

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Samuel Martens

**CORRELAÇÕES DOS PROCESSOS DE SECAGEM E
INTERMITÊNCIA SOBRE A QUALIDADE DO ARROZ POLIDO E
INTEGRAL**

Santa Maria, RS
2022

Samuel Martens

**CORRELAÇÕES DOS PROCESSOS DE SECAGEM E
INTERMITÊNCIA SOBRE A QUALIDADE DO ARROZ POLIDO E
INTEGRAL**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

Santa Maria, RS
2022

Martens, Samuel

CORRELAÇÕES DOS PROCESSOS DE SECAGEM E INTERMITÊNCIA
SOBRE A QUALIDADE DO ARROZ POLIDO E INTEGRAL / Samuel
Martens.- 2022.

78 p.; 30 cm

Orientador: PAULO CARTERI CORADI

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Campus de Cachoeira de Sul, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2022

1. Pós-Colheita 2. Beneficiamento 3. Qualidade 4. Pré
Processamento I. CARTERI CORADI, PAULO II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

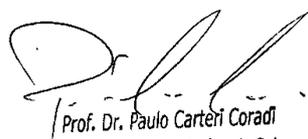
Declaro, SAMUEL MARTENS, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Samuel Martens

CORRELAÇÕES DOS PROCESSOS DE SECAGEM E INTERMITÊNCIA SOBRE A QUALIDADE DO ARROZ POLIDO E INTEGRAL

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 22 de Agosto de 2022.



Prof. Paulo Carteri Coradi, Dr. (UFSM) – via videoconferência
(Presidente/Orientador)

Documento assinado digitalmente

gov.br

DOUGLAS ROMEU DA COSTA

Data: 29/09/2022 14:35:37-0300

Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Douglas Romeu da Costa, Dr. (UFS) – via videoconferência
(Membro Externo)



Prof. Charline Zaratín Alves, Dra. (UFMS) – via videoconferência
(Membro Externo)

Santa Maria, RS
2022

DEDICATÓRIA

À minha família, em especial meus pais, Adelar Ademir Martens e Gina Marta Martens, fonte de persistência e inspiração dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida e oportunidade de lutar por meus objetivos.

Aos meus pais Adelar e Marta, pelo amor e carinho, e por todo esforço e dedicação para me oferecer um curso superior de qualidade, apesar de não terem tido a mesma oportunidade.

Ao professor orientador Dr. Paulo Carteri Coradi por todo apoio, paciência, disponibilidade e atenção dedicado durante este período.

À minha namorada Esther Favero pela companhia, carinho e apoio durante minha trajetória profissional.

À Universidade Federal de Santa Maria, juntamente ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade oferecida.

Ao Grupo de Pesquisa e ao Laboratório de Pós-colheita de Grãos- LAPOS, pela estrutura física e tecnológica para condução do experimento.

EPÍGRAFE

“Só é merecedor da liberdade e da vida
quem tem de conquistá-la de novo todos os dias”

Johann Goethe

CORRELAÇÕES DOS PROCESSOS DE SECAGEM E INTERMITÊNCIA SOBRE A QUALIDADE DO ARROZ POLIDO E INTEGRAL

AUTOR: Samuel Martens
ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

RESUMO: Embora a secagem intermitente seja muito utilizada no arroz, o tempo acumulativo deste processo pode influenciar na temperatura da massa de grãos, acentuando os danos térmicos nos grãos, mesmo que a intermitência contribua para minimizar os fluxos de calor e umidade entre os grãos e o ar de secagem. Assim, o objetivo do estudo foi correlacionar os efeitos do tempo de secagem e intermitência do arroz em casca sobre a qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido e integral. O experimento foi realizado em uma unidade armazenadora de grãos a nível de fazenda no município de Cachoeira do Sul-RS. Os lotes de grãos de arroz oriundas de colheita mecanizada, com teores de água entre 24 e 20% (b.u.) foram submetidas imediatamente às operações de pré-limpeza e secagem. As amostras coletadas foram analisadas no Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS) da Universidade Federal de Santa Maria- Campus Cachoeira do Sul. Os tratamentos analisados foram à secagem (temperatura média da massa do grão de 41 °C), a intermitência (temperatura média da massa do grão de 40 °C) e o tempo de secagem de 14 horas (corresponde ao número de vezes que o produto passou pelos processos de secagem e intermitência). Para cada tempo de secagem foi realizada amostragem dos grãos na etapa de secagem e na intermitência para avaliação da qualidade física do arroz em casca e a qualidade físico-química e morfológica do arroz polido e integral. Entre os resultados, verificou-se que o tempo acumulativo de secagem proporcionou um aumento na temperatura da massa de grãos, alterando a qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido e integral. O processo de intermitência não compensou satisfatoriamente o número de ciclos (tempo de secagem) da massa de grãos na câmara de secagem, em relação à qualidade final dos grãos, principalmente para o arroz polido.

Palavras-chave: Pós-Colheita, Pré-Processamento, Beneficiamento, Qualidade.

CORRELATIONS OF DRYING AND INTERMITTENCE PROCESSES ON THE QUALITY OF POLISHED AND BROWN RICE

AUTHOR: Samuel Martens
ADVISOR: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

ABSTRACT: Although intermittent drying is widely used in rice, the accumulative time of this process can influence the temperature of the grain mass, accentuating the thermal damage to the grains, even though the intermittence helps to minimize the fluxes of heat and humidity between the grains and the air drying. Thus, the objective of the study was to correlate the effects of drying time and intermittency of paddy rice on the physical, physicochemical and morphological quality of polished and brown rice. The experiment was carried out in a grain storage unit at farm level in the municipality of Cachoeira do Sul-RS. The batches of rice grains from mechanized harvesting, with water contents between 24 and 20% (b.u.) were immediately submitted to pre-cleaning and drying operations. The samples collected were analyzed at the Postharvest Laboratory (LAPOS) at Federal University of Santa Maria-Campus Cachoeira do Sul. The treatments analyzed were drying (mean temperature of the grain mass of 49 °C), intermittence (average temperature of the grain mass of 40 °C) and the drying time of 14 hours (corresponds to the number of times the product went through the drying and intermittence processes). For each drying time, grain sampling was carried out in the drying stage and in the intermittence stage to evaluate the physical quality of paddy rice and the physicochemical and morphological quality of polished and brown rice. Among the results, it was verified that the accumulative drying time provided an increase in the temperature of the grain mass, altering the physical, physicochemical and morphological quality of the polished and brown rice. The intermittence process did not satisfactorily compensate for the number of cycles (drying time) of the grain mass in the drying chamber, in relation to the final quality of the grains, especially for polished rice.

Keywords: Post-Harvest, Pre-Processing, Processing, Cereal.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Fluxograma do beneficiamento do arroz polido.....19
- Figura 2 - Classificação dos grupos e subgrupos do arroz beneficiado.....20
- Figura 3- Fluxograma de beneficiamento do arroz integral.....20
- Figura 4 - Processo de secagem em camada fina durante um intervalo de tempo..31
- Figura 5 - Secador Intermitente (modelo Horbach).....38
- Figura 6 -Parâmetros de monitoramento da secagem intermitente do arroz em casca. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente (A), temperatura e velocidade do ar de secagem e exaustão (B), curva de secagem (C), temperatura da massa de grãos e teor de água na secagem (D).....43
- Figura 7 -Mapa de calor a distância euclidiana para os tratamentos e as variáveis de qualidade avaliadas no arroz integral e polido: renda (R), rendimento (RD), grãos quebrados no beneficiamento (GQB), grãos quebrados na classificação (GQC), grãos trincados (GT), grãos fragmentados (GF), peso total (PT), grãos sadios (GS), grãos ardidos (AD), grãos mofados (MO), grãos gessados (GS), grãos picados e manchados (PM), grãos verdes (GV), grãos marinheiros (GM), grãos vermelhos (GVE), teores de água (TA), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), gordura (G), amido (A) e cinzas (CS) avaliadas em arroz integral e polido.....49
- Figura 8 - Rede de correlações de Pearson entre as variáveis renda (R), rendimento (RD), grãos quebrados no beneficiamento (GQB), grãos quebrados na classificação (GQC), grãos trincados (GT), grãos fragmentados (GF), peso total (PT), grãos sadios (GS), grãos ardidos (AD), grãos mofados (MO), grãos gessados (GS), grãos picados e manchados (PM), grãos verdes (GV), grãos marinheiros (GM), grãos vermelhos (GVE), teores de água (TA), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), gordura (G), amido (A) e cinzas (CZ) avaliadas em arroz integral e polido.....52
- Figura 9 - Difractogramas de raios-X das amostras de arroz polido no tempo de

- secagem inicial (zero a cinco horas) (A), intermediária (cinco a dez horas) (B) e final (dez a quatorze horas) (C).....53
- Figura 10 - Cristalinidade relativa do arroz polido. As letras A, B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem inicial (zero a cinco horas), intermediário (cinco a dez horas) e final (dez a quatorze horas), respectivamente.....56
- Figura 11 - Microscopia eletrônica de varredura do arroz polido em função dos processos dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A, D, G), intermediária (cinco a dez horas) (B, E, H) e final (dez a quatorze horas) (C, F, I).....55
- Figura 12 - Composição química de arroz polido em função dos processos dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A), intermediária (cinco a dez horas) (B) e final (dez a quatorze horas) (C).....58
- Figura 13 - Difratogramas de raios-X das amostras de arroz integral no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A), intermediária (cinco a dez horas) (B) e final (dez a quatorze horas) (C).....60
- Figura 14 - Cristalinidade relativa do arroz integral. As letras A, B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem inicial (zero a cinco horas), intermediário (cinco a dez horas) e final (dez a quatorze horas), respectivamente.....61
- Figura 15 - Microscopia eletrônica de varredura do arroz integral em função dos processos dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A, D, G), intermediária (cinco a dez horas) (B, E, H) e final (dez a quatorze horas) (C, F, I).....62
- Figura 16 - Composição química de arroz integral em função dos processos dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A), intermediária (cinco a dez horas) (B) e final (dez a

quatorze	horas)
(C).....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do arroz de acordo com as dimensões dos grãos inteiros.	22
Tabela 2 - Classificação do arroz beneficiado polido em grupo e subgrupo.....	22
Tabela 3 - Modelos utilizados para a verificação do comportamento da isoterma....	28
Tabela 4 - Modelos matemáticos para a predição do fenômeno de secagem em produtos agrícolas.....	28
Tabela 5 - Estudos recentes sobre a influência da secagem na qualidade de grãos de arroz.....	34
Tabela 6 - Estudos recentes sobre a influência da secagem na qualidade de grãos de arroz.....	35
Tabela 7 - Análises multivariadas através da distância Euclidiana média e o método de agrupamento k-means.....	41
Tabela 8 - Análise de variância do beneficiamento do arroz polido e integral.....	45
Tabela 9 - Resultados significativos da interação secagem, intermitência e tipo de beneficiamento.....	46
Tabela 10 - Resultados significativos da interação secagem, intermitência e tempo de secagem.....	46
Tabela 11 - Resultados significativos da interação secagem, intermitência, tempo de secagem e tipo de beneficiamento.....	47
Tabela 12 - Resultados significativos da interação secagem, intermitência, tempo de secagem e tipo de beneficiamento.....	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
3. HIPÓTESES	15
4. REVISÃO DE LITERATURA	15
4.1 Cultura do arroz	15
4.2 PROCESSOS DE PÓS-COLHEITA	17
4.2.1 Beneficiamento do arroz polido	17
2.2.1 Beneficiamento do arroz integral	20
4.3 QUALIDADE DOS GRÃOS DE ARROZ	21
4.4 SECAGEM DE GRÃOS	25
4.4.1 Fundamentos da secagem de grãos	25
4.4.2 Cinética da secagem de grãos	27
4.4.3 Influência da secagem intermitente na qualidade dos grãos de arroz	31
5. MATERIAL E MÉTODOS	37
5.1 Caracterização do experimento	37
5.2 Secagem e amostragem do arroz em casca	37
5.3 Beneficiamento do arroz	38
5.4 Classificação física do arroz	39
5.5 Avaliação da qualidade físico-química do arroz	39
5.6 Análises de difração de raios (XRD)	39
5.7 Análises de microscopia eletrônica de varredura (SEM)	40
5.8 Análises estatísticas	40
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
6.1 Secagem do arroz em casca	42
6.2 Qualidade física e físico-química do arroz polido e integral	44
6.3 Análises multivariadas	45
6.4 Análises de difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura em grãos de arroz polido e integral	53
7. CONCLUSÕES	64
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1. INTRODUÇÃO

O arroz é um dos principais cereais cultivados no mundo, sendo o que apresenta a maior frequência na mesa dos brasileiros. Tem sua produção mundial estimada para a safra 2021/2022 em 513 milhões de toneladas beneficiadas, onde 7,28 milhões de toneladas serão produzidas no Brasil (USDA, 2022). Grande parte da produção mundial é proveniente de lavouras irrigadas, onde a condição de umidade no momento da colheita muitas vezes é elevada. Devido ao teor de água ser o principal fator no controle da atividade biológica do produto, torna-se necessário a passagem por um sistema de secagem antes da realização do beneficiamento e do armazenamento.

A partir da maturação fisiológica na lavoura, o grão está constantemente exposto à perdas por alterações físico-químicas. Grãos de arroz com elevado teor de água, estão sujeitos a altas taxas respiratórias, alta atividade enzimática e à suscetibilidade de proliferação de fungos que reduzem a qualidade do produto. Para amenizar este efeito, é necessária uma sincronia eficiente entre o fluxo de colheita e a capacidade operacional de secagem, reduzindo o tempo de espera na moega ou em caminhões e assim, minimizando também o custo de inadequação do sistema (ELIAS et al., 2010).

Para a realização da secagem, é necessário a existência de gradiente de pressões parciais de vapor entre os grãos e o ar de secagem, proporcionando o fluxo de água no sentido da maior pressão para a menor pressão de vapor. Durante a secagem ocorrem dois deslocamentos de forma simultânea: A transferência de água da superfície do grão para o ar aquecido e; o movimento da água contida no interior do grão para sua superfície, a qual possui menor pressão de vapor devido à influência do contato com o ar aquecido. O processo de secagem é caracterizado como isoentálpico, pois o ar recupera na forma de vapor de água o que perdeu de calor sensível, mantendo o balanço energético do sistema nulo (AQUERRETA et al., 2007; ASSAR et al., 2016).

A secagem artificial pode ser com ar aquecido: secagem contínua, onde os grãos ficam constantemente sob a ação do ar quente e a secagem intermitente, onde períodos de exposição ao calor são intercalados com períodos de descanso. O método mais utilizado na cultura do arroz é o intermitente, ao qual o secador possui necessariamente uma câmara de secagem onde o produto é exposto ao ar aquecido e uma câmara de intermitência onde o produto fica em repouso. Devido a difusão da água no interior dos grãos de arroz ser muito lenta, o período de intermitência tem

como objetivo proporcionar tempo para o deslocamento de água do interior do grão para sua superfície, otimizando a transferência de energia térmica e de massa de água ao expor novamente o grão ao ar aquecido. Porém, fatores como a condução do manejo de secagem, a necessidade de recirculação do produto diversas vezes pelo sistema até atingir o teor de água adequado, assim como a alta temperatura atingida pela massa de grãos podem ter impacto em sua qualidade física e físico-química de modo a depreciar a qualidade do produto (ELIAS e OLIVEIRA 2010).

Durante a condução do manejo da secagem vários fatores devem ser levados em consideração para a otimização do processo, de modo a ser conciliado: Alta eficiência energética, alta capacidade operacional e a manutenção qualitativa dos grãos. Para a indústria do arroz o fissuramento do grão resultante da secagem é um grande desafio, pois posteriormente, no processo de brunimento a estrutura do grão que foi comprometida pode quebrar, levando à redução do rendimento de grãos inteiros. A formação dessas fissuras estão correlacionadas com as diferenças nas propriedades do grão entre os estados vítreo e amorfo e por tensões de tração e compressão ocasionadas pelo gradiente de teor de água na estrutura do grão, os quais são diretamente influenciados pelos ciclos de intermitência e pela condição de têmpera após a secagem (AQUERRETA et al., 2007).

Os danos térmicos provocados pelo aumento da temperatura da massa de grãos também são relevantes, sendo influenciado pelas características do ar de secagem e pelo tempo de exposição, ocorrendo de forma mais acentuada ao final do processo onde a velocidade de evaporação e de transporte interno de água são reduzidas.

Posterior ao processo de secagem, os grãos de arroz são submetidos ao beneficiamento, a fim de se obter como produto final o arroz polido, integral ou parboilizado. As propriedades físicas e estruturais do arroz são importantes e determinam a interação do grão com o beneficiamento. O arroz polido por ser exposto à abrasão e fricção de forma mais intensa que o arroz integral, pode manifestar danos originados no processo de secagem de maneira mais acentuada (PINSON et al., 2018).

Em função do impacto econômico e qualitativo da secagem intermitente de grãos, e da necessidade de mais informações técnicas e científicas sobre o processo, este trabalho foi realizado buscando correlacionar a qualidade dos grãos de arroz polido e integral em função dos efeitos da secagem intermitente do arroz em casca. Tais informações serão importantes para a redução de perdas durante o

beneficiamento, além de contribuir para as indústrias processadoras obterem um produto final com maior qualidade.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do estudo foi avaliar os efeitos do tempo de secagem e intermitência do arroz em casca sobre a qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido e integral.

3. HIPÓTESES

O tempo acumulativo de secagem influenciará na temperatura da massa de grãos, acentuando o dano térmico, enquanto que, o processo de intermitência poderá atenuar as transferências de água e calor na massa de grãos para obter melhores resultados de qualidade no arroz beneficiado.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Cultura do arroz

O arroz é um dos principais cereais cultivados no mundo, sendo o que apresenta a maior frequência na mesa dos brasileiros e base da alimentação de metade da população mundial, seguido do trigo e do milho. A rizicultura teve origem há mais de onze mil anos atrás, iniciando seu cultivo no continente asiático e africano. Posteriormente, a cultura foi sendo difundida ao longo do globo chegando ao Brasil por meio das expedições coloniais, com registros do cereal sendo cultivado em regiões alagadas do Amazonas. Porém, sua produção de forma organizada ocorreu apenas após o século XVIII, tornando o país um grande exportador do grão até meados do século XIX (EMBRAPA, 2000; HUANG et al., 2012; SOUZA et al., 2013).

Na última década do século XIX, ocorreu a abertura comercial do Brasil, estabilização econômica e o controle cambial. Este cenário macroeconômico favoreceu a importação de tecnologias e melhoria da produtividade da cultura do arroz, proporcionando no ano de 2004, o Brasil ser autossuficiente em atender a demanda interna do grão (FOCHEZATTO, 2010). Tradicionalmente, o Rio Grande do sul é o principal estado produtor de arroz no Brasil, representando 70,8% da produção nacional (CONAB, 2021). Em um estudo realizado por Ottonelli e Grings (2017), avaliando a produção do Rio Grande do Sul entre os anos de 1991, 2000 e 2012,

verificaram um aumento da produção no período analisado, uma vez que a quantidade produzida dobrou e o aumento na área colhida foi de aproximadamente dois terços. Tais resultados indicam crescimento na produtividade, que estão associados a melhorias tecnológicas em equipamentos, insumos e manejo.

Diferentes sistemas de cultivo são empregados para a cultura devido à sua adaptação para diversos ambientes, de regiões temperadas a tropicais, em sistemas de sequeiro e irrigados, e até em monocultura em algumas regiões onde seu cultivo permite duas ou três safras ao longo do ano. O cultivo de arroz pelo sistema irrigado representa 89,1% da produção brasileira (10,1 milhões de toneladas), sendo adotado principalmente na região sul, a qual é responsável pela maior parte do abastecimento nacional, respondendo por cerca de 81% da produção (CONAB, 2021).

Avaliando o cenário mundial, a produção estimada para a safra 2022/2023 é de 515,35 milhões de toneladas de arroz polido. No Brasil, na safra 2021/2022 foram produzidos 10,78 milhões de toneladas de arroz em casca, com uma produtividade média estimada de $6.665 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, utilizando uma área de 1.618 mil hectares. Diferente da soja, a produção brasileira de arroz é utilizada de forma geral para suprir a demanda interna, estimada em 11 milhões de toneladas. Em relação ao mercado externo, apenas 1,3 milhões de toneladas serão exportadas e 1 milhão importadas, ocorrendo um leve superávit na balança comercial (FAO 2022; CONAB, 2021; USDA, 2022).

O cultivo de arroz está concentrado de forma geral na Ásia, representando mais de 90% da produção mundial. Em seguida, a produção da África representa 4,87%, e na América Latina são produzidos apenas 3,55% da produção mundial. O principal país produtor é a China, com uma expectativa de produção para a safra 2020/2021 de 148,3 milhões de toneladas de arroz polido, correspondendo cerca de 29,3% da produção mundial, seguida por Índia 23,8%, Indonésia 7% e Vietnã 5,3% (USDA, 2021).

Devido a questões culturais, o consumo de arroz varia de acordo com a região do globo, sendo a Ásia seu maior consumidor. O consumo médio mundial per capita de arroz polido entre 2020/2021 foi de 53.9 kg por pessoa ao ano. Em países asiáticos, as médias são elevadas, chegando a 181 kg. Na América latina, a média é de 33 kg, e especificamente no Brasil a média per capita foi de 30 kg ao ano (FAO, 2020).

Além da quantidade, a forma de consumo também pode ser influenciada pela cultura. No Brasil, se destaca a forma de grãos inteiros, sendo dividido em três produtos principais: arroz polido, integral e parboilizado. O arroz polido é o mais consumido pela população, e é obtido através do descasque e brunimento do grão integral. Para a produção do arroz parboilizado é empregado a técnica de tratamento hidrotérmico do arroz em casca. Já o arroz integral é o cereal em sua forma mais natural, sendo removida apenas sua casca durante o beneficiamento. Os grãos polidos, em geral, são destinados para seu consumo após o cozimento. Porém, a utilização da farinha de arroz por ser rica em amido e livre de glúten vem ganhando mercado e tem atraído o interesse dos consumidores e da indústria (EMBRAPA, 2013; KAUR, 2020).

4.2 PROCESSOS DE PÓS-COLHEITA

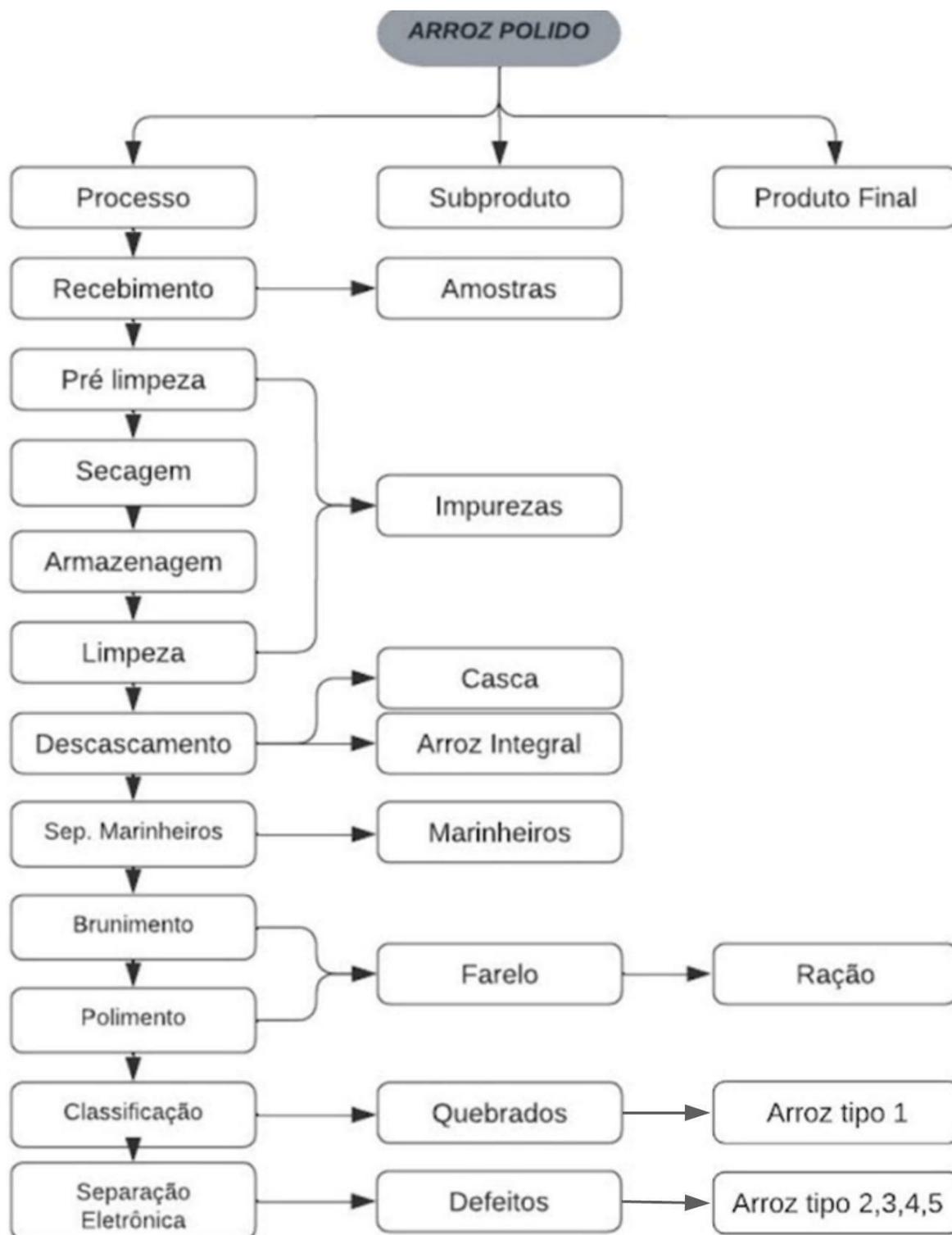
4.2.1 Beneficiamento do arroz polido

O arroz é beneficiado pela indústria por diferentes técnicas, obtendo produtos como o arroz polido, integral e parboilizado. De forma geral, para a produção do arroz polido ocorrem os seguintes processos:

- I. **Recebimento:** Recepção e descarregamento do produto à indústria, onde também são realizadas a pesagem e amostragem dos grãos. Na amostragem, os principais parâmetros analisados são o rendimento, teor de água e pureza dos grãos.
- II. **Pré-limpeza:** Tem como objetivo retirar impurezas antes da realização da secagem e do armazenamento, eliminando detritos que podem estar misturados na massa de grãos, como insetos, restos culturais do arroz ou de outras espécies vegetais. Para a realização do processo, é utilizado o princípio de separação por ar e peneiras.
- III. **Secagem:** Posterior a pré-limpeza, os grãos passam pelo processo de secagem para a redução do teor de água antes de serem armazenados. Muitas vezes o resíduo da casca de arroz produzido no beneficiamento é empregado para a alimentação das fomalhas.
- IV. **Armazenagem:** Após ter o teor de água reduzido a níveis seguros para serem armazenados, o grão é estocado em casca dentro de silos aguardando o momento de ser beneficiado pela indústria.

- V. **Limpeza:** Após o processo de pré-limpeza e secagem, o produto deve sofrer uma limpeza para remover possíveis impurezas que restaram. Nesta etapa, geralmente o produto é passado novamente pela máquina de ar e peneira.
- VI. **Descascamento:** Ocorre o processo de separação da casca do resto do grão, onde o arroz é descascado por roletes de borracha girando em direções opostas, separando a palha e o arroz integral devido ao movimento de torção exercido no grão. Posterior a isso, em um sistema pneumático chamado câmara de palha, o grão é separado da casca e de possíveis materiais indesejados. Como os grãos de arroz são armazenados com casca, essa operação geralmente não ocorre logo após a colheita e secagem.
- VII. **Separação dos marinheiros:** Os grãos que permaneceram com casca após o descascamento, são denominados marinheiros. Estes são separados e levados de volta ao descascamento. Esta etapa pode ser conciliada junto com a separação da palha, dependendo do equipamento utilizado.
- VIII. **Brunimento:** Etapa onde o arroz integral é transformado em polido. Através de máquinas chamadas de brunidores, compostas por pedras abrasivas, o arroz integral é lixado e o farelo de arroz é removido. Em geral, o processo de clareamento pode ser dividido em duas categorias: abrasivo e por fricção. O ajuste fino das configurações da máquina aliado às características do grão é importante para um alto rendimento.
- IX. **Polimento:** Através de um processo de pulverização de água e ar, o farelo de arroz que ainda permanece aderido ao grão é separado dele.
- X. **Classificação:** Por último, é realizada a classificação dos grãos de acordo com seu tamanho. Nessa etapa o rendimento de engenho é definido, relacionando a quantidade de grãos inteiros obtidos no final do processo.
- XI. **Separação eletrônica:** Neste processo selecionam-se os melhores grãos, os grãos são conduzidos em linha, passando por um sensor fotoelétrico que identifica os grãos com defeitos. Esses grãos são expulsos do equipamento por bicos injetores que soltam um jato de ar. Neste processo, o arroz é separado em grupos, subgrupos, classes e tipos (YADAV et al., 2008; EIFERT 2009; SAIDELLES et al., 2012; LIM 2013; PETROV 2020).

Figura 1 - Fluxograma do beneficiamento do arroz polido.

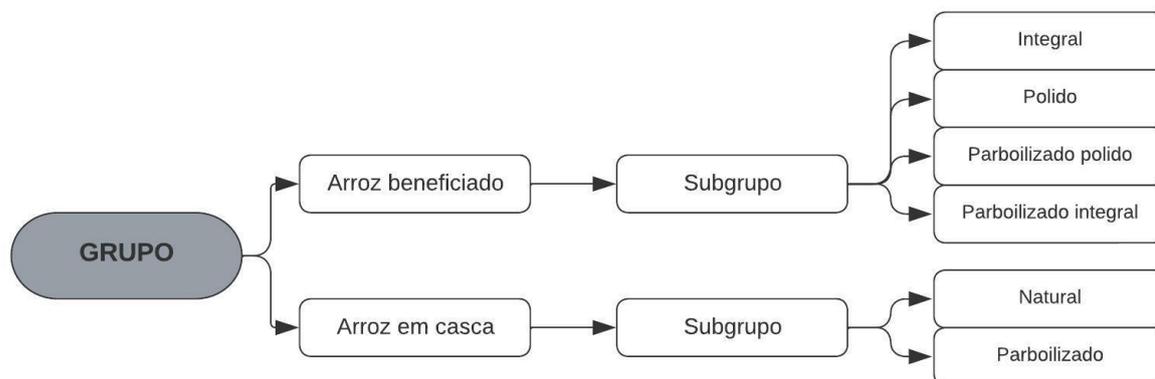


Fonte: Autor.

O arroz é identificado considerando o tratamento de beneficiamento ao qual é submetido, sendo classificado em grupos e subgrupos, conforme descrito na Figura 2. Além disso, é classificado de acordo com a tipificação proposta na Normativa nº 6/2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, onde são divididos

em cinco grupos, de acordo com a concentração de determinados defeitos ilustrados na Tabela 2 (BRASIL, 2009).

Figura 2 - Classificação dos grupos e subgrupos do arroz beneficiado.

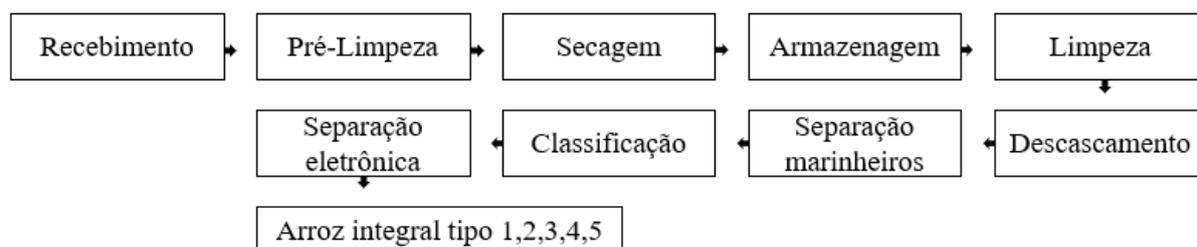


Fonte: Autor.

4.2.2 Beneficiamento do arroz integral

O processo de beneficiamento do arroz integral (Figura 3), tem seu início semelhante ao do arroz polido, porém apenas sua casca é removida, não ocorrendo a passagem pelas etapas de brunimento e polimento. Devido ao não revolvimento da camada externa dos grãos, este mantém uma qualidade nutricional superior ao arroz polido, com uma maior concentração de nutrientes e compostos bioativos, possuindo um grande potencial de demanda e ataindo interesse de cientistas, governos e consumidores em todo o mundo (FERRUZZI et al; 2014, SALEH et. al. 2017).

Figura 3- Fluxograma de beneficiamento do arroz integral.



Fonte: Autor.

4.3 QUALIDADE DOS GRÃOS DE ARROZ

Durante o processo de beneficiamento do arroz, parâmetros de qualidade podem ser alterados conforme o manejo de cada processo. A qualidade do arroz pode ser definida por como ela é percebida pelos consumidores e pelas cadeias de valor, pelas definições dos técnicos da área, ou por seus atributos genéticos. Como o arroz é comercializado internacionalmente, é necessário padronizar as definições, porém ainda não se alcançou uma unanimidade efetiva nas classes e medidas de qualidade (CUSTODIO et al, 2019).

De maneira geral, as características qualitativas dos grãos de arroz abrangem a aparência física, aspectos culinários, propriedades sensoriais e recentemente as características nutricionais ganharam relevância. Estas características estão diretamente relacionadas com as propriedades físico-químicas do arroz, as quais devem ser conhecidas para um melhor entendimento da resposta do grão ao processo de industrialização e consumo. A importância de cada um destes aspectos pode variar de acordo com a localidade do consumo e sua cultura. As propriedades físicas englobam o rendimento de grãos, formato uniforme, brancura e translucidez. Já as características culinárias incluem o tempo de cozimento, a textura do arroz cozido, o aroma e seu permanecimento após cozido, e, por fim, a capacidade de permanecer macio por várias horas após o cozimento. As cultivares que mantêm essas características de forma previsível ao longo dos anos ganham maior relevância no mercado (VIEIRA e RABELO, 2006; FITZGERALD et al., 2009).

Do ponto de vista do consumidor, características como a translucidez, o aspecto vítreo dos grãos, o sabor, a possibilidade de preparo prático e a acessibilidade de preço são fundamentais. Além disso, a qualidade nutricional vem ganhando relevância nos últimos anos, pois para atender as necessidades culturais e de consumo, alguns métodos de processamento falham em produzir nutrientes suficientes de forma a sustentar as necessidades humanas básicas para manter uma vida saudável. É vital combinar o cuidado nutricional da população com melhorias nas tecnologias de processamento do arroz para alcançar soluções sustentáveis contra a desnutrição entre populações com um alto consumo de arroz (GRIFFITH et al., 2014).

Os aspectos ligados à qualidade do arroz são variados e complexos, em relação à qualidade industrial dos grãos, a principal característica desejada é um alto percentual de grãos inteiros. Assim, fatores como a genética da cultivar, condições de manejo da lavoura e da colheita, e principalmente processos de pós-colheita como

a secagem e o brunimento podem influenciar no rendimento. A qualidade do arroz após o brunimento está diretamente ligada à capacidade dos grãos em suportar o atrito e a abrasão durante o descascamento e a remoção do farelo sem quebrar. Dessa forma, o manejo adequado do brunimento é um fator chave para a determinação da qualidade do arroz polido, afetando não só o rendimento de grãos, mas aspectos sensoriais, textura e resposta ao cozimento (KIM e LEE, 2012; PINSON et al., 2018).

De acordo com as dimensões dos grãos inteiros, conforme a Tabela 1, cinco classes é utilizada para classificar o arroz após os processos de descasque e polimento. Para ser enquadrado na classe correspondente, deve haver 80% da massa de grãos na classe. Além da classe, de acordo com os limites máximos percentuais de defeitos, o arroz polido é classificado em cinco tipos de acordo com a Tabela 2 (BRASIL, 2009).

Tabela 1 - Classificação do arroz de acordo com as dimensões dos grãos inteiros.

Classe	Tamanho
Longo fino	Comprimento \geq 6 mm, espessura \leq 1,90 mm, e relação comprimento/largura \geq 2,75 mm
Longo	Comprimento \geq 6 mm
Médio	Comprimento entre 5 e 6 mm
Curto	Comprimento $<$ 5 mm
Misturado	Mistura de duas ou mais classes

Fonte: (BRASIL, 2009).

Tabela 2 - Classificação do arroz beneficiado polido em grupo e subgrupo.

Tipo	Matéria Estranha e impurezas	Mofados e Ardidos	Picados ou manchados	Gessados e Verdes	Rajados	Amarelo	Quebrados e Quirera	Quirera
1	0,1	0,15	1,75	2	1	0,5	7,5	0,5
2	0,2	0,3	3	4	1,5	1	15	1
3	0,3	0,5	4,5	6	2	2	25	2

4	0,4	1	6	8	3	3	35	3
5	0,5	1,5	8	10	4	5	45	4

Fonte: (BRASIL, 2009).

Os defeitos apresentados na Tabela 2 são divididos em oito grupos, onde:

- I. **Matérias estranhas e impurezas:** Corpo ou detrito de qualquer natureza estranhos ao produto, como grãos ou sementes de outras espécies vegetais, sujidades e restos de insetos, detritos do próprio produto como casca e pedaços de talos, entre outros.
- II. **Mofados e ardidos:** O grão descascado ou descascado e polido, inteiro ou quebrado, que apresentar contaminações fúngicas visíveis a olho nu.
- III. **Picados ou manchados:** O grão descascado e polido, inteiro ou quebrado, que apresentar mancha escura ou esbranquiçada, perfurações ou avarias provocadas por pragas ou outros agentes, desde que visíveis a olho nu, bem como as manchas escuras provenientes de processo de fermentação em menos de 25% da área do grão.
- IV. **Gessados e verdes:** O grão descascado e polido, inteiro ou quebrado que apresentar coloração totalmente opaca e semelhante ao gesso. No arroz das variedades especiais destinadas à culinária nacional e internacional, o grão gessado não será considerado defeito.
- V. **Rajados:** O grão descascado e polido, inteiro ou quebrado, que apresentar qualquer ponto ou estria vermelha ou preta, destoante da variedade predominante. No arroz das variedades especiais, de pericarpo vermelho ou preto, o grão rajado não será considerado defeito.
- VI. **Amarelo:** O grão descascado e polido, inteiro ou quebrado, que apresentar coloração amarela no todo ou em parte variando de amarelo claro ao amarelo escuro e que contrasta com a amostra de trabalho. O grão amarelo encontrado na mistura de arroz polido e parboilizado é proveniente do subgrupo beneficiado polido.
- VII. **Quebrado:** Peça de grão de arroz descascado e polido, que apresentar comprimento inferior a 75% do comprimento mínimo da classe a que pertence e que ficar retido em peneira de furos circulares de 1,6 milímetros de diâmetro.
- VIII. **Quirera:** O fragmento de arroz que vazar na peneira de furos circulares de 1,60 mm de diâmetro.

Além do rendimento, outro defeito associado é o gessamento dos grãos, o qual torna opaco o endosperma do arroz. Devido a fatores adversos de clima e cultivo, o gessamento é manifestado a partir do desarranjo molecular entre o amido e proteínas, formando espaços entre as moléculas que são preenchidas por ar. Grãos gessados tendem a quebrar com maior facilidade, assim como alterar o sabor e textura do arroz reduzindo sua qualidade e valor de mercado (EDWARDS et al., 2017; ATUNGULU e SADAKA, 2019; FAN et al., 2020).

Associado aos fatores já citados, as propriedades físico-químicas do amido exercem grande importância na qualidade tecnológica e culinária dos grãos de arroz. O conteúdo de amilose e a temperatura de gelatinização são testes indiretos de indicadores de qualidade, influenciando textura, capacidade de absorção de água, tempo de cocção, viscosidade e no aumento de volume. Teores mais elevados de amilose são desejáveis, pois garantem grãos mais soltos e secos após o cozimento. A temperatura de gelatinização avalia a resistência do grão à cocção, estimada de forma indireta pela dispersão e clarificação dos grãos de arroz em solução alcalina. A temperatura de cocção varia entre 55-85 °C, sendo classificada com baixa entre 55°-69,5 °C, intermediária entre 70-74 °C ou alta 74,5-80 °C. Valores mais elevados de temperatura de gelatinização necessitam maior tempo de cocção (JULIANO et al., 2003 ; FITZGERALD et al., 2009; PAN et al., 2017; ZHU et al., 2017).

Devido o principal componente do endosperma do arroz ser formado por amido, este representa cerca de 90% do peso do grão. Assim, durante a fase de enchimento dos grãos a biossíntese do amido é o processo biológico mais importante. Existem dois tipos de amido encontrados no arroz, a amilose que consiste predominantemente em cadeias lineares de unidades α -D-glicose, e a amilopectina que tem uma estrutura semelhante a uma árvore ramificada. A relação entre os teores de amilose e amilopectina afeta diretamente a gelatinização do amido, alterando as propriedades físico-químicas dos cereais. Quaisquer alterações na estrutura dos grupamentos de ramos da amilopectina podem alterar a cristalinidade do amido e seu grau de expansão dos grânulos (SYAHARIZA et al., 2013; YU et al., 2015; LI et al., 2016).

Os teores de amilose contidos no endosperma são utilizados para a classificação das cultivares de arroz, quando possuem concentração abaixo de 5%, são classificados como cerosos, entre 5-10% como teor de amilose muito baixo, entre 10-19% arroz com amilose baixa, entre 20-25% arroz com teor de amilose

intermediária e acima de 25% com alto teor de amilose (GAYIN et al., 2015; JIAMJARIYATAM et al., 2015; NAWAZ et al., 2016).

Os grãos cerosos contêm principalmente amilopectina ramificada ou teor de amilose muito baixo, e devido a isso apresentam um endosperma farináceo e opaco devido à presença de espaços de ar entre os grânulos e também, após a cocção, tendem a perder a forma e apresentar consistência pegajosa. Ao contrário dos cerosos, os grãos não cerosos apresentam aparência translúcida e contêm amilose e amilopectina, mantendo sua forma após a cocção e apresentando consistência menos pegajosa (ZHU et al., 2017).

Como os aspectos nutricionais vêm ganhando relevância nos últimos anos, a avaliação da qualidade do amido também pode ser realizada devido ao seu índice glicêmico. A resposta glicêmica do amido está diretamente ligada à sua taxa de digestão pelo metabolismo, e alimentos ricos em amido possuem um índice glicêmico alto. Porém, níveis excessivos de consumo de arroz polido e estilo de vida pouco saudável aumentam o risco de diabetes mellitus, tornando produtos com baixo índice glicêmico preferíveis na alimentação (SUN et al., 2010). A modificação do amido do arroz buscando a redução do índice glicêmico pode ser feita pela aplicação de alguns métodos de processamento, resultando na produção reduzida de picos hiperglicêmicos e hiperinsulinêmicos após as refeições (HUNG et al., 2016; PRATIWI, 2018).

4.4 SECAGEM DE GRÃOS

4.4.1 Fundamentos da secagem de grãos

A secagem dos grãos é uma das etapas mais importantes dentre as operações de pós-colheita, pois se realizada de forma adequada garante a manutenção da qualidade e estabilidade do produto durante o período de armazenamento, reduzindo a atividade biológica e alterações químicas que possam ocorrer degradando a massa de grãos (RESENDE et al., 2008).

O processo de secagem é caracterizado pela remoção forçada de água através da transferência contínua e simultânea de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, transferindo energia do ar aquecido para o grão, através dos processos de convecção ou condução. A redução do teor de água é ocasionada pelo movimento hidráulico do interior do grão para sua superfície, e posteriormente transferida para o

ar de secagem, ocasionada devido ao gradiente de pressão parcial entre os meios. A transferência de massa pode ocorrer internamente na forma líquida ou gasosa, através dos mecanismos de transporte de água no interior dos grãos, e na forma gasosa em sua superfície. Os estudos sobre a cinética hidráulica no interior dos grãos fundamentam as teorias existentes na literatura (GONELI et al., 2007; BORTOLAIA et al., 2011; BOTELHO et al., 2015).

O teor de água dos grãos é a porção que pode ser removida sem alteração de sua estrutura molecular, podendo ser expressa em base úmida (W_{bu}) ou base seca (W_{bs}). De forma geral, é expresso em função da base seca, pois essa se mantém constante durante todo o processo de secagem, diferente do volume úmido. A umidade em base úmida é calculada através da razão entre a massa de água e a massa total do produto (1), e a umidade em base seca através da razão entre a massa de água e a massa seca dos grãos (2) (PARK et al., 2007).

$$W_{bu} = \frac{m_{wg}}{m_s + m_{wg}} \quad (1)$$

$$W_{bs} = \frac{m_{wg}}{m_s} \quad (2)$$

em que,

W_{bu} : umidade em base úmida.

W_{bs} : umidade em base seca.

m_{wg} : massa de água presente nos grãos.

m_s : massa seca dos grãos.

Dentro da estrutura do grão, a água pode estar presente de três formas:

Água superficial: É presente em maior quantidade e é suportada pelas moléculas responsáveis pela fixação da estrutura orgânica, entre os espaços intercelulares. É removida facilmente em temperaturas próximas às de ebulição.

Água intersticial: Associada às substâncias adsorventes do material sólido, presa pelo sistema de atração molecular.

Água de constituição: Quimicamente ligada aos componentes dos grãos e parte das estruturas de reserva como proteínas, carboidratos, enzimas e gorduras, não deve ser removida durante o processo de secagem, pois compromete a integridade do grão (PARK et al., 2007; BORTOLAIA 2011).

De acordo com Foust et al., (1982), Cavalcanti et al., (2006), Park et al., (2007), o processo de secagem dos grãos baseado na transferência de energia e massa pode ser dividido em dois períodos distintos, o de taxa constante e o de taxa decrescente.

Taxa constante: Durante essa fase, a estrutura do grão não interfere no processo e a taxa de secagem permanece constante durante a operação. A massa de água removida na superfície do grão é substituída pelo líquido do interior do sólido. Este período é observado em materiais que a resistência interna à movimentação de água é menor do que a resistência externa de evaporação na superfície. Esta fase dura até o ponto crítico de umidade, onde o teor de água no interior do grão é incapaz de suprir o fornecimento de água para a superfície do produto. E, raramente é observada na secagem de grãos, a não ser em situações pontuais com elevado teor de água no produto.

Taxa decrescente: Após atingir o teor de água crítica, a evaporação ocorre de forma lenta na superfície, pois a movimentação de água do interior do grão para a superfície é incapaz de manter o filme superficial contínuo, e continua a decrescer em umidade até atingir a umidade de equilíbrio.

Na fase de taxa decrescente, a transferência de calor não é mais compensada pela transferência de massa e a temperatura do grão aumenta, se aproximando da temperatura de bulbo seco do ar de secagem. A dinâmica da água neste período é mais complexa do que na taxa constante, e os mecanismos de transferência interna dos grãos devem ser considerados. O movimento da água do interior do grão para a superfície se dá por difusão, causada devido ao gradiente de umidade entre o interior do grão e sua superfície em contato com o ar de secagem.

4.4.2 Cinética da secagem de grãos

A partir do momento em que a transferência de massa cessa, o grão entra no estado denominado de teor de água de equilíbrio, o qual a pressão de vapor de água em seu interior é equivalente à pressão de vapor do ar em contato com a massa de grãos, não havendo mais troca de água. Resumidamente, é o teor mínimo de água que um produto possui ao ficar exposto a condições fixas de umidade e temperatura ao longo de um período de tempo suficiente para o equilíbrio ocorrer. A umidade de equilíbrio depende das propriedades físico-químicas, variando de acordo com cada produto (TRINDADE et al., 2013).

O conceito de equilíbrio higroscópico não é sinônimo de igualdade entre o teor de água do ar de secagem e o teor de água contido na massa de grãos, pois estes armazenam aproximadamente dez mil vezes mais água em seu interior do que o ar em contato com sua superfície. A referência ao equilíbrio é devido à transferência de massa em igual proporção entre o ar de secagem e a massa de grãos. O teor de água de equilíbrio pode ser representado graficamente em função da atividade de água para uma determinada temperatura, a qual é denominada curva de isoterma de sorção ou isoterma de equilíbrio higroscópico (CAVALCANTI et al., 2006).

Para a movimentação de água ocorrer no interior do grão, diversos mecanismos estão envolvidos no processo, determinando as características de cada produto. Como a maioria dos produtos agrícolas são materiais capilares porosos, os mecanismos envolvidos são a difusão molecular, difusão capilar, difusão de superfície, fluxo hidrodinâmico, difusão de vapor e a energia de ativação da difusão (GONELI et al., 2009).

A velocidade em que a água pode ser removida do produto é representada pelo coeficiente de difusão efetiva, o qual é obtido através de valores experimentais. Este, não é uma característica intrínseca do grão, pois pode variar de acordo com os parâmetros do processo de secagem, e engloba todos os fenômenos que possam intervir no processo de movimentação da água no interior do grão (OLIVEIRA et al., 2006).

Os resultados experimentais do teor de água de equilíbrio podem ser representados através de modelos matemáticos, ou determinados a partir dos parâmetros de cada produto, da umidade relativa do ar ou atividade de água e a temperatura do ar de secagem. Na Tabela 3, são apresentadas algumas equações para a determinação da umidade de equilíbrio higroscópico de grãos (BABETTO et al., 2011; LI et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2015).

Tabela 3 - Modelos utilizados para a verificação do comportamento da isoterma.

Modelo	Fórmula	Nº
Chung pfast	$U_e = a - b \ln [- (T + c) \ln (a_w)]$	(3)
GAB Modificado	$U_e = \frac{ab(c/T)a_w}{\{[1 - ba_w][1 - ba_w + b(c/T)a_w]\}}$	(4)

$$\text{Halsey Modificada} \quad U_e = [\exp(a - bT) / -\ln(a_w)]^{1/c} \quad (5)$$

$$\text{Henderson} \quad U_e = [\ln(1 - a_w) / (-aT_{abs})]^{1/c} \quad (6)$$

$$\text{Henderson modificada} \quad U_e = \{\ln(1 - a_w) / [-a(T + b)]\}^{1/c} \quad (7)$$

$$\text{Oswin} \quad U_e = (a - bT) / [(1 - a_w) / a_w]^{1/c} \quad (8)$$

$$\text{Sabbab} \quad U_e = a (a_w^{-b} / T^c) \quad (9)$$

$$\text{Sigma Copace} \quad U_e = \exp \{a - (bT) + [c \exp(a_w)]\} \quad (10)$$

$$\text{Copace} \quad U_e = \exp [a - (bT) + (ca_w)] \quad (11)$$

em que,

U_e - teor de água de equilíbrio do produto, em base seca

a_w - atividade de água, decimal

T - temperatura do ar ambiente, °C

T_{abs} - temperatura absoluta do ar ambiente, K

a, b, c - parâmetros que dependem da natureza do produto.

Para a otimização do processo de secagem de grãos em equipamentos, é primordial o entendimento e obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante o processo de remoção de água (GOUVEIA et al., 2011). Existem diferentes tipos de modelos para a predição do fenômeno de secagem em produtos agrícolas, como exemplificado na Tabela 4. Todos os modelos possuem a variável temporal inclusa. A espessura do material influencia na complexidade do processo, levando os modelos a serem classificados como camada fina ou como camada espessa.

Tabela 4 - Modelos matemáticos para a predição do fenômeno de secagem em produtos agrícolas.

Modelo	Fórmula	Referência	Nº
Fick	$RX = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp(-n^2 At)$	BROOKER et al. (1992)	(12)

Cavalcanti Mata	$RX = a_1 \cdot \exp(-(k_1 \cdot t)^{n_1})$ $+ a_2 \cdot \exp(-(k_1 \cdot t)^{n_2})$ $+ a_3$	CAVALCANTI MATA et al. (2006)	(13)
Henderson e Pabis	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	HENDERSON; PABIS (1961)	(14)
Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	PAGE (1949)	(15)
Exponencial de dois termos	$RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	HENDERSON (1974)	(16)
Midilli	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	MIDILLI et al. (2002)	(17)
Lewis ou Newton	$RX = \exp(-kt)$	LEWIS (1921)	(18)
Page Modificado	$RX = \exp(-kt)^n$	OVERHULTS et al. (1973)	(19)
Logarítmico	$RX = a \exp(-kt) + c$	YAGCIOGLU et al. (1999)	(20)
Difusão por Aproximação	$RX = a \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kbt)$	YALDIZ et al. (2001)	(21)
Verna	$RX = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-k_1 t)$	VERMA (1985)	(22)
Fick Simplificado	$RX = a \exp\left(\frac{-ct}{l^2}\right)$	DIAMANTE et al. (1991)	(23)
Thompson	$RX = \exp((-a - (a^2 + 4bt)^{0,5})/2b)$	THOMPSON et al. (1968)	(24)

em que,

t : tempo de secagem, em segundos

k, k_0, k_1 : constantes de secagem, adimensional

$a, a_1, a_2, a_3, b, n, n_1, n_2$: coeficientes dos modelos

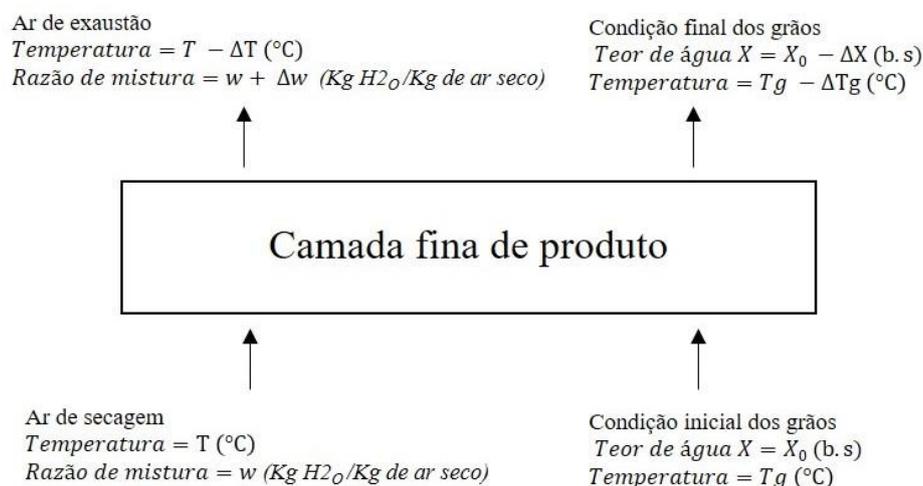
r : raio do produto, em metros

O princípio utilizado para a busca de modelos matemáticos é fundamentado na secagem de sucessivas camadas do produto, buscando um modelo que represente

de forma satisfatória a remoção de água do produto. Os modelos de camada fina podem ser classificados em três grupos: teóricos, semi teóricos e empíricos. Os modelos teóricos são obtidos através de equações diferenciais considerando a resistência e transporte de massa e energia no interior do grão. Já os modelos empíricos são obtidos através do ajuste de dados coletados experimentalmente, geralmente se baseando em variáveis externas ao produto, como a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem. Os modelos empíricos têm se mostrado mais eficientes em prever o processo de secagem, mesmo estando restritos às condições onde os dados experimentais foram obtidos (RESENDE et al., 2009).

Os modelos de camada fina, como exemplificado na Figura 4, do ponto de vista prático são muito limitados, pois não consideram a variável espacial. Esta característica os torna incapazes de prever de forma adequada o processo de secagem em camada espessa, devido à desuniformidade entre as camadas de ar e produto. Como solução, a camada espessa foi dividida em várias camadas menores, considerando a variável espacial de forma onde as características do ar de saída de uma camada do produto a ser seco são as condições do ar de entrada da camada posterior, variando a temperatura e o teor de umidade de acordo com a posição espacial (GUIMARÃES et al., 2005).

Figura 4 - Processo de secagem em camada fina durante um intervalo de tempo Δt .



4.4.3 Influência da secagem intermitente na qualidade dos grãos de arroz

Dentre os diversos métodos utilizados para a secagem do arroz em casca, o mais recorrente é o método intermitente. A secagem intermitente é caracterizada pela exposição descontínua do produto ao calor até a remoção da água aos níveis desejados. A utilização deste método ganhou popularidade na cadeia produtiva do

arroz, pois se utilizado um manejo adequado, preserva a qualidade físico-química da massa de grãos, além de demandar menor consumo energético e menor tempo por unidade de água removida (ELIAS et al., 2010).

O secador intermitente é constituído por duas ou mais câmaras onde os grãos são depositados, sendo necessariamente uma de secagem e outra de equalização. Na câmara de secagem, os grãos são expostos ao ar aquecido, que fornece energia térmica para os grãos, se resfriando e absorvendo o vapor de água removido da periferia dos grãos. Na câmara de equalização, os grãos permanecem em repouso, sem contato com o ar de secagem, de modo a permitir a migração de água do seu interior para a periferia, predominantemente por difusão (ELIAS et al., 2010).

Devido à difusão da água no interior dos grãos de arroz ser muito lenta, ao longo da fase de secagem, gradientes de umidade são formados no interior dos grãos. Com o objetivo de adequar o método de secagem ao processo de difusão, o método de intermitência proporciona tempo para o deslocamento de água migrar do interior do grão para sua superfície, otimizando a transferência de energia térmica e de massa ao expor novamente o grão ao ar aquecido. O estágio intermediário onde a exposição ao ar quente é interrompida e os grãos ficam em repouso é denominado equalização ou homogeneização (ASSAR et al., 2016).

Durante os períodos de homogeneização, a concentração de umidade tende a se equalizar, de modo que, no próximo ciclo de secagem, os gradientes de umidade desenvolvidos são menores. O gradiente de umidade no interior dos grãos exerce tensões severas à sua estrutura, sendo uma das principais causas de formação de fissuras no arroz. Devido a isso, a secagem intermitente se bem conduzida apresenta baixa quebra no rendimento de grãos inteiros (KUNZE et al., 1981; AQUERRETA et al., 2007).

O sistema intermitente pode ser classificado de acordo com a razão entre o tempo de exposição ao calor, com o tempo em repouso na câmara de homogeneização, denominada taxa de intermitência. De acordo com essa relação, podem ser chamados de intermitente rápido ou intermitente lento. Em um secador intermitente lento, a relação de tempo em que o produto fica exposto ao ar aquecido e equalização varia de 1:1 até 1:4, permitindo temperaturas mais elevadas na câmara de secagem devido ao maior tempo de permanência na câmara de equalização. É recomendado que não seja utilizado temperaturas muito elevadas no ar de secagem (acima de 110, 120 °C), no entanto, baixas temperaturas demandam várias

passagens pelo secador, podendo impactar de forma negativa na incidência de danos mecânicos (BARBOSA et al., 2005; PESKE e VILLELA, 2008; ELIAS e OLIVEIRA 2010).

Tabela 5 - Estudos recentes sobre a influência da secagem na qualidade de grãos de arroz.

Objetivo	Método	Conclusões	Referência
Avaliar o efeito da temperatura do ar de secagem na qualidade industrial e química dos grãos de arroz polido, e integral.	Secador intermitente lento, com relação de intermitência 1:1 e ar de secagem nas temperaturas de 55 e 65 °C.	O aumento da temperatura reduziu o rendimento de grãos inteiros do arroz polido e integral. Houve redução do teor de lipídios e aumento do teor de fibras para o subgrupo polido.	Scariot et al. (2020)
Avaliar os efeitos da temperatura do ar de secagem, da temperização e da umidade inicial de temperização na qualidade de grãos de arroz.	Temperaturas de secagem de 40,50,60 °C, tempo de temperização de 40,80,120 min, e do teor inicial de água na temperização 15,17 e 19%.	Maior rendimento total (74,1%) com a secagem a 46,6 °C, e com umidade inicial na temperização de 19%.	Bertotto et al. (2018)
Avaliar o impacto da secagem intermitente na viabilidade das sementes de arroz.	Temperaturas de 50°, e 60 °C, com tempos de exposição ao ar de secagem de 5,10, 15 ou 20 minutos, e tempo de equalização de 45 minutos a 25 °C.	A secagem a 50 °C e 5 minutos de exposição manteve elevados níveis de vigor, mantendo níveis adequados de vigor com até 20 minutos de exposição ao ar quente.	Wang et al. (2017)
Comparar e os métodos de secagem de arroz por micro-ondas e por ar aquecido.	Secagem por ar quente em 850W, e secagem por micro-ondas com 400W.	A secagem por micro-ondas é mais eficiente do que a secagem por ar quente nas mesmas condições. Também, causou menos alterações nos aspectos de cor e cheiro.	Lling and Sun (2021)
Avaliar o impacto da secagem intermitente por microondas nas características biofísicas do arroz.	Três níveis de razão de pulso (intervalo de tempo ligado e desligado) foram testados, verificando sua influência na temperatura, taxa de secagem e índices de qualidade biofísica.	Taxa de secagem superior à secagem convectiva, reduziu significativamente o aumento da temperatura da massa de grãos, impactando de forma benéfica na manutenção da qualidade físico química do arroz.	Xu et al. (2017)

Tabela 6 - Estudos recentes sobre a influência da secagem na qualidade de grãos de arroz.

Objetivo	Método	Conclusões	Referência
Avaliar os efeitos de secagem a baixa temperatura e sugerir uma condição ótima.	O método de superfície de resposta foi utilizado para estudar os efeitos da temperatura, tempo de secagem e velocidade do ar sobre o rendimento de grãos, dureza, cor e tempo de cozimento.	A temperatura teve maior influência sobre os aspectos de qualidade do arroz em casca, seguido pelo tempo e a velocidade do ar. As condições ideais de secagem foram 25 °C, 600 min, e 1 m s ⁻¹ .	Soomro et al. (2020)
Avaliar o impacto da secagem intermitente por radiação infravermelha e secagem por bomba de calor nas propriedades de brunimento e perfis de textura dos arroz.	Secagem por radiação infravermelha (RI) + secagem por bomba de calor (BC), combinada com têmpera no estado vítreo e relações intermitentes (d = 0, 1, 2, 3, 4).	A secagem por RI foi mais eficaz, porém mais uniforme no método (BC). A intermitência teve efeitos positivos nas características de brunimento e textura do grão, apresentando melhor desempenho com as taxas de intermitência de 1:2 e 1:3 para RI e BC.	Zhou et al. (2018)
Avaliar o efeito da temperatura de secagem sobre o amido resistente do arroz e no rendimento de grãos inteiros.	Secagem contínua em 40,65,90,115 °C e secagem no sol.	O rendimento de grãos inteiros reduziu com o aumento da temperatura e o teor de amido resistente aumentou de forma leve.	Donlao et al. (2018)
Avaliar a influência do ultrassom de alta potência (HPU) na secagem em leite fluidizado e na qualidade do arroz em casca.	Secagem em leite fluidizado nas potências de 11,1, 14,6 e 18,7 kW / m ³ , frequências de 20, 25, 28 e 30 kHz e temperaturas de 30, 40, e 50 °C.	A aplicação de HPU em conjunto com a secagem convencional em leite fluidizado reduziu em 23% o tempo de secagem, além de aumentar o rendimento de grãos e a resistência à flexão.	Jafari and Zare (2017)
Avaliar o efeito de mudanças	Secagem contínua em temperaturas	O índice de trincas por tensão no	Chayjan et al. (2019)

contínuas e graduais da temperatura do ar de secagem no índice de trincas de grãos de arroz.

de ar de 30, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 °C. E, com a mudança gradual na temperatura do ar de 5, 10 e 15 °C dentro da faixa de temperatura de 30-60 °C.

método de secagem com aumento gradual de temperatura foi reduzido em comparação com o método contínuo.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização do experimento

O experimento foi realizado em uma unidade armazenadora de grãos a nível de fazenda no município de Cachoeira do Sul-RS. Os lotes de grãos de arroz oriundas de colheita mecanizada, com teor de água dos grãos entre 24 e 20% (b.u.) (SOSBAI, 2012), foram submetidas imediatamente às operações de pré-limpeza e secagem e posterior armazenamento. As amostras coletadas foram analisadas no Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS) da Universidade Federal de Santa Maria- Campus Cachoeira do Sul.

Os tratamentos analisados foram a secagem (temperatura média da massa do grão de 41 °C, variando de 29 a 47 °C), a intermitência (temperatura média da massa do grão de 40 °C, variando de 29 a 49 °C) e o tempo de secagem de 14 horas (corresponde ao número de vezes que o produto passou pelos processos de secagem e intermitência), a uma temperatura média do ar de secagem de 107 °C (variando de 73 a 130 °C), em três repetições.

Para cada tempo de secagem foi realizada amostragem dos grãos na etapa de secagem e na intermitência para avaliação da qualidade física do arroz em casca e a qualidade físico-química, cristalinidade e morfologia do arroz polido e integral.

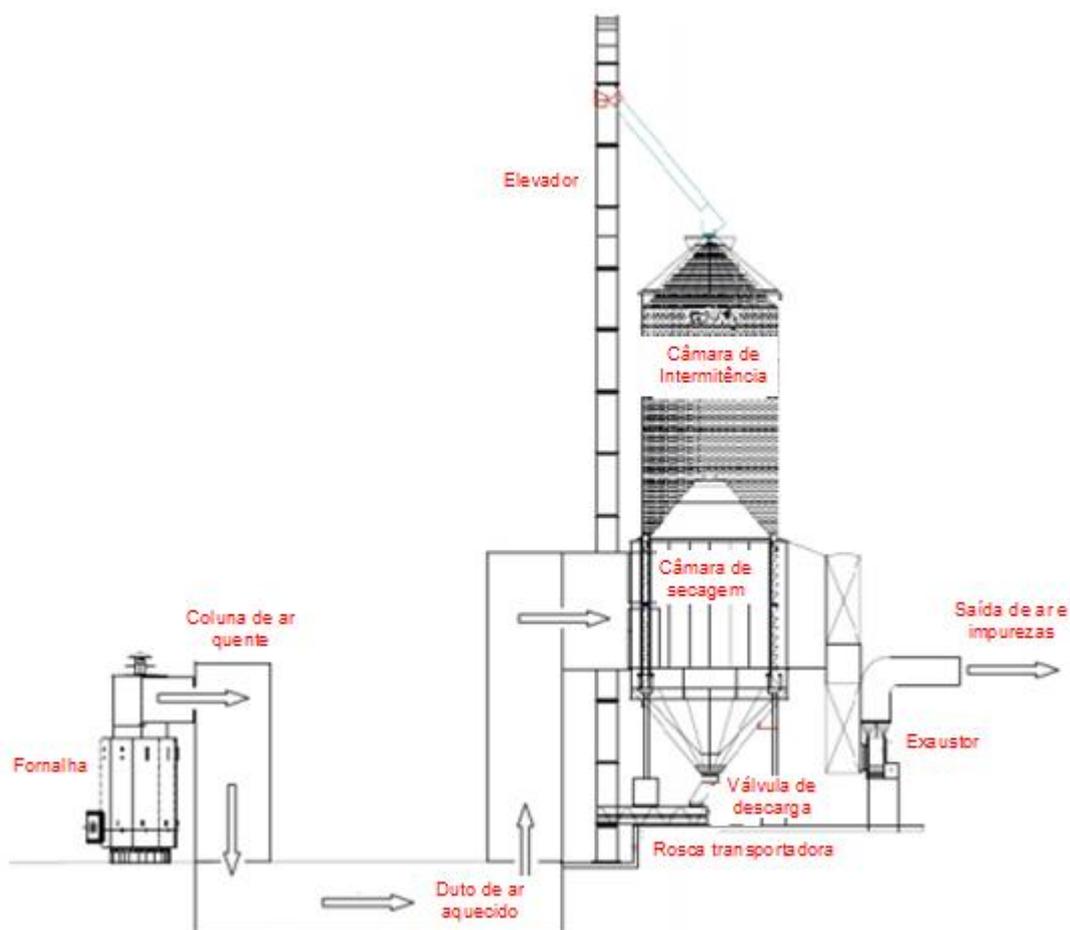
5.2 Secagem e amostragem do arroz em casca

Após passar pelo processo de pré-limpeza na máquina de ar e peneiras, a secagem dos grãos de arroz em casca foi realizada em um secador intermitente, modelo Horbach (Figura 5), até que o teor de água do grão fosse reduzido para 11% (b.u.). O secador intermitente era composto de uma câmara de secagem, câmara de intermitência, sistema de descarga, aquecimento e ventilação e um elevador para realizar a intermitência. Nesse sistema, o produto não ficou exposto constantemente ao ar de secagem, apenas durante o intervalo de tempo em que passava pela câmara de secagem. O tempo de circulação do produto fora da câmara de secagem foi considerado como tempo de equalização (câmara de intermitência).

A coleta das amostras de grãos foi realizada a cada hora na câmara de intermitência e na câmara de secagem. Nas amostras coletadas, a temperatura da massa de grãos foi medida por meio de um termômetro de mercúrio. Simultaneamente à coleta das amostras, foi realizada a medição da velocidade e da temperatura do ar de secagem e exaustão na entrada de ar do secador e na saída da coifa,

respectivamente, com o auxílio de um anemômetro de pás. A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram medidas por meio de um termohigrômetro digital calibrado. O teor de água foi determinado pelo método indireto de capacitância elétrica, aferido com o método padrão em estufa a 105 °C (Brasil, 2009).

Figura 5 - Secador Intermitente (modelo Horbach).



5.3 Beneficiamento do arroz

A moagem dos grãos foi realizada em um provador de arroz (Zaccaria, PAZ-1/DTA, Limeira, Brasil), que foi regulamentada e tratada de acordo com as recomendações técnicas para moagem de arroz (Brasil, 2009) indústria fabricante de equipamento. Foram pesados 100 gramas de grãos em casca, colocados gradativamente na moega “cone” de entrada de alimentação do equipamento beneficiador para obtenção do arroz polido. O polimento foi realizado pelas pedras abrasivas do brunidor. Após o beneficiamento, as amostras foram submetidas às análises de qualidade. Da mesma forma, o arroz integral foi processado utilizando os mesmos procedimentos, exceto para a etapa de brunimento. As amostras foram

separadas, identificadas e armazenadas em sacos de polietileno. Após o beneficiamento, as amostras foram submetidas à análise de qualidade.

5.4 Classificação física do arroz

Um cilindro separador alveolar de 5,5 mm (Zaccaria, Paz-1 / DTA, Limeira, Brasil) foi usado para classificar os grãos inteiros. O cilindro separador rotativo continha uma função gravitacional que separava os grãos deslocando os grãos quebrados para a moega horizontal, enquanto os grãos inteiros ficavam presos nos recipientes do cilindro para posterior descarregamento. As amostras processadas foram pesadas em balança de precisão (Marte Científica, modelo AD330, São Paulo, Brasil), para posterior classificação de acordo com o manual de classificação do arroz integral, conforme Instrução Normativa 6/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2009).

5.5 Avaliação da qualidade físico-química do arroz

Para determinar amido (A), proteína bruta (PB), gordura (G), cinzas (CS) e fibra bruta (FB) em grãos de arroz, foi utilizado o método de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) (Metrohm, espectrômetro DS2500, Herisau, Suíça). As amostras foram homogeneizadas e colocadas na cápsula de amostragem. A análise foi baseada em iluminar uma amostra com radiação infravermelha próxima e então medir a diferença entre a quantidade de energia emitida pela espectroscopia e refletida pela amostra para o detector. Essa diferença foi medida em várias bandas, criando um espectro para cada amostra. Os registros dos dados espectrais foram feitos no modo reflectância, na faixa espectral de 400nm-2500nm. Os espectros foram obtidos em triplicata.

5.6 Análises de difração de raios (XRD)

Os difratogramas foram obtidos em um difratômetro de pó de raios-X Rigaku, modelo Miniflex 300, operando no modo step, com velocidade de varredura de 0,5 se e passo de varredura de 0,03 °, em ângulos de 5 a 100 °. Este equipamento possui radiação Cu K α ($\lambda = 1,54184 \text{ \AA}$) e uma fonte de alimentação com 30 kV e 10 mA. O índice de cristalinidade (X_c) foi determinado de acordo com a Eq. 25:

$$C = H_c / (H_a + H_c) \quad (25)$$

em que,

H_c : Altura do pico cristalino

H_a : Altura correspondente à fase amorfa

5.7 Análises de microscopia eletrônica de varredura (SEM)

As análises microscópicas foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) (Carl Zeiss, Sigma 300 VP, Jena, Alemanha) com filamento de emissão por campo (FEG-Fiels Emission Gun) do tipo Schotky (filamento de tungstênio recoberto com óxido de zircônio), equipado com coluna Geminii (Carl Zeiss, Sigma 300 VP, Jena, Alemanha). As imagens foram obtidas utilizando o detector secundário (SE2) em modo de alto vácuo (1×10^{-9} bar), energia de 1, 5 e 6 KV, distância de trabalho de 5 mm e acima de 35 mm, abertura de 15 μm , ampliações (26X, 30X, 36X, 40X, 44X, 48X, 100X, 300X, 500X, 1000X, 2000X, 3000X e 5000X). Para a energia dispersiva de raios X (EDS), foi utilizado o detector de raios X EDS (Bruker, Quantax 200-Z10, Billerica, Massachusetts, US), equipado com janela de quartzo de 10 mm^2 e software ESPRIT.

As EDS foram obtidas com uso do detector secundário (SE2) no modo de pressão variável, que consistiu na inserção de gás nitrogênio no compartimento da amostra, permitindo a variação da pressão parcial entre 1 e 133 Pa ($1 \text{ Pa} = 1 \times 10^{-5}$ bar), distância de trabalho 8.5 mm, energia de 20 kV e abertura de 60 μm .

5.8 Análises estatísticas

A partir da Tabela 7, para a avaliação do arroz polido, construiu-se mapa de calor utilizando a distância Euclidiana média e o método de agrupamento k-means. Essas análises foram realizadas com auxílio do pacote “ggfortify” do aplicativo gratuito R e seguiram os procedimentos recomendados por Naldi et al. (2014). Para verificar a associação entre as variáveis, foram estimadas as correlações de Pearson e, devido ao grande número de variáveis avaliadas, os resultados foram expressos graficamente na rede de correlações. A proximidade entre os nós (traços) foi proporcional ao valor absoluto da correlação entre esses nós. A espessura das arestas foi controlada aplicando um valor de corte de 0,60, o que significava que apenas $|r_{XY}| \geq 0,60$ tiveram suas bordas destacadas. Finalmente, as correlações positivas foram destacadas em verde, enquanto as correlações negativas foram representadas em escala de vermelho.

Tabela 7 - Análises multivariadas através da distância Euclidiana média e o método de agrupamento k-means

Etapa de secagem	Tempo de secagem (h)	Beneficiamento	Tratamentos
Intermitente	1	Polido	T1
Intermitente	2	Polido	T2
Intermitente	3	Polido	T3
Intermitente	4	Polido	T4
Intermitente	5	Polido	T5
Intermitente	6	Polido	T6
Intermitente	7	Polido	T7
Intermitente	8	Polido	T8
Intermitente	9	Polido	T9
Intermitente	10	Polido	T10
Intermitente	11	Polido	T11
Intermitente	12	Polido	T12
Intermitente	13	Polido	T13
Intermitente	14	Polido	T14
Secagem	1	Polido	T15
Secagem	2	Polido	T16
Secagem	3	Polido	T17
Secagem	4	Polido	T18
Secagem	5	Polido	T19
Secagem	6	Polido	T20
Secagem	7	Polido	T21
Secagem	8	Polido	T22
Secagem	9	Polido	T23
Secagem	10	Polido	T24
Secagem	11	Polido	T25
Secagem	12	Polido	T26
Secagem	13	Polido	T27
Secagem	14	Polido	T28
Intermitente	1	Integral	T29
Intermitente	2	Integral	T30
Intermitente	3	Integral	T31
Intermitente	4	Integral	T34
Intermitente	5	Integral	T35

Intermitente	6	Integral	T36
Intermitente	7	Integral	T37
Intermitente	8	Integral	T38
Intermitente	9	Integral	T39
Intermitente	10	Integral	T40
Intermitente	11	Integral	T41
Intermitente	12	Integral	T42
Intermitente	13	Integral	T43
Intermitente	14	Integral	T44
Secagem	1	Integral	T45
Secagem	2	Integral	T46
Secagem	3	Integral	T47
Secagem	4	Integral	T48
Secagem	5	Integral	T49
Secagem	6	Integral	T50
Secagem	7	Integral	T51
Secagem	8	Integral	T52
Secagem	9	Integral	T53
Secagem	10	Integral	T54
Secagem	11	Integral	T55
Secagem	12	Integral	T56
Secagem	13	Integral	T57
Secagem	14	Integral	T58

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

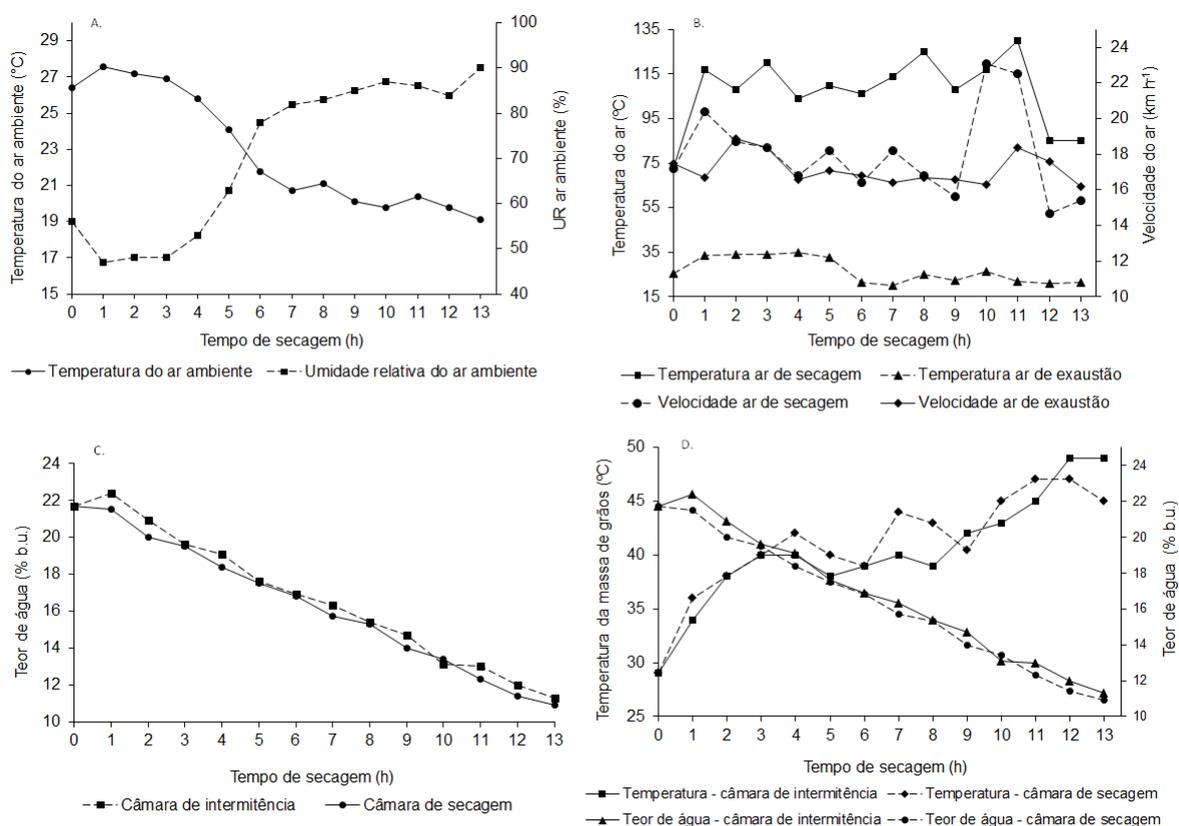
6.1 Secagem do arroz em casca

A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente, bem como, a temperatura e a velocidade do ar na entrada do secador e na exaustão, durante a secagem estão apresentados na Figura 6. Ao longo do processo de secagem verificaram-se oscilações nas temperaturas e nas velocidades do ar de secagem (Figuras 6A-B), o que pode ter prejudicado a qualidade dos grãos, principalmente em danos físicos, como rachaduras no tegumento, cotilédones e eixo embrionário.

Na secagem intermitente, o produto passa várias vezes pelo interior do secador, no qual períodos de secagem são alternados com períodos de descanso ou equalização. O produto é submetido à ação do ar aquecido na câmara de secagem em intervalos regulares de tempo e segue para a câmara de intermitência (FRANCO

et al., 2019). A relação de intermitência mantém a temperatura da massa de grãos abaixo da temperatura do ar de secagem, mesmo quando essa tenha valores elevados (MALDANER et al., 2021). Além disso, a taxa de remoção de água aumentou durante a etapa de secagem, reduziu o tempo de secagem, além de melhorar a qualidade final do produto. (DONG et al., 2010; KUMAR et al., 2014; GHASEMI et al., 2017).

Figura 6 -Parâmetros de monitoramento da secagem intermitente do arroz em casca. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente (A), temperatura e velocidade do ar de secagem e exaustão (B), curva de secagem (C), temperatura da massa de grãos e teor de água na secagem (D).



A alta velocidade de secagem fez com que a migração da água sofra os efeitos de compressão interna e de tração superficial, devido ao elevado gradiente de umidade entre o interior e a superfície do grão. Analisando as curvas de secagem (Figura 6C) observa-se semelhança entre as etapas de secagem e intermitência, sendo lineares as curvas em função do tempo de secagem, como observado também pelos autores Dong et al. (2010), Kumar et al. (2014), Maldaner et al. (2021). O teor

de água dos grãos reduziu de 21,7% para 10,9%, com variação de temperatura da massa de grãos de 29 a 49 °C, conforme Figura 6D.

Na câmara de secagem houve redução dos teores de água dos grãos e um aumento na temperatura da massa de grãos ao longo do tempo, enquanto que, na câmara de intermitência ocorreu um processo de uniformização dos teores de água e migração da água em forma de vapor das camadas mais internas para a superfície, o que facilitou a evaporação da água e o reaquecimento dos grãos na nova passagem pela câmara de secagem. A água influencia diretamente na variação de temperatura, isso porque seu calor específico é maior do que o do grão, e desse modo, para uma mesma quantidade de calor fornecida, o grão vai ter sua temperatura elevada mais rapidamente.

Notou-se um aumento acentuado da temperatura da massa de grãos nas primeiras duas horas de secagem. Inicialmente, o comportamento das curvas de secagem foi semelhante, ou seja, os grãos com alto teor de água na câmara de secagem receberam calor que foi absorvido pela água, não alterando acentuadamente a temperatura da massa de grãos na descarga do secador. No decorrer da secagem, a diferença entre as curvas aumentou. Isso ocorre devido ao menor calor específico dos grãos secos, e desse modo, a maior parte do calor absorvido é rapidamente dissipado. A água é retirada dos grãos através da diferença de pressão de vapor d'água do grão em relação ao ar, fazendo com que gradativamente a água seja transferida do interior para a periferia do grão. Quanto maior o aquecimento do ar de secagem, maior quantidade de água ele conseguiu reter.

6.2 Qualidade física e físico-química do arroz polido e integral

Na Tabela 8 estão os resultados do teste F da análise de variância, em função dos tratamentos experimentais, etapa de secagem, tempo de secagem e tipo de beneficiamento. Todas as variáveis analisadas teve pelo menos uma significância a 1 ou 5% de probabilidade, seja na interação simples, dupla ou tripla, com exceção da análise de classificação física de grãos picados e manchados. Na Tabela 9 estão os resultados médios obtidos pela interação tipo de beneficiamento x etapas de secagem.

Tabela 8 - Análise de variância do beneficiamento do arroz polido e integral

FV	Q	R	RD	A	G	M	PM	S	AM	PB	G	CZ	FB
ES	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,5757 ^{ns}	0,3392 ^{ns}	0,9768 ^{ns}	0,1212 ^{ns}	0,0001**	0,2452 ^{ns}	0,1172 ^{ns}	0,8189 ^{ns}	0,2241 ^{ns}	0,0000**
TS	0,0000**	0,0003**	0,0000**	0,0001**	0,0000**	0,0000**	0,3243 ^{ns}	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,2596 ^{ns}	0,0000**	0,0000**
TB	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0048**	0,0005**	0,1712 ^{ns}	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
ES*TS	0,0000**	0,8460 ^{ns}	0,0002**	0,9835 ^{ns}	0,0171*	0,9991 ^{ns}	0,1188 ^{ns}	0,1235 ^{ns}	0,0018**	0,0134*	0,0001**	0,1941 ^{ns}	0,0000**
ES*TB	0,0000**	0,0001**	0,0000**	0,2626 ^{ns}	0,0003**	0,9768 ^{ns}	0,1600 ^{ns}	0,5396 ^{ns}	0,0232*	0,5958 ^{ns}	0,0002**	0,0027**	0,0000**
TB*TS	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0004**	0,0158*	0,0000**	0,1848 ^{ns}	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
ES*TS*TB	0,0000**	0,3226 ^{ns}	0,0000**	0,4185 ^{ns}	0,0482*	0,9991 ^{ns}	0,1528 ^{ns}	0,0042**	0,2857 ^{ns}	0,1210 ^{ns}	0,0000**	0,3443 ^{ns}	0,0000**
CV (%)	7,13	0,86	1,19	52,82	19,66	148,05	45,75	3,53	0,93	2,73	3,54	3,68	2,45
MG	7,53	73,96	66,36	0,76	2,38	0,07	0,72	51,49	68,10	10,21	1,61	1,12	1,83

FV -Fator de variação, ES -Etapa de secagem, TS -Tempo de secagem, TB -Tipo de beneficiamento, Q -Quebrado, R -Renda, RD -Rendimento, A -Ardidos, G -Gessados, M -Mofados, PM -Picados e manchados, S -Sadios, AM -Amido, PB -Proteína Bruta, CZ -Cinzas, FB -Fibra Bruta, **Significativo a 1% de probabilidade de erro (Pr<0,01), *Significativo a 5% de probabilidade de erro (Pr< 0,05), ^{ns}Não Significativo (Pr>0,05), ^{ns}Não Significativo (Pr>0,01).

Entre os tipos de beneficiamento verificou-se que o arroz integral manteve-se com maior renda que o arroz polido, como já era esperado em função dos efeitos abrasivos do polimento. O mesmo efeito foi favorável para obtenção de uma maior percentual de amido no arroz polido e desfavorável sobre os percentuais de cinzas no arroz integral.

Entre as etapas de secagem, os resultados foram similares, para uma maior renda de arroz e menores percentuais de amido na etapa de intermitência. Na etapa de intermitência do arroz, através da difusão da água, a umidade migrou do centro para a periferia dos grãos, diminuindo o teor de água e evitando os danos por calor e degradação da qualidade. Conforme Silva et al. (2008), a movimentação da água decorreu da diferença de pressão de vapor d'água entre a superfície do grão e o ar que está em contato. Para que ocorresse a secagem, a pressão de vapor na superfície do grão foi maior que a do ar de secagem.

Tabela 9 -Resultados significativos da interação secagem, intermitência e tipo de beneficiamento

Análises	Tipo de beneficiamento	Etapas de secagem	
		Intermitente	Secagem
Renda (%)	Integral	80,54 Aa	80,25 Aa
	Polido	68,68 Ba	66,38 Ba
Amido (%)	Integral	64,94 Aa	65,71 Ba
	Polido	71,01 Ab	70,75 Ab
Cinzas (%)	Integral	1,48 Bb	1,42 Ab
	Polido	0,78 Aa	0,80 Aa

Médias seguidas pelas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha diferem entre si a 1 e 5% de probabilidade.

Analisando os resultados da Tabela 10, verificamos que o tempo de secagem inicial e intermediário alterou com maior intensidade o rendimento de amido, enquanto que, a proteína bruta foi mais afetada na etapa final da secagem.

Tabela 10 -Resultados significativos da interação secagem, intermitência e tempo de secagem

Análises	Tempo de secagem	Etapas de secagem	
		Intermitente	Secagem
Amido (%)	Início	67,09 Ba	66,14 Ba
	Intermediário	67,75 Ba	68,68 Aa
	Final	69,09 Aa	69,86 Aa
Proteína Bruta (%)	Início	11,41 Aa	11,69 Aa
	Intermediário	9,61 Ba	9,23 Ba
	Final	9,83 Ba	9,49 Ba

Médias seguidas pelas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha diferem entre si a 1 e 5% de probabilidade.

A remoção brusca da água dos grãos com temperatura do ar de secagem acima de 70 °C pode ter provocado danos térmicos aos grãos (MALDANER et al., 2021). Apesar do sistema de secagem intermitente ser o mais indicado para resultar uma melhor qualidade final do arroz, este sistema exige maiores fluxos e transporte da massa de grãos entre as câmaras para completar o processo de secagem o que pode ter aumentando os danos mecânicos nos grãos. Dentro deste contexto, torna-se relevante aperfeiçoar a eficiência e eficácia do método intermitente, buscando alternativas para otimizar o desempenho do secador, com aumento da velocidade de

secagem e maximização da capacidade operacional, com a manutenção da qualidade física e físico-química do arroz.

Observando os resultados da Tabela 11, a etapa inicial da secagem proporcionou maiores percentuais de grãos ardidos e mofados, reduzindo os teores de amido, enquanto que, os percentuais de proteína e cinzas foram mais afetados nas etapas finais da secagem. Entre os tipos de beneficiamento, verificaram-se maiores defeitos de grãos ardidos e mofados no arroz integral, bem como maiores reduções na composição de amido. Ao contrário, o arroz integral manteve-se com maiores percentuais de proteína, entretanto, alcançou maiores percentuais de cinzas em relação aos grãos polidos. O beneficiamento do arroz foi feito para remover as camadas de casca e farelo, produzindo arroz branco e integral. Ao fazer apenas a remoção da casca obteve-se o arroz integral, composto pelo endosperma e pelo farelo, o que atribui valor nutritivo ao arroz integral devido à maior presença de fibras, lipídios, vitaminas e minerais. O arroz polido é o produto resultante do beneficiamento onde se retirou o germe, o pericarpo e a maior parte da camada interna, a aleurona. Esse polimento reduziu o teor de nutrientes, com exceção do amido, o que ocasionou diferenças na composição entre o arroz polido e o integral.

Tabela 11 -Resultados significativos da interação secagem, intermitência, tempo de secagem e tipo de beneficiamento

Análises	Tipo de beneficiamento	Tempo de secagem		
		Inicial	Intermediário	Final
Ardidos (%)	Integral	2,25 Aa	0,96 Ab	0,77 Ab
	Polido	0,29 Ba	0,32 Ba	0,05 Bb
Mofados (%)	Integral	0,45 Aa	0,00 Ab	0,00 Ab
	Polido	0,00 Ba	0,00 Aa	0,00 Aa
Amido (%)	Integral	61,72 Bc	65,73 Bb	68,52 Ba
	Polido	71,51 Aa	70,70 Aa	70,42 Aa
Proteína Bruta (%)	Integral	11,71 Aa	11,74 Aa	10,69 Aa
	Polido	11,39 Aa	7,10 Bb	8,62 Bb
Cinzas (%)	Integral	1,62 Aa	1,40 Aa	1,34 Aa
	Polido	1,31 Aa	0,57 Bb	0,49 Bb

Médias seguidas pelas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha diferem entre si a 1 e 5% de probabilidade.

Na Tabela 12 verificamos os efeitos da interação tripla sobre a qualidade física e físico-química do arroz beneficiado. Para o arroz polido, no início da secagem

verificamos os maiores percentuais de grãos quebrados, enquanto que, no arroz integral, ao final da secagem obtiveram-se os maiores percentuais de grãos inteiros (rendimento). Atribuem-se esses resultados aos efeitos abrasivos do polimento e aos elevados teores de água inicial dos grãos. O teor de água do arroz está diretamente ligado à qualidade do arroz e pode influenciar nas etapas de beneficiamento (ALLAHGHOLIPOUR et al., 2006). Wongpornchai et al. (2004) evidenciam que o método e tempo de secagem causa efeitos significativos na qualidade do arroz beneficiado. A temperatura, o tempo de secagem e a taxa de remoção de água afetam as propriedades físicas e físico-químicas do arroz, como por exemplo: rendimento de grãos inteiros, proteína bruta e amido (INPRASIT e NOOMHORM, 2001).

Tabela 12 -Resultados significativos da interação secagem, intermitência, tempo de secagem e tipo de beneficiamento

Análises	Tipo de benef.	Etapa de secagem					
		Intermitente			Secagem		
		Inicial	Interm.	Final	Inicial	Interm.	Final
Quebr. (%)	Polido	14,38 Ab	9,01 Ac	8,01 Ac	20,26 Aa	10,71 Ac	8,28 Ac
	Integral	1,54 Bb	3,67 Ba	4,79 Ba	1,54 Bb	3,40 Ba	4,78 Ba
Rend. (%)	Polido	52,23 Bc	59,45 Ab	62,57 Ba	43,42 Ad	55,92 Bc	60,19 Ba
	Integral	79,92 Aa	76,49 Bb	75,16 Ab	79,92 Ba	76,28 Ab	74,74 Ab
Gessados (%)	Polido	1,59 Ac	3,35 Aa	3,69 Aa	1,14 Ac	2,64 Ab	3,32 Aa
	Integral	1,57 Ac	2,00 Ab	1,62 Ac	1,57 Ac	2,40 Ab	3,67 Ba
Sadios (%)	Polido	38,90 Ac	50,09 Aa	56,34 Aa	34,34 Bc	46,80 Bb	54,48 Aa
	Integral	50,52 Ac	58,64 Ab	63,02 Aa	50,52 Ac	58,64 Aa	55,57 Bb
Gordura (%)	Polido	0,70 Ad	1,93 Ba	1,60 Ab	1,19 Bc	1,77 Aa	1,54 Ab
	Integral	2,39 Ba	1,35 Ad	1,70 Bc	2,19 Ab	1,49 Bc	1,53 Ac
Fibra Bruta (%)	Polido	1,12 Ac	1,94 Ba	1,43 Ab	2,09 Ba	1,83 Aa	1,37 Ab
	Integral	2,04 Aa	2,08 Aa	1,94 Aa	2,06 Aa	2,06 Aa	2,00 Aa

Médias seguidas pelas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha diferem entre si a 1 e 5% de probabilidade.

A etapa de intermitência houve amenização dos efeitos da secagem e redução de grãos quebrados ao final do processo. Da mesma forma ocorreu para percentuais de grãos sadios, e ao contrário, em relação aos percentuais de grãos gessados. O tempo final de secagem elevou os percentuais de grãos gessados, principalmente no arroz integral. Os percentuais de fibras brutas foram alternados com o aumento do tempo de secagem. A principal diferença ocorreu pela forma de beneficiamento do

grão, onde os maiores valores foram observados no arroz integral. Já os teores de gordura apresentaram-se mais elevadas nos grãos no início da secagem, tendendo-se a igualarem-se os valores entre o arroz polido e integral ao final do tempo de secagem.

6.3 Análises multivariadas

Na Figura 7 está o mapa de calor, que considera os dois tipos de beneficiamento, tipo e tempo de secagem. O Grupo 1 reuniu os cinco tempos iniciais de secagem intermitente e secagem do arroz polido. O único tratamento de arroz integral incluído neste grupo foi o tempo de 1h de intermitência (T29). Esse grupo se caracterizou por obter as menores médias para as variáveis teores de água (TA), grãos sadios (GS), cinzas (CS), gordura (G), amido (A), proteína bruta (PB) e fibra bruta (FB). Além disso, esse grupo apresentou as maiores médias para as variáveis de grãos mofados (MO), grãos quebrados no beneficiamento (GQB) e grãos fragmentados (GF).

O Grupo 2 reuniu os demais tratamentos relacionados ao arroz polido e se caracterizou por obter as maiores médias para a variável grãos gessados (GS). Esse grupo apresentou valores intermediários para as demais variáveis. O Grupo 3 reuniu todos os tipos e tempo de secagem do arroz integral, com exceção de T29. Esse grupo se destacou por apresentar as maiores médias para as variáveis renda (R), rendimento (RD), cinzas (CS), proteína bruta (PB), grãos esverdeados (GV), grãos vermelhos (GVE), grãos ardidos (AD) e grãos marinheiros (GM). Para as demais variáveis, esse grupo apresentou valores similares ao grupo anterior.

Na secagem intermitente o teor de água inicial dos grãos, a temperatura da massa de grãos e do ar, bem como a equalização ou período de intermitência são fundamentais para garantir a qualidade da operação. O tempo da operação de secagem intermitente está relacionado a temperatura do ar de secagem e a taxa de intermitência. Dong et al. (2009) em seu estudo com grãos de arroz em casca determinaram que a têmpera a 50 °C por um período de 120 minutos foi suficiente para remover cerca de 80% dos teores de água na secagem.

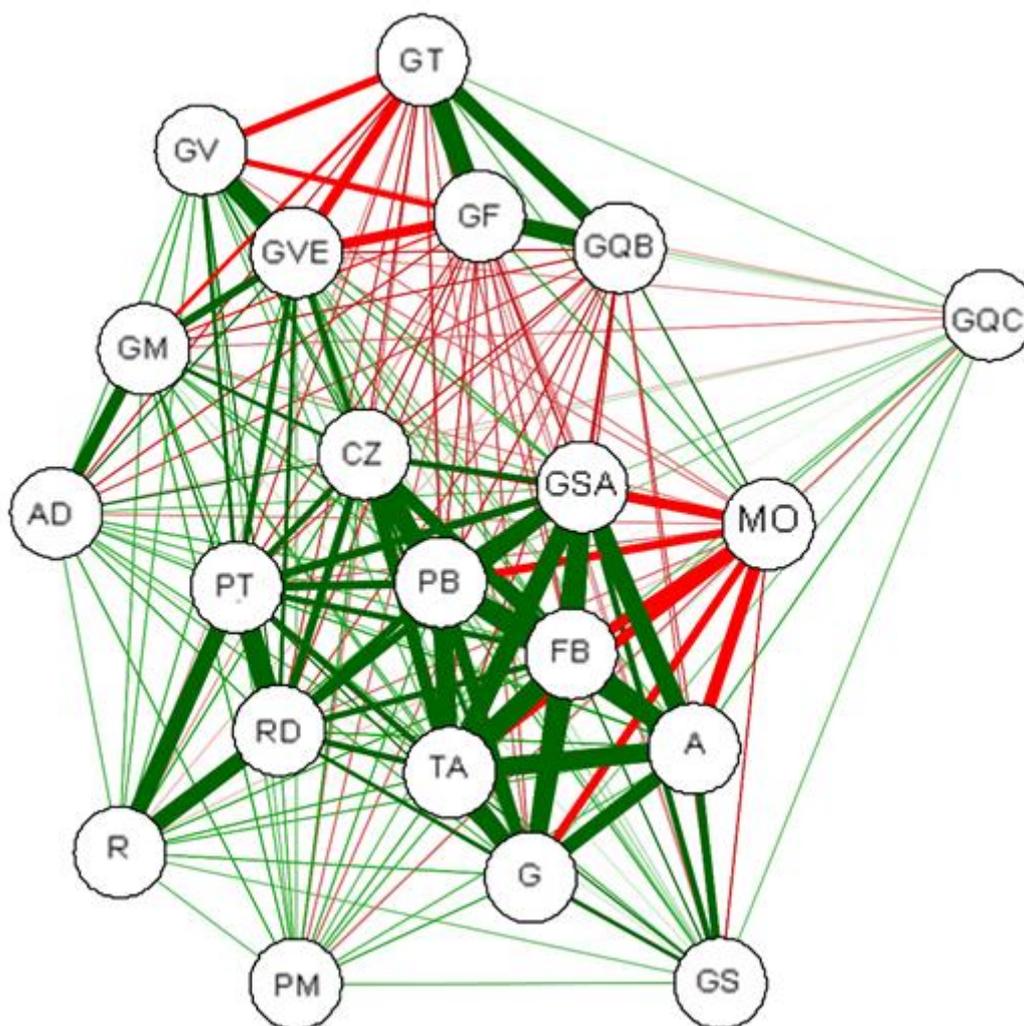
De acordo com o estudo realizado por Meneghetti et al. (2012), o tempo necessário de secagem para alcançar os teores de água de 12% para armazenamento dos grãos, em uma amostra com teor de água inicial de 20%, foi de 5, 8 e 10 h para as relações de intermitência de 1:1, 1:2 e 1:4, respectivamente. Os resultados obtidos pelos autores concluem que a relação de intermitência modificou o tempo de operação e a taxa horária de secagem dos grãos de arroz. Já, o estudo realizado por Bertotto et al. (2018) investigou as consequências destes fatores, considerando os teores de água iniciais de 15, 17 e 19%, nas temperaturas de secagem de 40, 50 e 60 °C e tempos de intermitência de 40, 80 e 120 min no rendimento dos grãos de arroz. Eles concluíram que para atingir o máximo rendimento de 58% foi necessária controlar a temperatura do ar de secagem a 40 °C, com período de intermitência de 40 min e um teor de água inicial de 19%. Nessas condições, o grão atingiu um teor de água de 13% em 84 min, sem que houvesse aumento significativo da temperatura da massa de grãos, preservando as propriedades físico-químicas dos grãos, como proteína, amido e gordura.

Em comparação com a secagem contínua a secagem intermitente apresenta inúmeras vantagens, comprovadas por diversos estudos. Wang et al. (2017) compararam ambas as secagens em sementes de arroz, observando as temperaturas de secagem de 50 e 60 °C pelo tempo de 5, 10, 15 e 20 min, seguidas de intermitência a 25 °C por 45 min. Eles concluíram que qualidade do arroz foram mais preservadas na secagem intermitente. Estes resultados corroboram com o estudo de Pereira et al. (2020) que compararam os dois métodos de secagem em temperaturas do ar de 50 e 70 °C, tempo de secagem de 10 e 20 min, e tempo de intermitência de 20 e 40 min. Eles determinaram que os melhores resultados foram obtidos no tempo e secagem de 10 min a 50 °C, o que ocasionou uma redução de 32,2% de tempo efetivo de secagem em comparação com a secagem contínua. Franco et al. (2020) verificaram em seu estudo que o tempo de operação na secagem intermitente é menor em relação à secagem contínua, e além disso produz uma menor temperatura na superfície do grão, o que minimiza os danos causados.

As correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas em arroz integral e polido estão apresentadas na Figura 7. As variáveis R, PT, RD, TA, F, A, FB, GS, CZ e PB estão altamente correlacionadas entre si de forma positiva. A variável MO se correlaciona com as variáveis deste grupo de forma negativa, sobretudo com GS, PB, FB, TA e A de quem possui maior proximidade. As variáveis GT, GF e GQB estão

correlacionadas entre si de forma positiva, além de se correlacionarem de forma negativa com GV e GVE. Outras correlações positivas encontradas foram entre GV x GVE, GVE x GM e GM x AD.

Figura 8 - Rede de correlações de Pearson entre as variáveis renda (R), rendimento (RD), grãos quebrados no beneficiamento (GQB), grãos quebrados na classificação (GQC), grãos trincados (GT), grãos fragmentados (GF), peso total (PT), grãos sadios (GS), grãos ardidos (AD), grãos mofados (MO), grãos gessados (GS), grãos picados e manchados (PM), grãos verdes (GV), grãos marinheiros (GM), grãos vermelhos (GVE), teores de água (TA), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), gordura (G), amido (A) e cinzas (CZ) avaliadas em arroz integral e polido.



O rendimento de grãos inteiros pode ter sido afetado pela formação de fissuras, na secagem. As fissuras além de comprometer o rendimento também alterou de forma negativa a composição química dos grãos (SCARIOT et al., 2020). Lang et al. (2018),

estudaram a influência da temperatura de secagem de 20, 40, 60, 80 e 100 °C nas propriedades dos grãos de arroz. Eles observaram que as temperaturas acima de 60 °C ocasionaram maiores fissuras e diminuição do rendimento.

O desequilíbrio dos teores de água entre o centro e a superfície do grão influenciou o processo de secagem e podem ter alterado a qualidade dos grãos (Abayawickrama et al., 2017). Os grãos com fissuras submetidos ao beneficiamento romperam-se, principalmente durante o descasque e polimento, levando a redução de rendimento (ZHANG et al. 2003; GBENA et al., 2016). Quanto maior o teor de água removido da superfície, maiores foram os gradientes do teor de água dentro dos grãos e maiores a porcentagem de grãos de arroz fissurados pelo processo de secagem (BUGGENHOUT et al., 2013).

6.4 Análises de difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura em grãos de arroz polido e integral

Os padrões de difração de raios-X obtidos a partir de amostras de arroz polido estão apresentados na Figura 9 e a cristalinidade relativa na Figura 10. Os padrões dos difratogramas de ambas as amostras indicaram uma estrutura semi-cristalina. Independentemente do tempo de secagem, os picos de difração observados em 2-theta apresentaram valores de 15°, 17°, 18°, 20° e 23°, indicando que o grânulo de amido do arroz exibe um padrão de tipo A, estrutura cristalina do amido, tipicamente encontrada em cereais. Outros trabalhos constataram a presença dos mesmos picos nos difratogramas obtidos, como Batista (2019) para dois genótipos de arroz, Ramos et al. (2019) para grãos de arroz com pericarpo vermelho e Ziegler et al. (2017) para arroz preto e vermelho. Os valores de cristalinidade relativa foram semelhantes ao encontrados por Batista (2019) (31,37% e 27,21%), entretanto, apesar dos picos encontrados nas mesmas regiões, valores mais baixos foram encontrados por Ramos et al. (2019), de 19,59% na secagem intermitente e por Ziegler et al. (2017) de 25,2%.

Figura 9 -Difratogramas de raios-X das amostras de arroz polido no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A), intermediária (cinco a dez horas) (B) e final (dez a quatorze horas) (C).

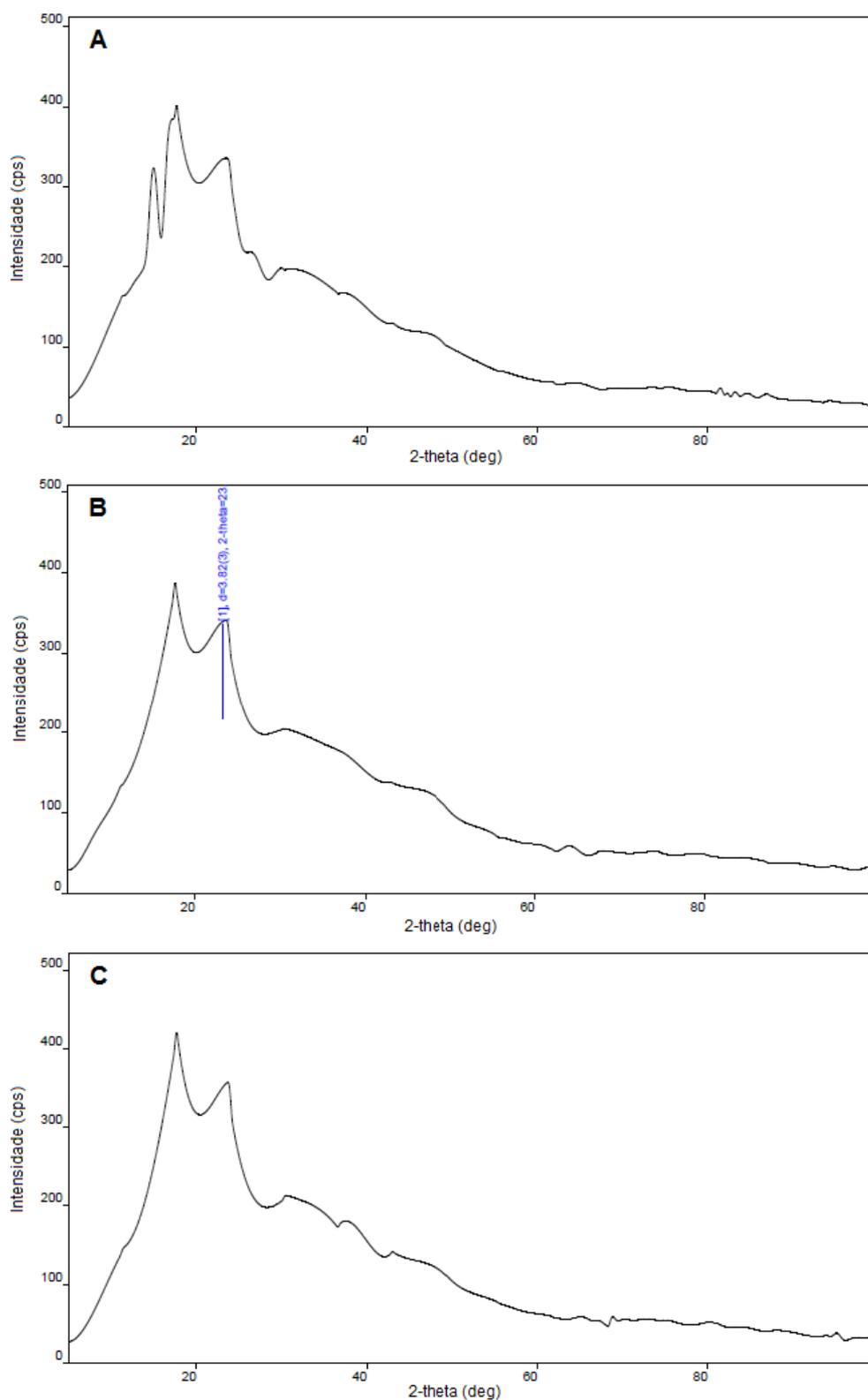
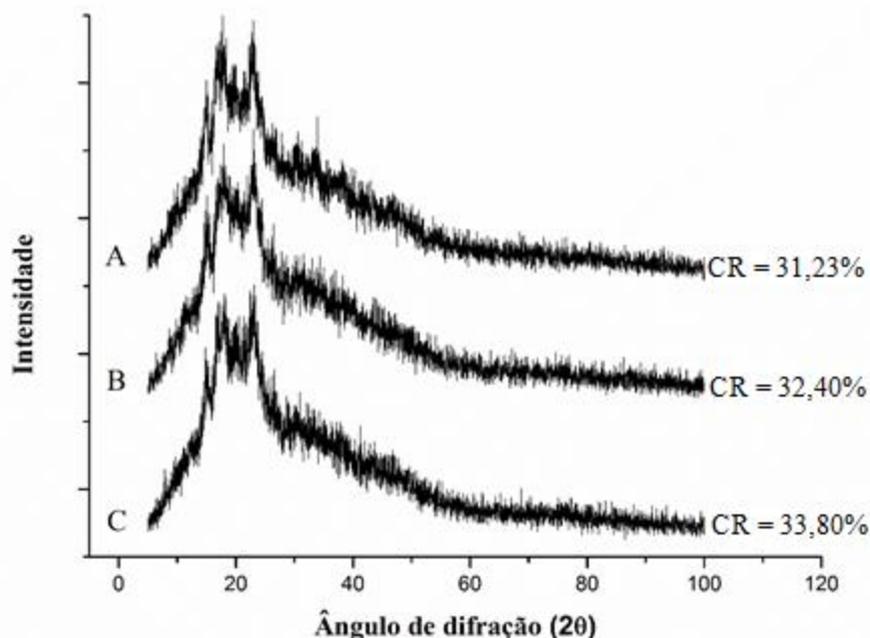
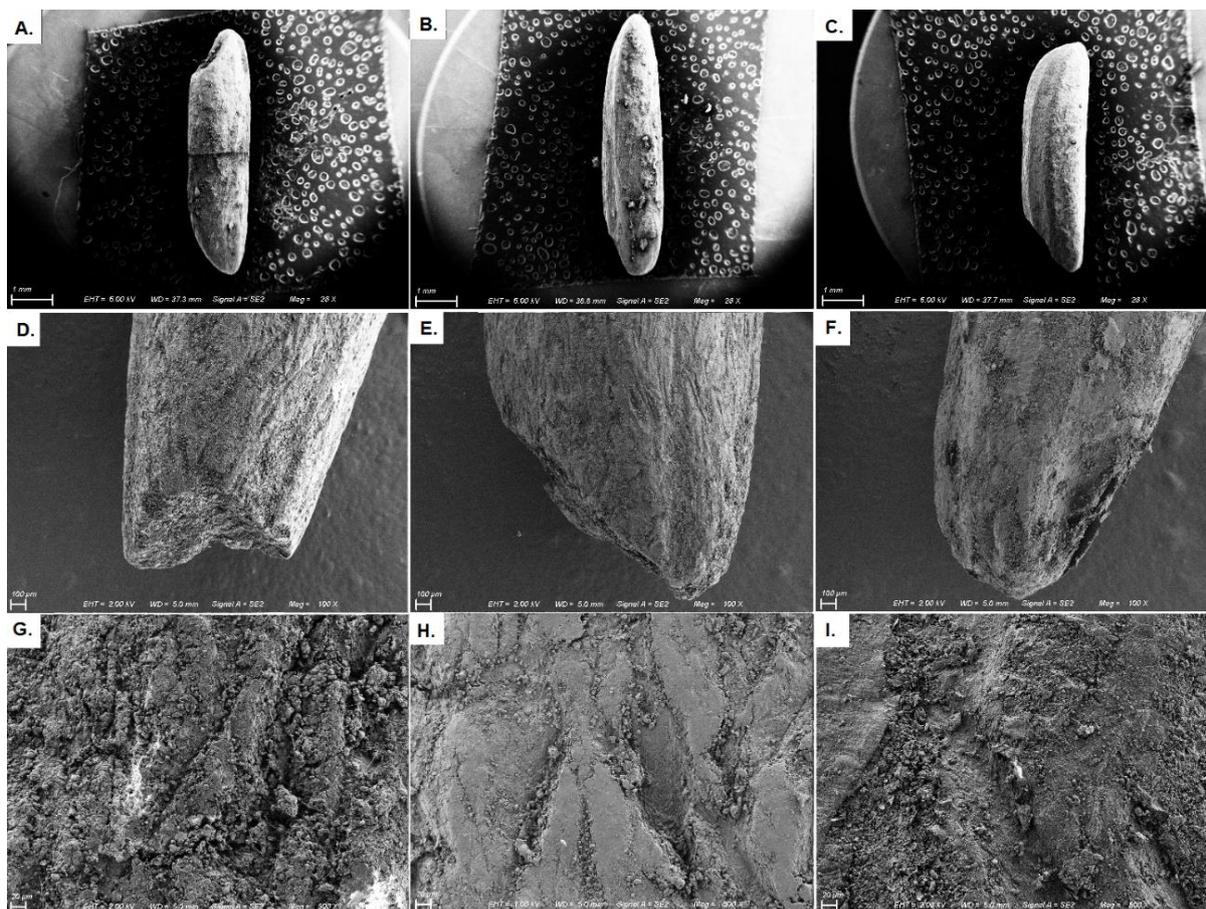


Figura 10 - Cristalinidade relativa do arroz polido. As letras A, B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem inicial (zero a cinco horas), intermediário (cinco a dez horas) e final (dez a quatorze horas), respectivamente.



A qualidade físico-química está relacionada principalmente com o teor de amido, proteína, lipídeos e cinzas. Assim, os efeitos dos tratamentos térmicos sobre os grãos de arroz e o amido foram verificados também pela microscopia eletrônica de varredura (Figura 11). Singh et al. (2003) verificaram nas imagens que os endospermas translúcidos tem grânulos de amido poliédricos e compactos. Iguaz et al. (2006) verificaram que a secagem intermitente alterou a qualidade dos grãos de arroz. O efeito do número de ciclos da massa de grãos no secador influenciou na fissuração dos grãos. A medida que ocorreu um incremento na temperatura aumentou a capacidade de evaporação do ar de secagem, bem como as fissuras nos grãos. Aquerreta et al. (2007) estudaram o efeito do ciclo de secagem em diferentes períodos de tempera sobre a fissuração e rendimento de grãos inteiros de arroz. Eles concluíram que os percentuais de grãos fissurados diminuem quando a secagem é realizada em duas ou três etapas.

Figura 11 - Microscopia eletrônica de varredura do arroz polido em função dos processos dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A, D, G), intermediária (cinco a dez horas) (B, E, H) e final (dez a quatorze horas) (C, F, I).



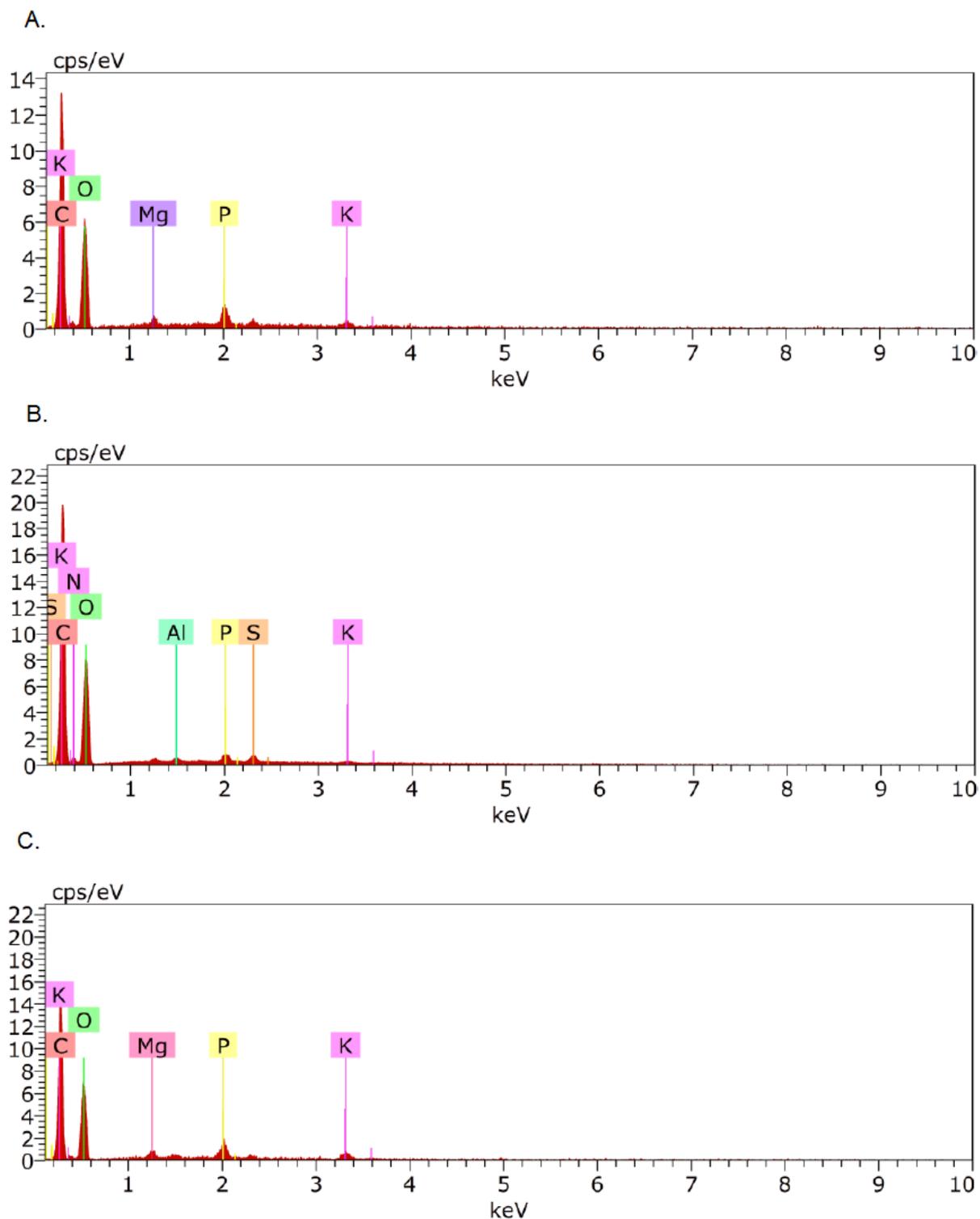
Além disto, a porcentagem de grãos gessados foi menor com a redução do número de ciclos da massa de grãos no secador. Os grãos gessados são formados pela síntese de amido, pela estrutura e o arranjo dos grânulos de amido (YAMAKAWA et al., 2007). O amido assim como os carboidratos são os principais componentes do arroz, seguido por proteínas, fibras e cinzas em menor quantidade (DANG e COPELAND et al., 2004; YUN et al., 2016; SCARIOT, 2020). Além disto, os grãos gessados têm maior opacidade influenciando na consistência dos grãos (KUO et al., 2016; PURHAGEN et al., 2018). Yun et al. (2016) afirma que a presença de espaços entre os grânulos de amido nos endospermas gessados influencia na densidade do grão, fazendo com que os grãos se quebrem mais facilmente na secagem. Alguns dos parâmetros que definem as propriedades do amido são o tamanho dos grânulos, o poder de expansão, a solubilidade, propriedades de gelatinização e conteúdo de amilose (ZHU et al., 2019). O amido de arroz contém quase 20% de amilose e 75-80% de amilopectina (SINGH et al., 2017). O conteúdo de amilose do arroz é importante para a qualidade do cozimento, o arroz do tipo grão longo, normalmente contém 19–22% de amilose, já os tipos de grãos médios contêm 15–16% de amilose (SINGH et al., 2017).

Além do amido, a proteína é o componente mais abundante do grão de arroz. As proteínas do arroz podem ser divididas em quatro categorias: albumina, globulina, prolamina e glutelina (TONG et al., 2020). A albumina é altamente solúvel em água e particularmente apreciada como uma fração de proteína rica em nutrientes (TRAN et al., 2018). As proteínas também são afetadas pela operação de secagem, o que foi observado por Menezes et al. (2012), que avaliaram as diferentes temperaturas de secagem de 32, 38, 44 e 50 °C na qualidade físico-química dos grãos de arroz. Eles observaram que o teor de proteína bruta nos grãos foi afetado negativamente com o aumento da temperatura de secagem, principalmente nas temperaturas de 32 a 50 °C.

Os lipídios e as enzimas lipolíticas estão presentes principalmente nas camadas externas do grão de arroz e, portanto, são mais susceptíveis de serem alteradas pelos efeitos da secagem (TONG et al., 2020). Já as cinzas são distribuídas principalmente nas camadas de farelo da cariopse de arroz (PAIVA et al., 2016). Scariot et al (2020) analisaram a temperatura do ar de secagem e o na qualidade industrial e na composição química dos grãos de arroz. Os autores utilizaram a taxa de intermitência de 1:1, nas temperaturas de 55 e 65 °C. De acordo com os resultados, o aumento da temperatura diminuiu o rendimento dos grãos, além disso, os teores de lipídeos foram reduzidos, aumentando o teor de cinzas para o arroz polido.

Verificou-se na Figura 12, que os percentuais de micronutrientes foram alterados conforme o aumento do tempo de secagem. Associados ao tempo de secagem observaram-se os efeitos provocados pelo beneficiamento sobre a qualidade físico-química dos grãos, principalmente em função do polimento. O polimento do arroz removeu as camadas onde estão o farelo e o germe, que são ricas em proteínas, fibras e gordura, alterando a aparência do arroz (TONG et al., 2019). Assim, embora o processo de polimento proporcione benefícios às propriedades físicas, sensoriais e conservantes do arroz (PAIVA et al., 2016), as propriedades nutricionais são diminuídas (Figura 12).

Figura 12 - Composição química de arroz polido em função dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A), intermediária (cinco a dez horas) (B) e final (dez a quatorze horas) (C).



Os processos de polimento influenciaram o conteúdo de amilose e as propriedades físico-químicas, indicando alterações na qualidade (TONG et al., 2019).

O grau de polimento do arroz pode determinar a proporção de farelo e endosperma que é alterado. MONKS et al. (2013) examinaram os efeitos do grau de polimento (8-14%) na composição de ácidos graxos do arroz, a composição centesimal, o teor de amilose e as propriedades tecnológicas do arroz. Os resultados

obtidos por eles mostraram que mesmo o menor grau de polimento ocasionou a diminuição no teor de ácido fólico, cinzas e gorduras, de aproximadamente 72%, 41% e 65% respectivamente. O teor de ácidos graxos também diminuiu com o polimento.

WANG et al. (2021) também avaliaram o efeito na qualidade físico-química de divergentes graus de polimento (0-12%) do arroz. Eles observaram que à medida que o grau de polimento era ampliado diminuía o rendimento, o teor de proteína, os lipídeos, as cinzas, as fibras, vitamina B1, vitamina E e niacina. Entretanto, o teor de amido e amilose aumentaram de forma não linear. O rendimento foi drasticamente diminuído conforme o grau de polimento passando de 62,13% para 33,16%

O estudo realizado por XU et al. (2021) testou o efeito do polimento nas propriedades do amido, utilizando arroz ceroso, polido em velocidades de (750, 950 e 1050 rotações por min) e tempo de duração de (20, 40 e 60s). Eles observaram que conforme houve incremento na velocidade e no tempo de duração, aumentou o poder de intumescimento e o índice de solubilidade do amido com baixo e alto teor de amilose. O polimento também ocasionou no amido maior pseudoplasticidade.

Os padrões de difração de raios-X obtidos a partir de amostras de arroz integral estão apresentados na Figura 13 e a cristalinidade relativa na Figura 14.

Figura 13 - Difratoogramas de raios-X das amostras de arroz integral no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A), intermediária (cinco a dez horas) (B) e final (dez a quatorze horas) (C).

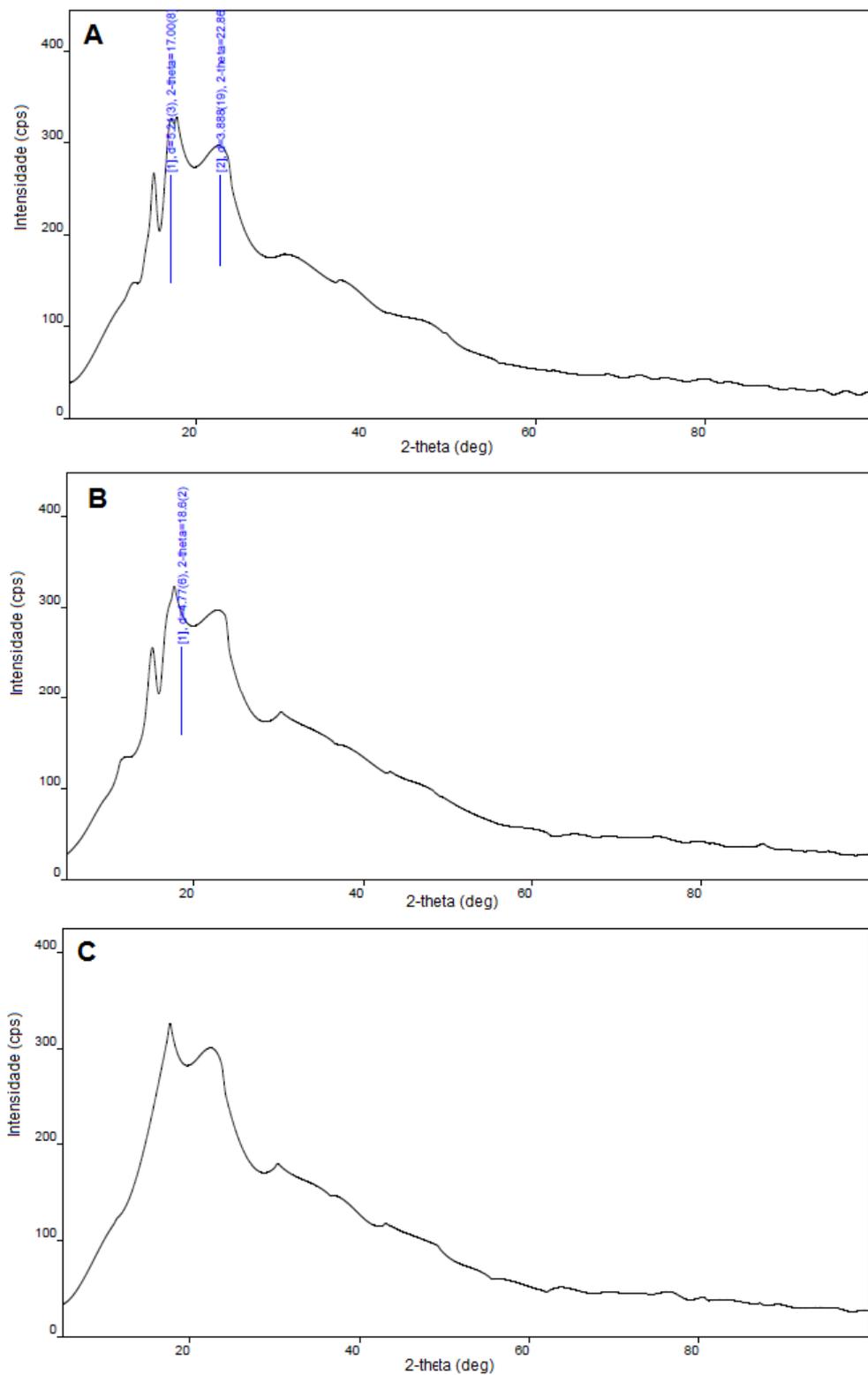
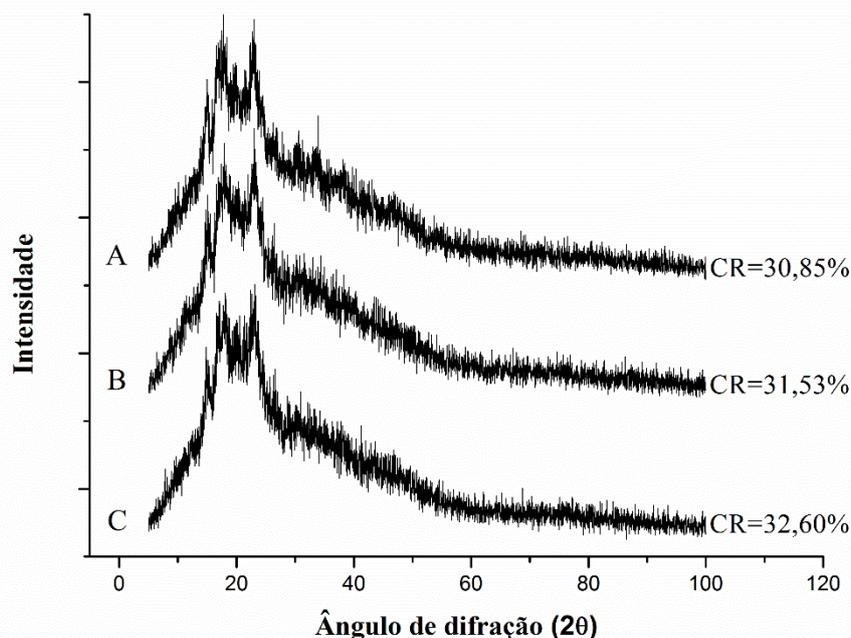


Figura 14 - Cristalinidade relativa do arroz integral. As letras A, B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem inicial (zero a cinco horas), intermediário (cinco a dez horas) e final (dez a quatorze horas), respectivamente.

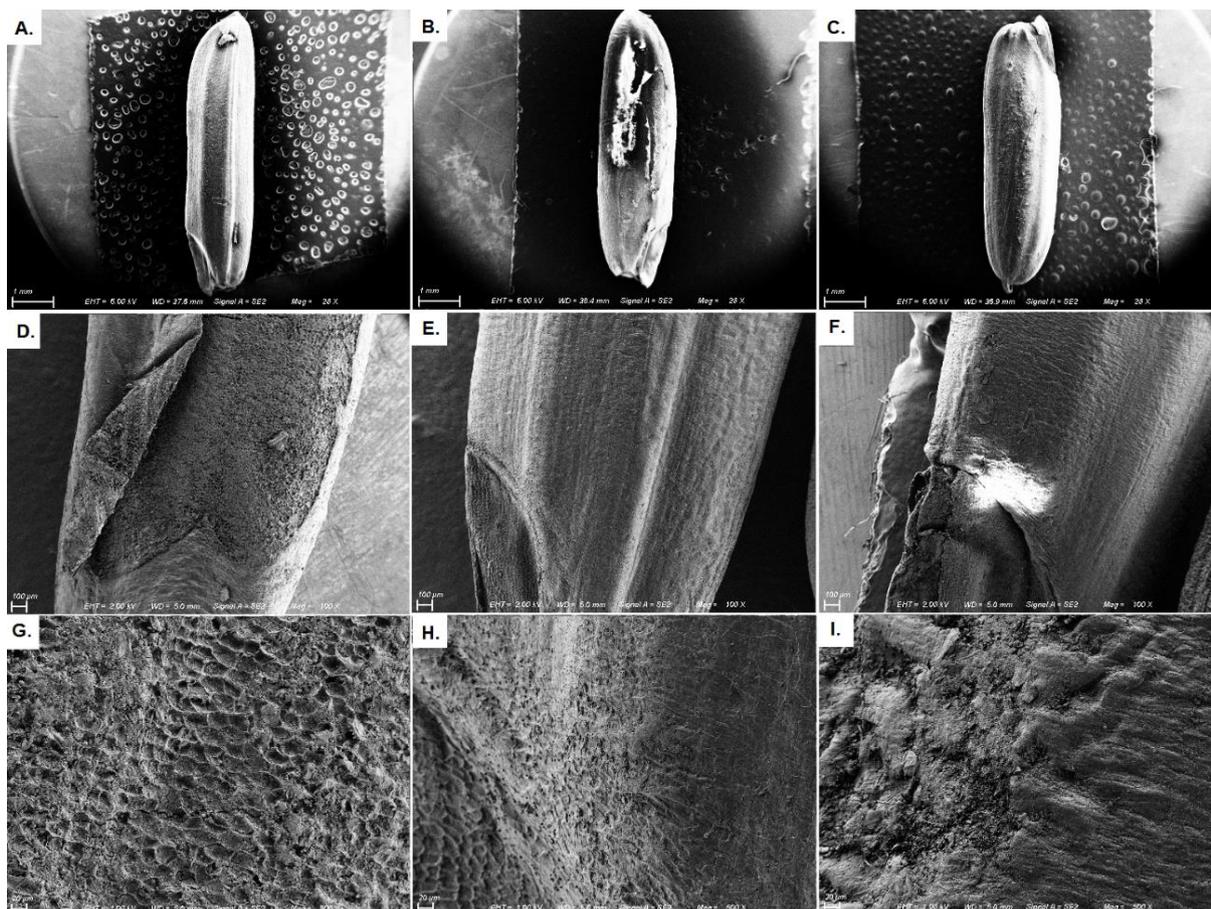


Os padrões dos difratogramas de ambas as amostras indicam estrutura semicristalina dos grãos de arroz integral, com picos de difração e formação de um padrão de tipo A. Na Figura 14 observa-se que a cristalinidade relativa do arroz integral tendeu a aumentar com o aumento do tempo de secagem.

Timm et al. (2020) verificaram a redução da cristalinidade do arroz com o aumento da temperatura de secagem, atribuindo a possibilidade de ser em função da diminuição das cadeias de amilopectina associada ao uso de tratamentos térmicos intensos (SITTIPOD e SHI, 2016) e à remoção acelerada da água, resultando na retrogradação do amido (TIMM et al., 2020).

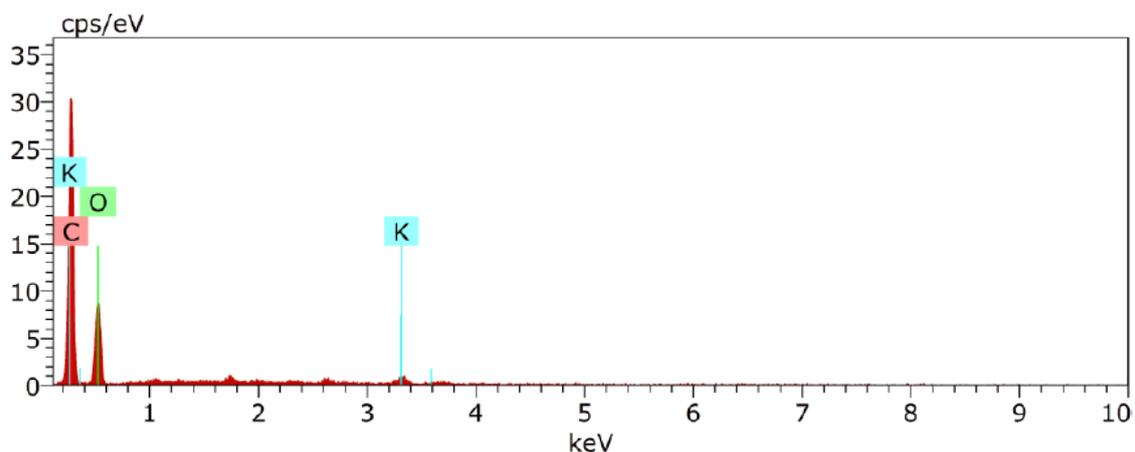
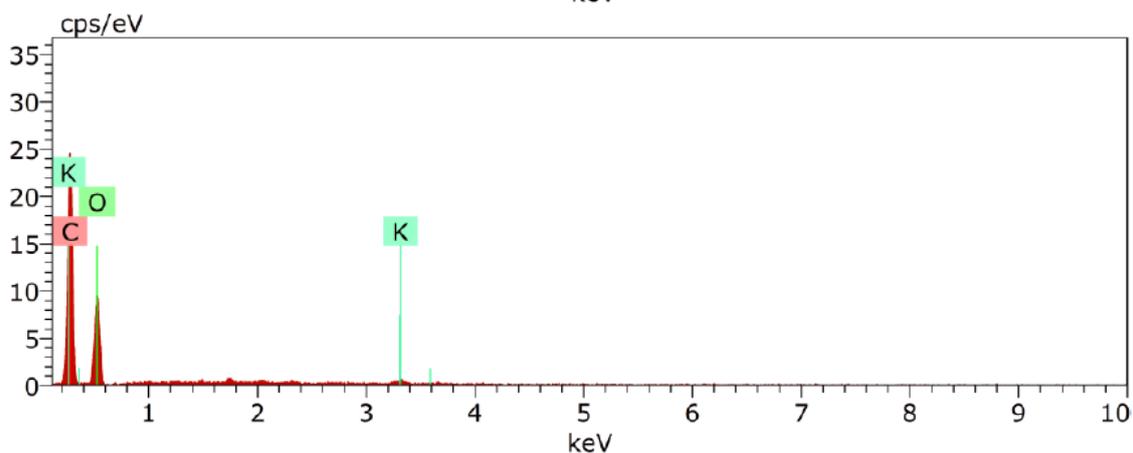
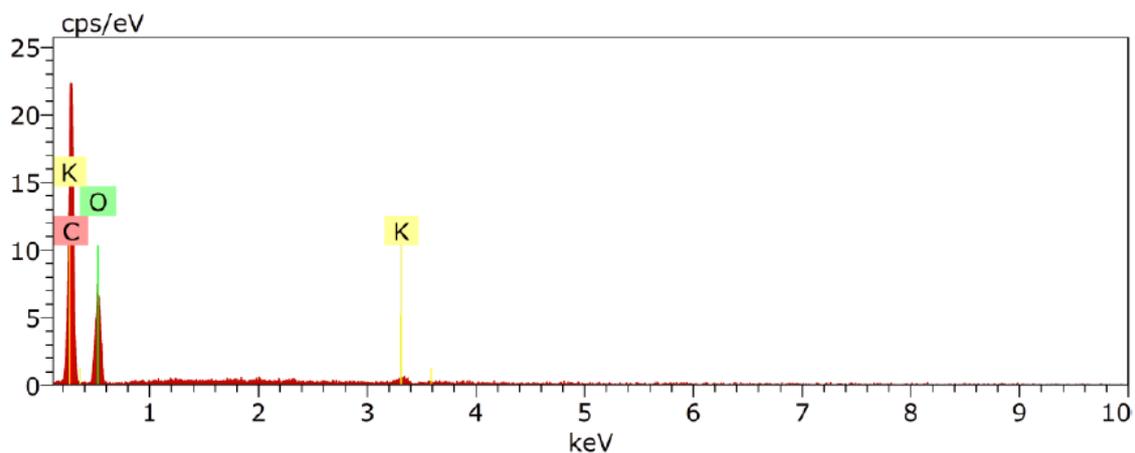
Na Figura 15 estão as imagens de microscopia eletrônica de varredura do arroz submetidos à secagem e beneficiados de forma integral. O tempo de secagem acima de dez horas (final) intensificou os danos na morfologia dos grãos de arroz (Figura 15), embora, o beneficiamento integral tenha conservado grande parte da estrutura do grão.

Figura 15 - Microscopia eletrônica de varredura do arroz integral em função dos processos dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A, D, G), intermediária (cinco a dez horas) (B, E, H) e final (dez a quatorze horas) (C, F, I).



A composição química de minerais tiveram os mesmos comportamentos para o arroz polido e integral, em função dos processos de secagem e intermitência, conservando os maiores percentuais de nutrientes ao final do processo e no arroz integral (Figura 16). A têmpera amenizou os efeitos da secagem sobre a qualidade dos grãos até os estágios finais do processo, quando o aumento de ciclos e da temperatura da massa de grãos sobressaiu sobre os efeitos amenos da intermitência.

Figura 16 - Composição química de arroz integral em função dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A), intermediária (cinco a dez horas) (B) e final (dez a quatorze horas) (C).



7. CONCLUSÕES

O tempo de secagem do arroz em casca afetou a qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido e integral.

O tempo acumulativo de secagem aumentou a temperatura da massa de grãos, acentuando o dano térmico, enquanto que, o processo de intermitência atenuou as transferências de massa e calor nos grãos, para resultados de melhor qualidade do arroz beneficiado.

A associação dos fatores tempo de secagem e forma de beneficiamento alterou com mais intensidade a qualidade do arroz polido, obtendo melhores resultados no arroz integral.

O processo de intermitência não compensou o número de ciclos (tempo de secagem) da massa de grãos, em relação à qualidade final do arroz.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAYAWICKRAMA, A.S.M.T. et al. Influence of high daytime temperature during the grain filling stage on fissure formation in rice. **Journal of Cereal Science**, v. 74, p. 256-262, 2017.

ALLAHGHOLIPOUR, M. et al. Relationship between rice grain amylose and pasting properties for breeding better quality rice varieties. **Plant Breeding**, v. 125, p. 357-362, 2006.

AQUERRETA J. et al. Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 611-618, 2007.

ASHIDA, K.; IIDA, S.; YASUI, T. Morphological, physical and chemical properties of grain and flour from chalky rice mutants. **Cereal Chemistry**. V. 86, p. 225-231. 2009.

ASSAR M. et al. A Combined Experimental and Theoretical Approach to Study Temperature and Moisture Dynamic Characteristics of Intermittent Paddy Rice Drying. **Chemical Engineering Communications**, v. 203, p. 1242-1250, 2016.

ATUNGULU G. G.; ZHONGLI P. Rice industrial processing worldwide and impact on macro- and micronutrient content, stability, and retention. **Annals of the New York Academy of Sciences**, p. 15-28, 2014.

ATUNGULU, G. G. et al. Postharvest technology: rice storage and cooling conservation. **Rice chemistry and technology**, Duxford, UK, v. 4, p. 517-555, 2019.

AUGUSTO, W.; NESS, A. R. Qualidade do arroz em casca seco e armazenado em mini silos metálicos em aeração controlada. **Engenharia na Agricultura**, v. 9, n. 1, p. 35-54, 2001.

BABETTO, A.C. et al. Drying of garlic slices: Kinetics and nonlinearity measures for selecting the best equilibrium moisture content equation. **Journal of Food Engineering**, New York, v. 107, n. 3-4, p. 347-352, 2011.

BALDIN, T. et al. Evaluation of alternative sample preparation methods for development of NIR models to assess chemical properties of wood. **Bioresources**, v. 13, n. 3, p. 5394-5407, 2018.

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

BAZONI, C.H.V. et al. Near-infrared spectroscopy as a rapid method for evaluation physicochemical changes of stored soybeans. **Journal of Stored Products Research**, v. 73, p. 1-6, 2017.

BERTOTTO M. M. et al. Effect of drying conditions on the quality of IRGA 424 rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 4, p. 1651-1659, 2018.

BORTOLAIA, L. A. **Modelagem matemática e simulação do processo de secagem de grão de soja em secadores de fluxo contínuo**. Tese de doutorado, UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 161p, Porto Alegre, 2011.

BOTELHO, F. M. et al. Influência da temperatura de secagem sobre as propriedades físicas dos grãos de soja. **Engenharia na agricultura**, v. 23, n. 3, 2015.

BRADFORD, K. J. et al. The dry chain: reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates. **Food Science and Technology**, v. 71, p. 84-93, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 06, de 16 de fevereiro de 2009. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 fev. 2009, Seção 1, p. 3.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 02, de 06 de fevereiro de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 fev. 2012, Seção 1, p. 3.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. Drying and storage of grains and oilseeds. **The AVI Van Nostrand Reinhold**, New York, 450 p. 1992.

BUGGENHOUT, J. et al. The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: A review. **Journal of Food Engineering** v. 117, n. 3, p. 304-315. 2013.

CAVALCANTI, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ALMEIDA, F. A. C. Secagem de sementes. In: ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI, M. E. R. M. **Tecnologia de armazenamento em sementes**. Campinas, SP, 2006.

CHAYJAN, R. A.; GHASEMIA, A.; SADEGHIB, M. Stress fissuring and process duration during rough rice convective drying affected by continuous and stepwise changes in air temperature. **Drying Technology**, v. 37, n. 2, p. 198-207, 2019.

CHEN, J. et al. Rapid and non-destructive analysis for the identification of multi-grain rice seeds with near-infrared spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 219, p. 179-185, 2019.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 6, sexto levantamento, mar. 2021.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). Acompanhamento da safra brasileira de grãos -Safra 2018/2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Perdas em transporte e armazenagem de grãos: panorama atual e perspectivas /Organizadores Paulo Cláudio Machado Júnior e Stelito Assis dos Reis Neto, Brasília, DF, 2021.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Série Histórica da Capacidade Estática. 2020. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/armazenagem/serie-historica-da-armazenagem>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

CORADI, P. C. et al. Technological and sustainable strategies for reducing losses and maintaining the quality of soybean grains in real production scale storage units. **Journal of Stored Products Research**, v. 87, 2020.

CORADI, P.C.; LEMES, A. F. C. Experimental prototype of silo-dryer-aerator of grains using Computational Fluid Dynamics (CFD) system. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 41, 2019.

CUSTODIO, M. C. et al. Rice quality: How is it defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists?. **Trends in Food Science & Technology**, v. 92, p.122-137, 2019.

DALPASQUALE, V. A.; SPERANDIO, D.; KOLLING, E. M. Performance of the Michigan drying simulation model with a new drying rate concept. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 553-557, 2009.

DIAMANTE L. M. ; MUNRO P. A. Mathematical modelling of hot air drying of sweet potato slices. ? **Trends in Food Science & Technology**, v. 26, n. 1, p. 99-109. 1991.

DONG. Moisture distribution in a rice kernel during tempering drying. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 126-132, 2009.

DONLAO, N.; MATSUSHITAC, Y.; OGAWAA Y. Influence of postharvest drying conditions on resistant starch content and quality of non-waxy long-grain rice (*Oryza sativa* L.). **Drying Technology**, v. 36, n. 8, p. 952-964, 2018.

DOYMAZ, I.; DEMIR, H.; YILDIRIM, A. Drying of quince slices: Effect of pretreatments on drying and rehydration characteristics. *Chemical Engineering Research*, v. 202, p. 1271-1279, 2015.

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

EIFERT, E. C. Secagem, armazenamento e beneficiamento. **Embrapa Arroz e Feijão**, v. 235, p. 129-134, 2009.

ELIAS, M. C. Armazenamento e Conservação dos Grãos. Pólo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul Conselho Regional de Desenvolvimento da Região Sul. Pelotas, p.1-83, 2003.

ELIAS, M. C. **Pós-colheita de arroz: secagem, armazenamento e qualidade.** 1ª ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária UFPEL, v.1, 2007, 424 p.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; SCHIAVON, R. A. Qualidade de arroz na pós-colheita: Ciência, tecnologia e normas. Pelotas: Santa Cruz, 2010. 543p.

EMBRAPA, Origem e história do feijoeiro comum e arroz. 2000. **EMBRAPA Publicações**, disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164370/1/CNPAF-2000-fd.pdf>> Acesso em 19 de jul de 2022.

ESPER, A.; MUHLBAUER, W. Solar Drying - An effective means of food preservation. *Renewable Energy*, v.15, n.1, p.95–100, 1998.

FAN, X. et al. Characterization of physicochemical qualities and starch structures of two indica rice varieties tolerant to high temperature during grain filling. **Journal of Cereal Science**, n. 93, 2020.

FAO, - Agricultural perspectives. OCDE-FAO. 2017. <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/992186/>>. Acesso em 8 de abril de 2021.

FAO, - Rice liberalization: predicting trade and price impacts. 2021. Disponível em <<http://www.fao.org/economic/est/publications/rice-publications/en/>>. Acesso em 25 de março de 2021.

FAO, Biannual Report on Global Food Markets. **Food Outlook**, Rome, 2022. Disponível em <<http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/oilcrops/oilcrop-policies/en/>> Acesso em 19 de jul de 2022.

FERRUZZI, M. G. et al. Developing a standard definition of whole-grain foods for dietary recommendations: Summary report of a multidisciplinary expert roundtable discussion. **Advances in Nutrition**, v. 5, p. 164-176, 2014.

FITZGERALD, M.A. et al. Addressing the dilemmas of measuring amylose in rice. **Cereal Chemistry**, v. 86, p. 492-498, 2009.

FOCHEZATTO, A. Políticas de estabilização macroeconômica do plano real e seus efeitos sobre o agronegócio brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 41, p. 779-802, 2004.

FOUST, A. et al. Princípio das operações unitárias 2 ed., Rio de Janeiro, **Guanabara Dois**, 670p, 1982.

FRANCO, C. M. R. et al. Modeling and experimentation of continuous and intermittent drying of rough rice grains. **Heat and Mass Transfer**, v. 56, n. 3, p. 1003-1014, 2019.

FRANCO, C. M. R.; LIMA, A. G. B.; FARIAS, V. S. Modeling and experimentation of continuous and intermittent drying of rough rice grains. **Heat Mass Transfer**, v. 56, p. 1003-1014, 2020.

GAYIN, J. et al. Classification of rice based on statistical analysis of pasting properties and apparent amylose content: the case of *Oryza glaberrima* accessions from Africa. **Cereal Chemistry**, v. 92, p. 22-28. 2015.

GOLMOHAMMAD, M. et al. Energy efficiency investigation of intermittent paddy rice dryer: Modeling and experimental study. **Food and bioproducts processing**, n. 94, p. 275-283, 2015.

GONELI, A. L. D. et al. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada, **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n. 11, p. 64-73, 2009.

GONELI, A. L. D. et al. Study of moisture diffusion in wheat grain drying. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 27, n. 1, p. 135-140, 2007.

GOUVEIA, D. S. et al., Cinética de feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.) em secador de bandeja. **Holos**, Natal, v. 1, n. 27, p. 38-48, 2011.

Grande, Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Campina Grande, 2006, 271-370p.

GRIFFITHS et al., 2014). Rice industrial processing worldwide and impact on macro- and micronutrient content, stability, and retention. Referencia 038

GUIMARÃES, D. S. Desenvolvimento de módulo computacional para a secagem estacionária de sementes. **Tese** (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 165 f., 2005.

GUIMARÃES, D.S.; LUZ, C.A.S.; PERES, W.B.; LUZ, M.L.G.S.; GADOTTI, G.I. Secagem de grãos e sementes. 1. ed. Pelotas: Santa Cruz, 2015. 314p.

GULARTE, M. R. Avaliação sensorial no controle de qualidade de arroz. In: ELIAS, M. C. F.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. Qualidade de arroz da pós-colheita ao consumo. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, 2012, v. 1, p. 193-212.

YAMAKAWA , H. et al. Comprehensive expression profiling of rice grain filling-related genes under high temperature using DNA microarray. **Plant Physiology**, v. 144, p. 258-277. 2007.

HAMPEL, N. et al. Continuous modeling of superheated steam drying of single rice grains. **Drying Technology**, v. 37, n. 12, p. 1583–1596. 2019.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient, **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, p. 169-174. 1961.

HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin-layer drying equation, Transaction of the **ASAE**, n. 17, p. 1167-1168. 1974.

HUANG, X. et al. A map of rice genome variation reveals the origin of cultivated rice. **Nature**, v. 490, p. 497-502, 25 out. 2012.

HUNG P. V.; CHAU, T.H.; LAN P. T. In vitro digestibility and in vivo glucose response of native and physically modified rice starches varying amylose contents. **Food Chemistry**, v. 191, p. 74-80, 2016.

IBGE - IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**. Estatística da Produção Agrícola. Jan de 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de estoque**. Rio de Janeiro, n. 1, p. 1-17, jan./jun. 2020.

IGATHINATHANE, C.; CHATTOPADHYAY, P. K.; PORDESIMO, L. O. Moisture diffusion modelling of parboiled paddy accelerated tempering process with extended application to multi-pass drying simulation. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 2, p. 239-53, 2008.

IGUAZ, A.; RODRÍGUEZ, M.; VÍRSEDA, P. Influence of handling and processing of rough rice on fissures and head rice yields. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 803-809, 2006.

INPRASIT, C.; NOOMHORM, A. Effect of drying air temperature and grain temperature of different types of dryer and operation on rice quality. **Drying Technology**, v. 19, p. 389-404, 2001.

INPRASIT, C.; NOOMHORM, A. Effect of drying air temperature and grain temperature of different types of dryer and operation on rice quality. **Drying Technology**, v. 19, n. 2, p. 389-404, 2001.

IRGA (INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ). Boletim de resultados da lavoura -Safrá 2018/2019 -Arroz irrigado e soja em rotação. Disponível em: <<https://irga-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/201909/05171808-relatorio-da-safra-2018-19-31-agosto-2019.pdf>> Acesso em: 22 jul. 2022.

JAFARI, A.; ZARE D. Ultrasound-assisted fluidized bed drying of paddy: Energy consumption and rice quality aspects. **Drying Technology**, v. 35, n. 7, p. 893-902, 2017.

JAIBOON. Effects of fluidized bed drying temperature and tempering time on quality Of waxy rice. **Journal of Food Engineering**, v. 95, p. 517-524, 2009.

JIAMJARIYATAM, R.; KONGPENSOOK, V.; PRADIPASENA, P., Effects of amylose content, cooling rate and aging time on properties and characteristics of rice starch gels and puffed products. **Journal Cereal Science**, v. 61, p. 16-25, 2015.

JULIANO B.O. Production and utilization. **Rice Chemistry and Quality**, p. 1-17, Philippines, 2003.

KIM, S. Y. ; LEE, H. Effects of quality characteristics on milled rice produced under different milling conditions. **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry**, v. 55, n. 5, p. 643-649, 2012.

KOSTAROPOULOS E.; SARAVACOS G.D. Difusividade térmica de alimentos granulares e porosos com baixo teor de umidade. **Journal of Food Engineering**, v. 33, p. 101-109, 1997.

KUMAR, C.; KARIM, M. A.; JOARDDER, M. U. H. Intermittent drying of food products: A critical review. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 48-57, 2014.

KUNZE, O.R., Fissuring of the rice grain after heated air drying. **Transactions of the ASAE**, v. 22, n. 5, p. 1197-1207. 1981.

KUO, T. I. et al. - Identifying rice grains using image analysis and sparse-representation-based classification. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 716-725, 2016.

LANG, G. H. et al. Effects of drying temperature and long-term storage conditions on black rice phenolic compounds. **Food Chemistry**, v. 287, p. 197-204. 2019.

LANG, G. H. et al. Fluidized-bed drying of black rice grains: Impact on cooking properties, in vitro starch digestibility, and bioaccessibility of phenolic compounds. **Journal of Food Science**. v. 85, n. 6, 2020.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials, **Journal of Industrial & Engineering Chemistry**, v. 13, n. 5, p. 427-432. 1921.

LI, C. et al. Changes in moisture effective diffusivity and glass transition temperature of paddy during drying. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 128, p. 112-119, 2016.

LI, X. et al., Equilibrium moisture content and sorption isosteric heats of five wheat varieties in China. **Journal of Stored Products Research**, v. 47, n. 1, p. 39-47, 2011.

LIM, S. J. et al. Towards an integrated, resource-efficient rice mill complex. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 75, p. 41-51, 2013.

MADAMBA, P. S.; YABES, R. P. Determination of the optimum intermittent drying conditions for rough Rice (*Oryza sativa* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 38, n. 2, p.157-165, 2005.

MALDANER, V. et al. Effects of intermittent drying on physicochemical and morphological quality of rice and endosperm of milled brown rice. **Food Science and Technology**, v. 152, 2021.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Secretaria de Política Agrícola. Projeções do Agronegócio. Brasil 2019/20 a 2029/30 Projeções de Longo Prazo. 11ª edição. Ano 2020.

MARSHALL, W. E.; NORMAND, F. L.; GOYNES, W. R. Effects of lipid and protein removal on starch gelatinization in whole grain milled rice. **Cereal Chemistry**, v. 67, p. 458-463, 1990.

MATSUO, et al. Practical application of near-infrared spectroscopy for determining rice amylose content at grain elevator. **AZOJETE**, v. 14, p. 95-100, 2018.

MEDINA, M. B. et al. Fate and health risks assessment of some pesticides residues during industrial rice processing in Argentina. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 98, 2021.

MENDOZA, J. R. et al. Traditional maize post-harvest management practices amongst smallholder farmers in Guatemala. **Journal of Stored Products Research**, v. 71, p. 14-21, 2017.

MENEGHETTI, V. L. et al. Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1115-1120, 2012.

MENEZES, N. L. et al. Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 430-436, out./dez. 2012.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; AND YAPAR, Z. A new model for single layer drying. **Drying Technology**, n. 20, p. 1503-1513. 2002.

MINGOTTE, F.L.C.; HANASHIRO, R.K.; FILHO, D.F. Características físico-químicas do grão de cultivares de arroz em função da adubação nitrogenada. **Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2605-2618, 2012.

MISHARA, P. et al. Identifying the best rice physical form for non-destructive prediction of protein content utilising near-infrared spectroscopy to support digital phenotyping. **Infrared Physics and Technology**, v. 116, 2021.

MITTAL, S.; DUTTA, M. K.; ISSAC, A. Non-destructive image processing based system for assessment of rice quality and defects for classification according to inferred commercial value. *Measurement*, v. 148, 2019.

MOHAMMAD. On the Characteristics of Thin-Layer Drying Models for Intermittent Drying of Rough Rice. **Chemical Engineering Communications**, v. 202, p. 1024-1035, 2015.

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

MORTEZA, G. Study on Drying Kinetics of Paddy Rice: Intermittent Drying. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, v. 36, 2016.

MOTTA, W. A.; VILLELA, F. A.; ZIMMER, G. J. Adaptação do método contínuo de secagem para sementes de arroz. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 4, p.1019-1025, 1999.

NALDI M. C. et al. Efficiency issues of evolutionary k-means. *Applied Soft Computing* **11**: 1938-1952 (2011).

NAWAZ, M.A.; FUKAI, S.; BHANDARI, B., Effect of different cooking conditions on the pasting properties of flours of glutinous rice varieties from Lao People's Democratic Republic. **Journal Food Properties**, v. 19, p. 2026-2040, 2016.

OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p.181-189, 2006.

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

OTTONELLI, J. ; GRINGS, C. T. Produção de Arroz nas Microrregiões do Rio Grande do Sul. **Desenvolvimento em questão**, n. 40, p. 230 -257 , jul. 2017.

OVERHULT, D.G. et al., Drying Soybeans with Heated Air. *Transactions of the ASAE*, v. 16, p. 112-113. 1973.

PAGE, G. E. Factors influencing the maximum rate of air drying shelled corn in thin-layers, M.S. **tese de doutorado**, Purdue University, West Lafayette, Indiana. 1949.

PAIVA, F. F. et al. Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. **Food Chemistry**, v. 191, p. 105-112, 2016.

PAN, T. et al. Changes in kernel morphology and starch properties of high-amylose brown rice during the cooking process. **Food Hydrocolloids**, v. 66, p. 227–236. 2017.

PARK, C. E.; KIM, Y. S.; PARK, K. J.; KIM, B. K. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, v. 48, n. 1, p. 25-29, 2012.

PARK, K. J. et al. Seleção de secadores: fluxograma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 2, p. 179-202. 2007.

PASQUINI, C. et al. Near infrared spectroscopy: a mature analytical technique with new perspectives: a review. **Analytica Chimica**, v. 1026, p. 8-36, 2018.

PEREIRA, J. A. Cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002.

PEREIRA, J. C. A. et al. Continuous and Intermittent Drying of Rough Rice: Effects on Process Effective Time and Effective Mass Diffusivity. **Agriculture**, v. 10, n. 7, 2020.

PESKE S. T.; VILLELA, F.A. Secagem a alta velocidade. **Seed News**, Pelotas, n. 2, p. 22-26, 2008.

PETROV, V.; ZHDANOV A.; MAZEJ R. Aggregated complexes for rice grain processing. **Grain Products and Mixed Fodder's**, v. 20, Odessa -UK, 2020.

PINSON, S. R. M. et al. Novel QTLs affecting rice kernel fissure resistance discovered in the cultivar the cultivar 'Saber' augment those from 'Cybonnet'. **Crop Science**, v. 58, p. 1531-1541, 2018.

PRATIWI V. N. et al. Comparative study on resistant starch, amilose content and glycaemic index after precooked process in white rice. **Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 136, 2018.

PRIETTO, L. et al. Post-harvest operations and aflatoxin levels in rice (*Oryza sativa*). **Crop Protection**, v. 78, p. 172-177, 2015.

PURHAGEN, J. et al. PaddyCheck - An Instrument for Rice Quality Determination. **Instruments**. V. 2, n. 11, 2018.

RAMÓN, S. A. R.; GUTIÉRREZ, J. A. C.; SUÁREZ, J. P. R. Poder calorífico de la cascarilla de arroz usada como combustible em hornos de secado. **Mundo Fesc**, v. 8, n. 16, p. 72-76, 2018.

RAMOS, A. H. et al. Characteristics of Flour and Starch Isolated from Red Rice Subjected to Different Drying Conditions. **Starch**, v. 71, n. 7, 2019.

RESENDE, O. et al. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1 p. 17-28, 2008.

SAIDELLES, A. P. F. et al. Gestão de Resíduos Sólidos na Indústria de Beneficiamento de Arroz. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 5, n. 5, p. 904-916, 2012.

SALEH, A. S. M. et al. Brown Rice Versus White Rice: Nutritional Quality, Potential Health Benefits, Development of Food Products, and Preservation Technologies. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, p. 1070-1096, 2019.

SANDER, A.; KARDUM, J. P. Experimental validation of thin-layer drying models. **Chemical Engineering and Technology**, v. 32, n. 4, p. 590-599, 2009.

SCARIOT, M. A. et al. Effect of drying air temperature and storage on industrial and chemical quality of rice grains. **Journal of Stored Products Research**, v. 89, 2020.

SETYANINGSIH, W. Profile of phenolic compounds in Indonesian rice (*Oryza sativa*) varieties throughout post-harvest practices. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 54, p. 55-62, 2016.

SHARON, M.; PRIYA, E.P.; SUBHASHINI, S. Thin layer and deep bed drying basic theories and modelling: a review. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, v. 18, n. 1, p. 314-325, 2016.

SILVA, J. S. et al. Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas. In: SILVA, J. S. (Ed). **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa, MG: Aprenda fácil, 2008. cap. 17, p. 417-499.

SIMEONE, M. L. F. et al. Uso da Espectroscopia no Infravermelho Próximo e calibração multivariada para avaliar a composição química do milho. In: TIBOLA, C. S. et al. Espectroscopia no Infravermelho Próximo para avaliar indicadores de qualidade tecnológica e contaminantes em grãos. Brasília, DF: Embrapa, 2018, p. 51-62.

SINGH N. et al. Physicochemical, morphological, thermal, cooking and textural properties of chalky and translucent rice kernels. **Food Chemistry**, v. 82, n.3, p. 433-439, 2003.

SINGH, V. et al. Impact of volunteer rice infestation on yield and grain quality of rice. **Pest Management Science**, v. 73, p. 604-615, 2017.

SITTIPOD, S.; SHI, Y. Changes of starch during parboiling of rice kernels. **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 238-244, 2016.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre, RS: SOSBAI, 164p, 2012.

SOOMRO, S. A.; CHEN, K.; SOOMRO S. A. Mathematical Modelling and Optimisation of Low-Temperature Drying on Quality Aspects of Rough Rice. **Journal of Food Quality**, v. 2020, 2020.

SOPONRONNARIT S.; PRACHAYAWARAKORN S. Optimum strategy for fluidized bed paddy drying. **Dry Technology**, v. 12, n. 7, p. 1667-1686, 1994.

SRISANG, N.; CHUNGCHAROEN, T. Quality attributes of parboiled rice prepared with a parboiling process using a rotating sieve system. **Journal of Cereal Science**, v. 85, p. 286-294, 2019.

STORCK, C. R. **Variação na composição química em grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos**. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2004.

SUN Q. et al. White rice, brown rice, and risk of type 2 diabetes in US men and women. **Arch Intern Med**, v. 170, n. 11, p. 961-969, 2010.

SYAHARIZA, Z, A. et al. The importance of amylose and amylopectin fine structures for starch digestibility in cooked rice grains. **Food Chemistry**, v. 136, p. 742-749, 2013.

TAGHINEZHAD, E. et al. Parboiled Paddy Drying with Different Dryers: Thermodynamic and Quality Properties, Mathematical Modeling Using ANNs Assessment. **Foods**, v. 9, n. 1, 2020.

TANG Z. et al. Controlling rice leaf breaking force by temperature and moisture content to reduce breakage. **Agronomy**, v. 10, n. 5, 2020.

TEIXEIRA, L. P. et al., Determinação do Equilíbrio Higroscópico e do Calor Isostérico do Bagaço De Cana-De-Açúcar. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 555-566, 2015.

TEO, C. H. On the roles of protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. **Food Chemistry**, v. 69, p. 229-236, 2000.

THOMPSON, T.L. Mathematical Simulation of Corn Drying—A New Model. *Transaction of the ASAE*, v. 11, p. 582-586. 1968.

TIMM, N. S. et al. Infrared radiation drying of parboiled rice: Influence of temperature and grain bed depth in quality aspects. **Journal of food process engineering**, v. 43, 2020.

TONG, C. et al. Impact of postharvest operations on rice grain quality: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, p. 626-640, 2019.

TRAN, K.N. Completar. Accounting for the effect of degree of milling on rice protein extraction in an industrial setting. **Food Chemistry**, v. 253, p. 221-226, 2018.

TRINDADE, M. **Secagem de soja em camada espessa: Modelagem matemática e simulação numérica**, 102f. Dissertação de mestrado (Modelagem matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do RS, - UNIJUÍ, Ijuí -RS, 2013.

USDA. United States Department of Agriculture. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. Disponível em: <<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0722.pdf>>. Acesso em 23 de ago. 2022.

VENTURIN, A. C. Z.; SILVA, L. C. Modeling and simulation of paddy drying: a bibliometric analysis. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 1, 2018.

VERMA, L.R. et al. Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models. *Transactions of the ASAE*, v. 28, p. 296-301. 1985.

VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R. Qualidade tecnológica. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. **A cultura do arroz no Brasil**, v. 2, p. 869-900, 2006.

WALTER, M. et al. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, 2008.

WANG, P. et al. Effect of High Temperature Intermittent Drying on Rice Seed Viability and Vigor, **International journal of food engineering** , v. 13, n. 10, 2017.

WANG, Z. Effect of the degree of milling on the physicochemical properties, pasting properties and in vitro digestibility of Simiaomi rice. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 4, n. 2, p. 45-53, 2021.

WILLIAMS, P.C. et al. Implementation of near-infrared technology. In: WILLIAMS, P.C., NORRIS, K. Near-infrared technology in the agricultural and food industries. **American Association of Cereal Chemists Inc.**, St. Paul, Minnesota, p. 145-169. 2001.

WONGPORNCHAI, S. et al. Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.). **Food chemistry**, v. 87, n. 3, p. 407-414, 2004.

XU, F. et al. Effect of intermittent microwave drying on biophysical characteristics of rice, **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, 2017.

XU, Z. Polishing conditions in rice milling differentially affect the physicochemical properties of waxy, low- and high-amylose rice starch. *Journal of Cereal Science*, v. 99, 2021.

YADAV, B. K.; JINDAL, V. K. Changes in head rice yield and whiteness during milling of roughrice. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 113-121, 2008.

YAGCIOGLU, A. et al. Drying Characteristics of Laurel Leaves under Different Conditions. **International Congress on Agricultural Mechanization and Energy**, p. 565-569, Adana, 1999.

YALDIZ, O. et al. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes Osman Yaldiz, Can Ertekin and H.Ibrahim Uzun, **Energy**, vol. 26, n. 5, p. 457-465. 2001.

YU, X. et al., Endosperm Structure and Physicochemical Properties of Starches From Normal, Waxy, and Super-Sweet Maize. **International Journal of Food Properties**, v. 18, p. 2825-2839, 2015.

YUN, P. et al. Genetic mapping and confirmation of quantitative trait loci for grain chalkiness in rice. **Molecular Breeding**, v. 36, n. 162, 2016.

ZENG, D. L. et al. Rational design of high-yield and superior-quality rice. **Nature Plants**, v. 3, n. 17031, 2017.

ZHANG et al. Changes in the physicochemical properties and starch structures of rice grains upon pre-harvest sprouting. **Carbohydrate Polymers**, v. 234, 2020.

ZHENG, G.; SUN, L. Study on the drying characteristics of rice by microwave and hot air drying. **The Journal of Engineering**, p. 201-208, 2021.

ZHOU, X. et al. Effects of infrared radiation drying and heat pump drying combined with tempering on the quality of long-grain paddy rice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, p. 2448–2456, 2018.

ZHOU, Z. K. et al. Effect of ageing-induced changes in rice physicochemical properties on digestion behaviour following storage. **Journal of Stored Products Research**, v. 67, p. 13-18, 2016.

ZHOU, Z. et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, v. 35, p. 65-78, 2002.

ZHOU, Z. et al. Effect of storage temperature on rice thermal properties. **Food Research International**, v. 43, p. 709-715, 2010.

ZHU D. et al. The effects of field pre-harvest sprouting on the morphological structure and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) starch. **Food Chemistry**, v.278, p. 10-16., 2019.

ZIEGLER, V. et al. Changes in properties of starch isolated from whole rice grains with brown, black, and red pericarp after storage at different temperatures. **Food Chemistry**, v. 216, p. 194-200. 2017.

ZIEGLER, V.; PARAGINKI, R. T.; FERREIRA, C. D. Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality - A review. **Journal of Stored Products Research**, v. 91, 2021.