASHA, R, K.; SHUKRI, R.; HOW, S.; BASRI, M, S, M. Optimization of soaking conditions in parboiling using response surfacemethodology to enhance the properties of MR297 rice cultivar. **Cogent Food & AgriCulture**, v. 11, p. 1-18, 2025.

MULLER, A.; NUNES, M, T.; MALDANER, V.; CORADI, P, C.; MORAES, R, S.; MARTENS, S.; LEAL, A, F.; PEREIRA, V, F.; MARIN, C, K. Rice Drying, Storage and Processing: Effects of Post-Harvest Operations on Grain Quality. **Rice Science**, v. 29, p. 16-30, 2022.

OLI, P.; WARD, R.; ADHIKARI, B.; TORLEY, P. Parboiled rice: Understanding from a materials science approach. **Journal of Food Engineering**, v. 124, p. 1-11, 2014.

OLIVEIRA, J. P. et al. Adubação nitrogenada e qualidade de grãos de arroz sob diferentes temperaturas de encharcamento. **Científica**, 2018.

PARAGINSKI, R. T. et al. Propriedades tecnológicas e de cocção em grãos de arroz condicionados em diferentes temperaturas antes da parboilização. **Brazilian journal of food technology**, v. 17, n. 2, p. 146–153, 2014.

PERES, Betina Bueno. Otimização do processo de parboilização de arroz selvagem (*Zizania* sp): Efeitos nas propriedades físico-químicas, compostos bioativos e digestibilidade do amido. Orientador: Maurício de Oliveira. 2022. 77 f. **Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)** - Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.Sistema Integrado de Legislação. Disponível em: <<https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1687046295>>.

Portal de informações agropecuárias. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-360.html>>.

RAMOS, A, H.; TIMM, N, S.; ROCKENBACH, B, A.; FERREIRA, C, D.; HOFFMANN, J, F.; OLIVEIRA, M. Red rice drying and storage: Effects on technological properties and phenolic compounds of the raw and cooked grains. *Journal of Cereal Science*, v. 103, p. 1-9, 2021.

SIVAKAMASUNDARI, S. K.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Effect of parboiling methods on the physicochemical characteristics and glycemic index of rice varieties. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 14, p. 3122-3137, 2020.

SOUZA, M. A. et al. Efeito da temperatura no parboilização e qualidade industrial do arroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2010.

SUGANTHI, A.; VIGNESHWARI, R.; SATHIAH, N.; KUMAR, S, S.; SIVAMURUGAN, A, P.; THANGACHAMY, P.; LLANGO, S, S.; SUDHANAN, E, M.; KARTHIK, P.; SHANTHI, M. Persistence of foliar applied and pre-storage seed-treated insecticides in rice and its processed products. *Scientific Reports*, v. 14, p. 1-10, 2024

VILLANOVA, Franciene Almeida. Efeitos dos genótipos e das pressões de autoclavagem sobre parâmetros de qualidade de arroz parboilizado de cultivares da América do Sul. 2020. 79f. **Tese de Doutorado** - Programa de PósGraduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

ZHAO, P.; LIU, G.; CHEN, Y.; JIANG, Y.; SHI, Y.; ZHAO, L.; LIAO, P.; WANG, W.; XU, K.; DAI, Q.; HUO, Z. Excessive Nitrogen Application Leads to Lower Rice Yield and Grain Quality by Inhibiting the Grain Filling of Inferior Grains. **Agriculture**, v. 12, p.1-17, 2022.

<<https://www.researchgate.net/profile/Mauricio-Oliveira-4/publication/351740801/figure/fig2/AS:1025705819254784@1621558732265/Figura-12-Estrutura-morfologica-de-um-grao-de-arroz-e-as-partes-que-o-compoem.png>>.