

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

**Vanessa Maldaner**

**EFEITOS CUMULATIVOS DA SECAGEM E DA INTERMITÊNCIA NA  
QUALIDADE FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DO ARROZ EM CASCA E  
INTEGRAL**

Santa Maria, RS  
2021

Vanessa Maldaner

**EFEITOS CUMULATIVOS DA SECAGEM E DA INTERMITÊNCIA NA  
QUALIDADE FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DO ARROZ EM CASCA E  
INTEGRAL**

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

Orientador: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

Santa Maria, RS  
2021

Maldaner, Vanessa

Efeitos cumulativos da secagem e da intermitência na qualidade física e físico-química do arroz em casca e integral / Vanessa Maldaner.- 2021.

66 p.; 30 cm

Orientador: Paulo Carteri Coradi

Coorientadora: Gizele Ingrid Gadotti

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2021

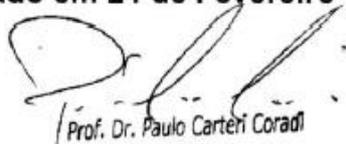
1. pós-colheita 2. arroz 3. secagem de grãos I.  
Carteri Coradi, Paulo II. Ingrid Gadotti, Gizele III.  
Título.

Vanessa Maldaner

## **EFEITOS CUMULATIVOS DA SECAGEM E DA INTERMITÊNCIA NA QUALIDADE FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DO ARROZ EM CASCA E INTEGRAL**

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

**Aprovado em 24 de Fevereiro de 2021:**



Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi  
UFSM Campus Cachoeira do Sul  
C.S.A.P.E. 1895/82

---

**Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi (UFSM-CS)**  
(Presidente/Orientador)



---

**Profa. Dra. Gizele Ingrid Gadotti**



---

**Profa. Dra. Maria Laura Gomes Silva da Luz**

Santa Maria, RS  
2021

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida e todas as oportunidades que ela me dá, por me guiar por todo o caminho.

Aos meus pais, Liane e Claudir Maldaner, meus maiores incentivadores, por nunca medirem esforços para me apoiar nessa jornada, pelo amor e carinho de toda a vida.

Ao meu irmão, Tiago Maldaner, por ser meu amigo de todas as horas, por ser meu apoio sempre que precisei.

Ao Rômulo Félix Nunes, pelo companheirismo e parceria, pela paciência e carinho dedicados à mim.

A Universidade Federal de Santa Maria e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela oportunidade de qualificação em uma instituição pública de qualidade.

Ao meu orientador, Professor Dr. Paulo Carteri Coradi, pelos ensinamentos dedicados, confiança, paciência e disponibilidade durante a orientação para que este trabalho pudesse ser elaborado, contribuindo para meu crescimento pessoal e profissional.

Aos membros da banca de defesa, pela disponibilidade e contribuições enriquecedoras à este trabalho.

Aos integrantes do Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS), em especial à Sabrina Dalla Corte Bellochio, Lanes Beatriz Acosta Jaques, Amanda Muller e Ítala Thaísa Padilha Dubal, por todo o auxílio prestado, pela amizade e compartilhamento de dúvidas, anseios e superações durante esta jornada.

Aos meus amigos, que muitas vezes mesmo à distância sofreram ou comemoraram comigo, nos piores e melhores momentos da vida.

Enfim, a todos aqueles, que de alguma forma, contribuíram para que essa etapa fosse concluída.

Meu sincero, muito obrigada!

## EPÍGRAFE

A persistência é o caminho do êxito.  
(Charles Chaplin)

## RESUMO

### EFEITOS CUMULATIVOS DA SECAGEM E DA INTERMITÊNCIA NA QUALIDADE FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DO ARROZ EM CASCA E INTEGRAL

AUTORA: Vanessa Maldaner

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

Considerando que o conhecimento dos efeitos da secagem intermitente sobre as propriedades físicas e físico-químicas de grãos de arroz é útil para o manejo apropriado da operação de secagem promovendo um produto final com qualidade, o presente trabalho teve como objetivos avaliar os efeitos cumulativos do tempo na secagem e na intermitência sobre a qualidade física do arroz em casca e sobre a qualidade física e físico-química do arroz beneficiado como integral. A secagem de arroz foi realizada em um secador intermitente em uma unidade de beneficiamento de grãos a nível de fazenda, com coleta de amostras a cada hora nas etapas de secagem e de intermitência. O arroz em casca foi avaliado através da qualidade fisiológica e o arroz beneficiado como integral pelas seguintes variáveis: qualidade industrial do beneficiamento, classificação física, espectroscopia do infravermelho próximo (NIR), difração de raios-X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia da energia dispersiva de raios-X (EDS) e análise estatística multivariada. Os resultados obtidos permitem afirmar que o processo de secagem influenciou na ocorrência de alterações de qualidade de grãos de arroz em casca e integral. As amostras com teor de água acima de 17% (b.u) nas primeiras horas da secagem, tiveram redução da qualidade fisiológica do arroz em casca, expressa pela germinação e vigor. O tempo final de secagem resultou em redução da renda e do rendimento de grãos inteiros e aumento de grãos quebrados e cascas durante o beneficiamento do arroz integral. Do mesmo modo, o tempo de secagem aumentou a ocorrência dos defeitos de grãos gessados, ardidos, verdes, vermelhos e teor de impurezas. Através da análise de espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) verificou-se redução dos componentes químicos: proteína, gordura e cinzas ao longo do tempo de secagem. A maior deformação de grãos com ruptura do pericarpo foi observada no final da secagem, com aumento da cristalinidade relativa. A etapa de intermitência foi a etapa que menos apresentou alterações na qualidade física e físico-química dos grãos.

**Palavras-chave:** Arroz integral. Tempo de secagem. Secador intermitente.

## ABSTRACT

### CUMULATIVE EFFECTS OF DRYING AND INTERMITTENCE ON THE PHYSICAL AND PHYSICOCHEMICAL QUALITY OF ROUGH AND BROWN RICE

AUTHOR: Vanessa Maldaner

ADVISOR: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

Considering that the knowledge of the effects of intermittent drying on the physical and physicochemical properties of rice grains is useful for the proper management of the drying operation, increasing quality to the final product, the objective of the present work was evaluate the time cumulative effects on drying and intermittence on the physical quality of rough rice and on the physical and physicochemical quality of the brown rice processing. The rice drying was carried out in an intermittent dryer in a grain processing unit at the farm scale, with sample collection each one hour in the drying and intermittency stages. Rough rice was evaluated by physiological quality and the brown rice by the following variables: industrial quality of processing, physical classification, near infrared spectroscopy (NIR), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS) and multivariate statistical analysis. The results obtained allow us to affirm that the drying process influenced the occurrence of changes in the quality of rough and brown rice grains. Samples with water content above 17% (w.b) in the first hours of drying decrease physiological quality of rough rice, expressed by germination and vigor tests. The final drying time resulted in decreased income and undamaged grain yield and increased broken grains and rice husks during brown rice processing. Likewise, the drying time increased the occurrence of defects as chalky, green and red grains as well impurity content. Through the analysis of near infrared spectroscopy (NIR) was verified a reduction in chemical components like proteins, fat and ash over the drying time. The greatest deformation of grains with pericarp rupture was observed at the end of drying, with an increase in relative crystallinity. The intermittency stage was the step that showed fewer changes in the physical and physicochemical grains quality.

**Keywords:** Brown rice. Drying time. Intermittent dryer.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das etapas de pré-processamento do arroz .....	19
Figura 2 - Esquema de secador intermitente.....	22
Figura 3 - Representação da movimentação da água durante a secagem .....	23
Figura 4 - Fluxograma do dos diferentes tipos de beneficiamento de arroz .....	24
Figura 5 - Detalhamento do secador intermitente do experimento .....	28
Figura 6 - Fluxograma das etapas de beneficiamento das amostras para obtenção de arroz integral.....	30
Figura 7 - 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) .....	35
Figura 8 - Qualidade do arroz em casca durante a secagem intermitente. Teor de água (A), germinação (B), vigor (C).....	38
Figura 9 - Análise multivariada da secagem dos grãos de arroz em casca. Componentes principais das etapas de intermitência e secagem (A), rede de correlação das etapas de intermitência e secagem (B), componentes principais da etapa de intermitência (C), rede de correlação da etapa de intermitência (D), componentes principais da etapa de secagem (E), rede de correlação da etapa de secagem (F). TA – Teor de água, CE – Condutividade elétrica, G – Germinação, V – Vigor, ME – Massa específica .....	39
Figura 10 - Efeitos da secagem intermitente no beneficiamento do arroz integral ...	43
Figura 11 - Efeitos da secagem intermitente na qualidade física do arroz integral...	46
Figura 12 - Efeitos da secagem intermitente na qualidade físico-química do arroz integral.....	49
Figura 13 - Heatmap utilizando a distância euclidiana para os tratamentos e as variáveis avaliadas em arroz integral. CS – Picados e manchados, PLAS – gessados, FAT – gordura, SAILOR – marinheiros, MOLDY – mofados, BURNING – ardidos, RED - vermelhos, HEALTHY – sadios, CF – fibra bruta, CP – proteína bruta, YIELD – rendimento, IN – renda, STARCH – amido, TW – peso total, ASHES – cinzas, WC – teor de água, BC – quebrados na classificação física, BP – quebrados no beneficiamento, GREEN – verdes .....	51
Figura 14 - Rede de correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas do arroz integral. CS – Picados e manchados, PLA – gessados, FAT – gordura, SAI – marinheiros, MOL – mofados, BUR – ardidos, RED - vermelhos, HEA – sadios, CF – fibra bruta, CP – proteína bruta, YIE – rendimento, IN – renda, STA – amido, TW – peso total, ASH – cinzas, WC – teor de água, BC – quebrados na classificação física, BP – quebrados no beneficiamento, GRE – verdes.....	52
Figura 15 - Difratogramas de raios-X das amostras de arroz integral. As letras A, B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem 1, 9 e 13, respectivamente .....	53
Figura 16 - Difratogramas de raios-X com diminuição de ruído das amostras de arroz integral. As letras A, B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem 1, 9 e 13, respectivamente .....	54
Figura 17 - Cristalinidade relativa. As letras A, B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem 1, 9 e 13, respectivamente.....	55

- Figura 18 - 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) ..... 56
- Figura 19 - Composição química de arroz integral em função dos processos dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem. As letras A, B e C indicam tempo de secagem inicial (zero a cinco horas), intermediário (cinco a dez horas) e final (dez a quatorze horas), respectivamente ..... 58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análises multivariadas através da distância Euclidiana média e o método de agrupamento k-means.....	33
Tabela 2 - Análise de variância da qualidade do arroz em casca na secagem .....	37
Tabela 3 - Análise de variância do beneficiamento do arroz integral .....	42
Tabela 4 - Análise de variância dos resultados da classificação física de arroz integral .....	44
Tabela 5 - Análise de variância da qualidade físico-química do arroz integral .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CS	Picados e manchados
PLA	Gessados
FAT	Gordura
SAI	Marinheiros
MOL	Mofados
BUR	Ardidos
RED	Vermelhos
HEA	Sadios
CF	Fibra bruta
CP	Proteína bruta
YIE	Rendimento
IN	Renda
STA	Amido
TW	Peso total
ASH	Cinzas
WC	Teor de água
BC	Quebrados na classificação física
BP	Quebrados no beneficiamento
GRE	Verdes

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	14
2.	OBJETIVOS .....	16
2.1.	Objetivo Geral .....	16
2.2.	Objetivos Específicos .....	16
2.3.	Hipóteses Científicas .....	16
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
3.1.	Produção e consumo do arroz .....	17
3.2.	Pós-colheita do arroz .....	18
3.3.	Secagem e qualidade do arroz em casca .....	20
3.4.	Beneficiamento e qualidade do arroz polido e integral .....	23
3.5.	Técnicas para análises de qualidade do arroz .....	25
4.	MATERIAL E MÉTODOS .....	27
4.1.	Local do experimento .....	27
4.2.	Delineamento experimental .....	27
4.3.	Secagem do arroz em casca e coleta das amostras .....	28
4.4.	Avaliação da qualidade do arroz em casca .....	29
4.5.	Beneficiamento do arroz .....	29
4.6.	Classificação física .....	31
4.7.	Caracterização da qualidade físico-química do arroz .....	31
4.8.	Análise por difração de raios-X (DRX) .....	32
4.9.	Análise de microscopia eletrônica de varredura .....	32
4.10.	Análises estatísticas .....	33
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
5.1.	Secagem do arroz em casca .....	35
5.2.	Qualidade do arroz em casca .....	37
5.3.	Qualidade do arroz integral .....	41
6.	CONCLUSÕES .....	60
7.	REFERÊNCIAS .....	61

## 1. INTRODUÇÃO

O arroz é o principal alimento para mais da metade da população mundial, sendo essencial para a nutrição humana como uma fonte de energia e segurança alimentar. O arroz polido representa a maioria do consumo, entretanto, é crescente o interesse do consumidor pelo arroz integral devido a melhor composição nutricional, que agrega maior concentração de proteínas, lipídeos, fibras, minerais e vitaminas.

Além da composição química, a qualidade física dos grãos define a destinação final do produto e o preço pago ao produtor. Alterações da qualidade física e físico-química podem ser influenciadas pelo manejo adotado nas operações de pós-colheita, como a secagem e o beneficiamento. Entretanto, essas etapas são fundamentais para garantir a preservação e disponibilidade do produto ao longo do tempo, através da diminuição da atividade biológica da massa de grãos.

Muitas técnicas de secagem são empregadas para produtos agrícolas, com a finalidade de reduzir o teor de água dos grãos até atingir níveis seguros para o armazenamento. A utilização da secagem intermitente para grãos de arroz faz com que a remoção da água ocorra de maneira mais branda. Apesar do aumento da temperatura e da velocidade do ar de secagem oferecerem menor resistência à remoção de água, aumentando a difusividade, o arroz é suscetível a altas temperaturas e choques térmicos.

Os parâmetros de secagem devem ser corretamente controlados durante todo o processo, principalmente o tempo e a temperatura, pois a utilização de técnicas de secagem inadequadas pode resultar em alterações indesejadas à qualidade dos grãos. O beneficiamento do arroz também pode ser afetado, com a ocorrência de rachaduras no endosperma do grãos, causadas durante e após o processo de secagem.

No processo de comercialização do arroz deve-se considerar as exigências específicas quanto à qualidade física do grão, expressa por renda no benefício, rendimento de inteiros, aspecto e dimensões dos grãos. A classificação de arroz segue os requisitos de qualidade, estabelecidos em legislação de acordo com os limites de tolerância dos percentuais de ocorrência de defeitos, conforme Brasil (2009).

As alterações superficiais podem ser facilmente detectadas, diferentemente dos danos internos, dos danos menores ou microdanos, que exigem exames detalhados para sua detecção. Para a verificação de alterações na qualidade dos grãos é necessário o desenvolvimento de técnicas rápidas e eficazes, assim como métodos de análises de dados.

Tendo em vista os problemas decorrentes da secagem do arroz, entende-se que é necessário o maior controle dos parâmetros de secagem nas etapas de intermitência e de secagem (tempo, temperatura do ar de secagem, temperatura e teor de água da massa de grãos, umidade relativa e fluxo de ar) e o conhecimento dos seus efeitos cumulativos sobre a qualidade dos grãos. Neste contexto, o uso de alternativas para realizar análises físicas e físico-químicas, como a metodologia de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), difração de raios-X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a técnica de análise estatística multivariada para análise de um grande banco de dados, são ferramentas que auxiliam na caracterização e identificação do grau dos danos nos grãos e na tomada de decisões gerenciais nos processos de pós-colheita.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

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

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Avaliar os efeitos cumulativos do tempo na secagem e intermitência sobre a qualidade física do arroz em casca através de análises estatísticas multivariadas, pelo método de agrupamento k-means e correlações de Pearson.
- Avaliar os efeitos cumulativos do tempo na secagem e intermitência sobre a qualidade física e físico-química do arroz integral, utilizando a técnica de espectroscopia no infravermelho próximo, microscopia eletrônica de varredura e análises estatísticas multivariadas, através do método de agrupamento k-means e correlações de Pearson.

### **2.3. Hipóteses Científicas**

- O tempo cumulativo na secagem e intermitência poderá influenciar na qualidade física dos grãos de arroz em casca.
- O tempo cumulativo na secagem e intermitência poderá influenciar na qualidade física e físico-química do arroz integral.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. PRODUÇÃO E CONSUMO DO ARROZ

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, produzido majoritariamente por países asiáticos, mas também é largamente produzido no sul do Brasil. Estima-se que a produção de arroz nos países do Mercosul na safra 2018/19 foi de 14,5 milhões de toneladas de arroz em casca, sendo o Brasil responsável por 75,71% da produção do bloco (CONAB, 2019). Deste número, o Rio Grande do Sul é o estado com maior representatividade, entretanto, segundo o IRGA (2019), a produção total teve uma redução de 14,4% em relação do ano anterior, principalmente devido a diminuição das áreas de produção.

Sendo consumido por 60% da população mundial, o arroz é um dos principais alimentos para a nutrição humana. Destaca-se pela sua importância nutricional como uma excelente fonte de energia devido ao alto teor de amido, que compõe cerca de 76 a 78% do endosperma, e também às altas concentrações de vitaminas e minerais (WALTER et al., 2008; SHU et al., 2014; DONLAO et al., 2018). As camadas externas apresentam as maiores concentrações de proteínas, lipídeos, fibras, minerais e vitaminas (WALTER et al., 2008)

O arroz é consumido em pouca quantidade como ingrediente em produtos processados, e o consumo, em sua maioria, é na forma de grãos cozidos e na seguinte ordem: arroz branco polido, parboilizado polido, parboilizado integral e arroz integral (PARAGINSKI et al., 2014). Apesar do arroz polido ser a forma mais consumida, o consumo do arroz integral vem aumentando, principalmente pela busca dos consumidores por alimentos saudáveis, pois o arroz integral é desprovido apenas da casca durante o processo de beneficiamento, o que lhe atribui maiores nutrientes quando comparado ao arroz polido.

É essencial que se tenha sistemas de produção de arroz eficientes, com obtenção de altos rendimentos e de alta qualidade dos grãos, contribuindo para solucionar o problema da falta de alimentos para a população global e a crescente demanda por uma alimentação de qualidade (CHEN et al., 2019). Minimizar as perdas de cereais na cadeia de abastecimento, pode ser um recurso eficiente para fortalecer a segurança alimentar, combate à fome, redução de áreas agrícolas e desenvolvimento rural (KUMAR e KALITA, 2017).

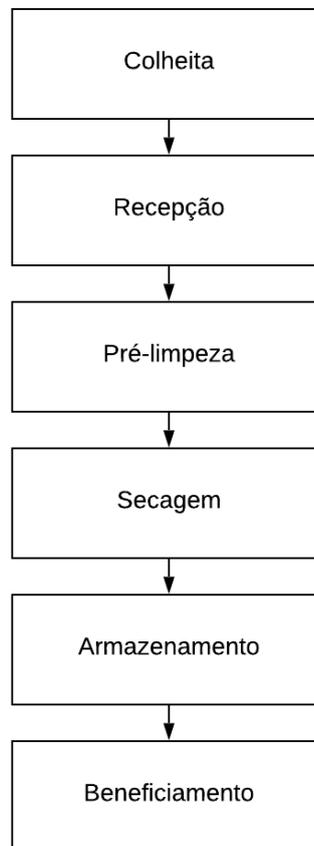
Para evitar perdas, é crucial dar a devida importância aos tratamentos de pós-colheita (SETYANINGSIH et al., 2016). Devido à sazonalidade da cultura do arroz, as etapas de pós-colheita são determinantes para que o cereal seja disponibilizado durante todo o ano (VENTURIN e SILVA, 2019). Para isso, os grãos devem ser mantidos íntegros e com qualidade até o consumo, porém, em geral, esse resultado é dificultado, devido principalmente aos processos aplicados na pós-colheita (PARK et al., 2012; CORADI e LEMES, 2019).

### 3.2. PÓS-COLHEITA DO ARROZ

Estima-se que nos países em desenvolvimento, cerca de um terço do total da produção de alimentos é desperdiçada, sendo a maioria perdida entre a colheita e o consumidor. Além das práticas culturais e condições ambientais, a pós-colheita envolvendo processos e operações, tais como a secagem, armazenamento e beneficiamento, é de grande importância e afeta diretamente a qualidade dos grãos. Durante essa movimentação, diversos fatores podem influenciar as perdas na etapa de pós-colheita, que considera as perdas físicas diretas e as perdas de qualidade, as quais são responsáveis por reduzir o valor econômico da produção, e ambas são uma ameaça vital para o abastecimento de alimentos. A produção de arroz pode chegar a ter valores de perdas de 37% no Sudeste Asiático e em torno de 15% em todo o mundo (KUMAR e KALITA, 2017; BRADFORD et al., 2018; MOHAMMADI-SHAD e ATUNGULU, 2019).

É importante entender a cadeia produtiva e suas etapas, para identificar os possíveis fatores que causam perdas de grãos. As causas das perdas podem ser variadas e complexas, mas destaca-se a ação das interações entre fatores abióticos e bióticos que podem relacionar-se com características físicas ou morfológicas do arroz. Os principais fatores abióticos que interagem com a qualidade do arroz são a temperatura e o teor de água da massa de grãos (DILLAHUNTY et al., 2001; KUMAR e KALITA, 2017). Ter um arroz de excelente qualidade exige o controle de todas as etapas do processo de produção, desde a correta recepção do grão nas unidades beneficiadoras até a armazenagem do produto, passando por uma série de procedimentos, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma das etapas de pré-processamento do arroz



Fonte: Autora.

A colheita do arroz é considerada a primeira etapa na cadeia de produção, geralmente realizada quando o grão atinge teores de água entre 18 e 25% (base úmida) (IGATHINATHANE et al., 2008; DONLAO et al., 2018). Em alguns países em desenvolvimento, a safra é colhida manualmente, utilizando ferramentas de corte manual, entretanto, em sua maioria a colheita é mecanizada nos países desenvolvidos, por meio do uso de colheitadeiras (KUMAR e KALITA, 2017).

A recepção do produto é feita a granel com o descarregamento na moega, onde ocorre a pesagem e a amostragem para verificação dos padrões de qualidade. O produto chega à recepção com alto teor de água e com a presença de impurezas, pois mesmo em colheitadeiras bem reguladas e com sistemas de limpeza não é possível filtrar todas as impurezas do material granular. O processo de pré-limpeza faz uma separação dos materiais estranhos para deixar o lote mais homogêneo, facilitando o processo de secagem.

Para o armazenamento, o ideal é secar o grão o mais rápido possível após a colheita, com a finalidade de reduzir o teor de água até atingir entre 9 e 14%, considerado um nível seguro de acordo com o tempo que o produto ficará estocado (INPRASIT e NOOMHORN, 2001; MADAMBA e YABES, 2005; DONLAO et al., 2018). Essa redução do teor de água é feita através da secagem, buscando minimizar as perdas qualitativas e quantitativas, associadas à proliferação de fungos e a atividade metabólica dos grãos. É importante controlar a umidade do grão, para que ele chegue às indústrias com teor adequado de água. Dependendo da quantidade de água no grão de arroz, pode acarretar estresse mecânico no interior do grão, favorecendo o aparecimento de trincas e quebras (IGATHINATHANE et al., 2008; RAMÓN, 2018).

Devido à sazonalidade da produção, mas a continuidade do consumo, uma grande quantidade de grãos de arroz deve ser seca e armazenada por um período prolongado. Armazenar a produção não só garante o fornecimento do produto para as indústrias de processamento e consumidores, como também assegura contra circunstâncias imprevisíveis, como falhas na colheita, adversidades climáticas ou necessidade de suprimentos em desastres (TONG, 2019).

### 3.3. SECAGEM E QUALIDADE DO ARROZ EM CASCA

A secagem de produtos agrícolas compreende o processo de redução do teor de água a níveis que permitam a preservação segura do produto, fazendo uso de técnicas econômicas de evaporação da água. Esse processo é considerado uma transferência simultânea de calor e massa entre o secador e o produto (DALPASQUALE et al., 2009, SANDER e KARDUM, 2009). A secagem do arroz é feita em casca e existem vários métodos utilizados, sendo que os dois mais comuns são a secagem natural e a secagem artificial.

A secagem natural ainda é utilizada em várias partes do mundo, principalmente em países em desenvolvimento onde é limitada a disponibilidade de instalações de unidades secadoras de grãos (BRADFORD et al., 2018). Nesse método, grãos de arroz são secos ao sol, espalhados em uma superfície plana até que o teor de água dos grãos atinja os valores esperados. A secagem em terreiros é feita empregando ar ambiente não forçado, sem aquecimento ou uso de ventiladores (SILVEIRA, 2012).

Embora os custos energéticos sejam muito baixos, o método de secagem natural exige muito trabalho, não é confiável e por ser muito dependente das

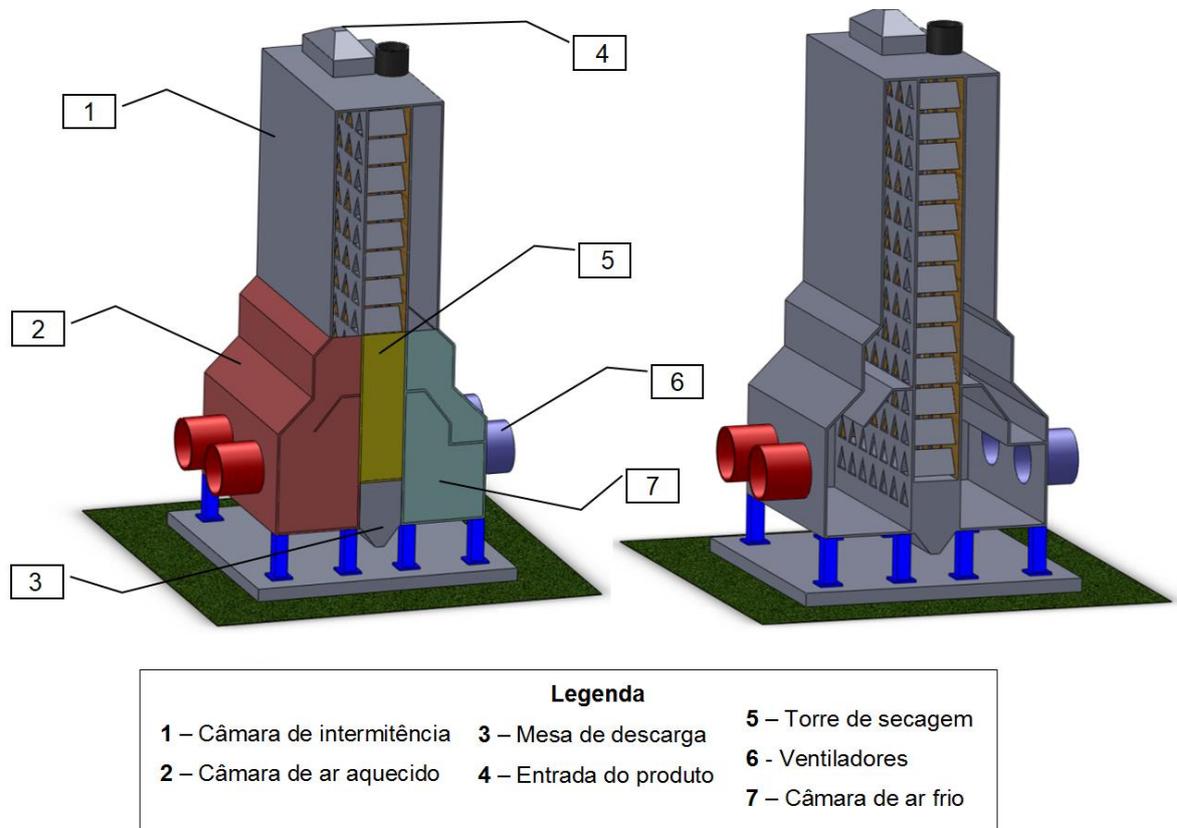
condições climáticas, pode ser novamente umedecido em casos de chuvas repentinas, prejudicando a qualidade do produto (ESPER e MUHLBAUER, 1998; MADAMBA e YABES, 2005). Do mesmo modo, em muitos locais e estações do ano nos trópicos, a umidade relativa do ar ambiente não é baixa o suficiente para que ocorra a secagem correta dos produtos agrícolas (MENDOZA et al., 2017).

A secagem artificial permite solucionar esses problemas, utilizando secadores mecânicos para remover a água, geralmente forçando a passagem de ar aquecido através da massa de grãos, ou também com a possibilidade de usar ar ambiente ou ar frio desumidificado. O emprego de ar com altas temperaturas é mais eficiente em relação ao tempo e custos de secagem, entretanto, pode incrementar a possibilidade de danificar o produto, como formação de fissuras e quebras dos grãos. Na secagem artificial há vários sistemas de secagem, como a secagem contínua, intermitente e estacionária. (DONLAO et al., 2018; GUIMARÃES et al., 2015).

A secagem do arroz normalmente é efetuada em secadores intermitentes, e em menor escala realizada em secadores contínuos. A secagem intermitente é uma operação amplamente utilizada para a secagem de materiais granulares, principalmente sensíveis ao calor como o arroz em casca. O ar fornecido nesse sistema tem suas propriedades (temperatura, velocidade, pressão ou umidade) variadas no tempo, contrariando as operações tradicionais que mantêm constantes as propriedades do ar na entrada do secador (DEFENDI et al., 2017; GHASEMI et al., 2017).

Na secagem intermitente o produto passa várias vezes pelo interior do secador, onde 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 (Figura 2) (SILVA et al., 2008; 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 (PESKE e VILLELA, 2008). Além disso, a taxa de remoção de água aumenta durante a etapa de secagem, reduz o tempo de secagem e de consumo de energia do secador, além de melhorar a qualidade final do produto. (DONG et al., 2010; KUMAR et al., 2014; GHASEMI et al., 2017).

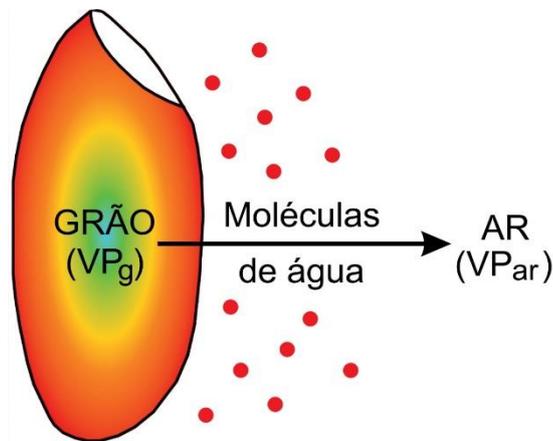
Figura 2 - Esquema de secador intermitente



Fonte: Autora.

Na intermitência, através da difusão da água, a umidade migra do centro para a periferia dos grãos, diminuindo o teor de água e evitando os danos por calor e degradação da qualidade, conforme demonstrado na Figura 3. Conforme Silva et al. (2008), a movimentação da água decorre da diferença de pressão de vapor d'água entre a superfície do grão e o ar que está em contato. Para que ocorra a secagem, a pressão de vapor na superfície do grão seja maior que a do ar de secagem. Ao igualar os valores de pressão de vapor do ar e do produto, ocorre o equilíbrio higroscópico.

Figura 3 - Representação da movimentação da água durante a secagem



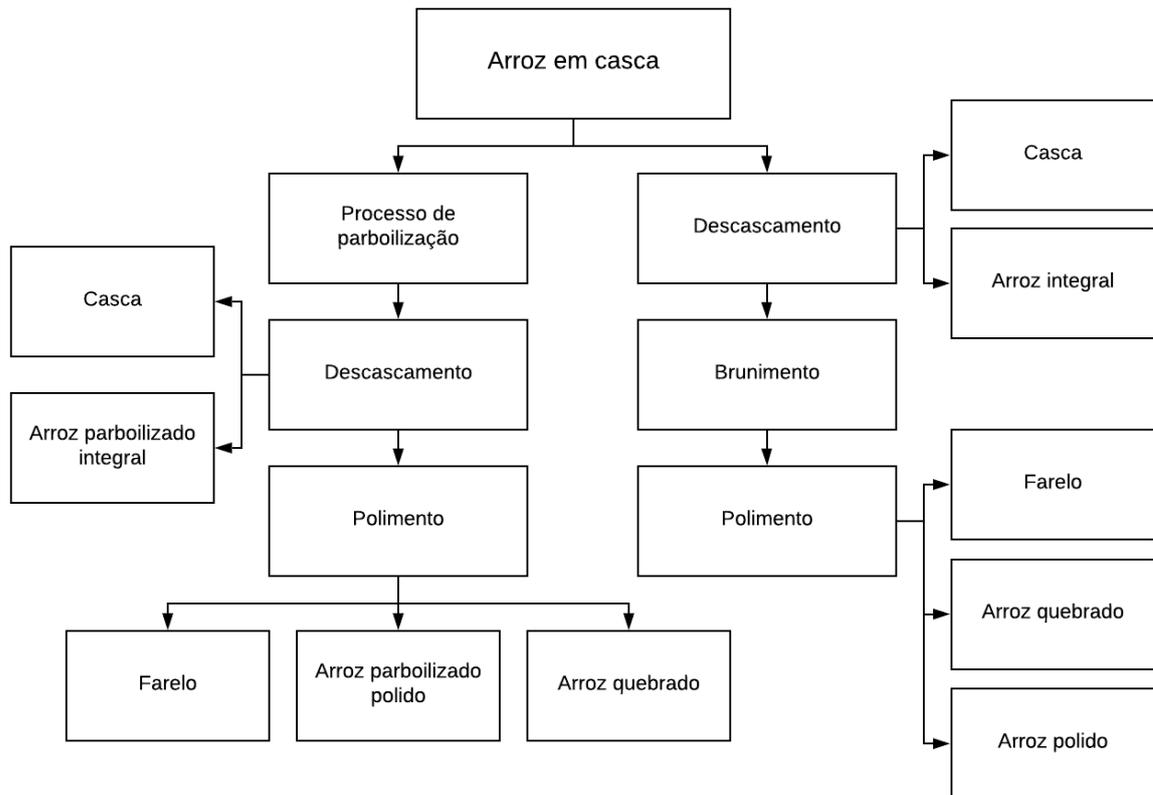
Fonte: Autora.

Deve-se evitar a remoção brusca da água da massa de grãos, devendo ser harmônica ao longo de todo o processo e a temperatura do ar de secagem não deve ultrapassar 110 °C, para evitar os danos térmicos e mecânicos (BARBOSA et al., 2005). Com isso, o sistema de secagem intermitente é o mais indicado e resulta em uma qualidade final superior do produto, porém, o movimento e o transporte da massa de grãos entre as câmaras, realizado por elevadores, não é o mais adequado quando se trata de danos mecânicos. Dentro deste contexto, torna-se relevante aperfeiçoar a eficiência e eficácia do método intermitente, buscando alternativas para otimizar o desempenho pelo aumento da velocidade de secagem e maximização da capacidade operacional, com a manutenção da qualidade fisiológica do produto.

#### 3.4. BENEFICIAMENTO E QUALIDADE DO ARROZ INTEGRAL

Os grãos inteiros de arroz podem ser classificados em três tipos, dependendo do beneficiamento resultando em arroz polido, parboilizado e integral. Conforme a Instrução Normativa nº 6/2009 (Brasil, 2009), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o arroz beneficiado é o produto que passou por algum processo de beneficiamento, conforme Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do dos diferentes tipos de beneficiamento de arroz



Fonte: Autora.

O beneficiamento na pós-colheita do arroz é feito para remover as camadas de casca e farelo, produzindo arroz branco e integral, isento de impurezas (GHASEMI et al., 2017). Ao fazer apenas a remoção da casca têm-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 retira-se o germe, o pericarpo e a maior parte da camada interna, o aleurona. Esse polimento reduz o teor de nutrientes, com exceção do amido, o que ocasiona diferenças na composição entre o arroz polido e o integral.

Outra forma de beneficiamento é o arroz parboilizado, produto que é submetido ao processo hidrotérmico de parboilização. Nesse processo, o arroz em casca é imerso em água com temperaturas superiores a 58 °C, seguido de gelatinização do amido e secagem. O grão de arroz possui variações na sua composição relacionadas ao beneficiamento e armazenamento, fazendo com que haja grãos com diferentes características (BRASIL, 2009; STORCK, 2004; WALTER et al., 2008).

Durante a pós-colheita, a qualidade física pode ser alterada, através do risco da ocorrência de lesões no tegumento de grãos toda vez que os mesmos passam por transportadores, elevadores e máquinas, onde ocorrem quedas, abrasões e impactos. Além das injúrias mecânicas serem suscetíveis à se tornarem pontos de infecção e desenvolvimento de patógenos, a quebra do grão ocorrida no beneficiamento é afetada principalmente por pequenas rachaduras no endosperma do grão causadas durante e após a secagem (LAN e KUNZE, 1996; DONG et al., 2010; GHASEMI et al., 2017).

O teor de água do arroz está diretamente ligado à qualidade do armazenamento e as características de beneficiamento (ALLAHGHOLIPOUR et al., 2006). Wongpornchai et al. (2004) evidenciam que o processo de pós-colheita, principalmente através do método de secagem e tempo de armazenamento, causa efeitos significativos no aroma e na qualidade do beneficiamento do arroz. 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, cor, propriedades de cozimento e qualidade culinária (INPRASIT e NOOMHORM, 2001).

### 3.5. TÉCNICAS PARA ANÁLISES DE QUALIDADE DO ARROZ

Para verificar como as práticas de pós-colheita afetam a qualidade e a deterioração dos produtos agrícolas, existe uma demanda por métodos rápidos e eficientes para gerar informações úteis e em grande quantidade de amostras. A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR - Near Infrared Spectroscopy) é um método eficiente para caracterização química e triagem de culturas agrícolas, despontando como alternativa aos métodos tradicionais para definir propriedades ou constituição de um determinado material de interesse (BAZONI et al., 2017). A técnica é considerada confiável e não requer preparação das amostras, ou apenas um preparo mínimo, com a finalidade de determinação dos principais compostos químicos de amostras agrícolas (WILLIAMS, 2001).

O uso do NIR tem como objetivo principal obter informações qualitativas ou quantitativas de uma amostra, por meio da interação das ondas eletromagnéticas do infravermelho com os constituintes da amostra. A radiação infravermelha é emitida sobre o material, líquido ou sólido, através do aparelho chamado espectrômetro e os

sensores captam as oscilações nas vibrações moleculares dos componentes químicos, o que gera uma assinatura espectral única (BALDIN et al., 2018).

Conforme Pasquini (2018), o infravermelho próximo corresponde à região posterior à do visível, compreendendo os comprimentos de onda de 750 a 2500 nm, com números de onda de 13300 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente. O NIR reflete principalmente a absorção de combinações de vibrações de grupos de hidrogênio, como ligações C-H, O-H e N-H (BAZONI et al., 2017; CHEN et al., 2019). Isso porque as ocorrências espectrais na região do infravermelho próximo provêm de ligações em que o hidrogênio participa, o que torna a técnica útil para a determinação de compostos orgânicos. Segundo Chen et al. (2019), a maioria dos componentes dos grãos de arroz, como amido, gordura, proteína e umidade, contém uma grande quantidade de grupos de hidrogênio que é absorvido pela espectroscopia.

O NIR já é uma ferramenta bem sucedida para caracterização de produtos agrícolas e de alimentos, usada por diversos autores na avaliação de qualidade de grãos como a soja (FERREIRA, 2013), o milho (MARTINS, 2017; TIBOLA et al., 2018), e o trigo (TIBOLA et al., 2018). Para a cultura do arroz, algumas aplicações da técnica NIR foram para determinação do teor de amilose do arroz para uso prático em elevador de grãos (MATSUO et al., 2018) e identificação de variedades de sementes de arroz (CHEN et al., 2019), no entanto, são poucas as referências que utilizaram a técnica do NIR como ferramenta de análise de qualidade.

As análises estatísticas multivariadas são utilizadas principalmente para analisar uma grande quantidade de dados, com destaque as análises espectrais. A análise de componentes principais é uma análise estatística multivariada aplicada para reduzir o conjunto original de preditores a um número reduzido sem negligenciar as informações (LUNA et al., 2013). A técnica pode ser aplicada como uma ferramenta exploratória e discriminante dos dados espectrais obtidos por espectroscopia do infravermelho próximo (BAZONI et al., 2017; CHEN et al., 2019).

A técnica de difração de raios-X consegue detectar as repetições ordenadas regulares das hélices de amilopectina, organizadas no interior dos grânulos de amido, refletindo a ordem tridimensional dos cristais de amido. Dessa forma, identificando as zonas cristalinas, é possível classificar os amidos através dos picos de difração de raios-X de acordo com suas propriedades físicas (DONNARD, 2004; WANG e COPELAND, 2013)

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado em uma unidade armazenadora de grãos a nível de fazenda no município de Cachoeira do Sul-RS. A colheita mecanizada de arroz foi realizada quando os grãos atingiram teor de água entre 24 e 20% (b.u.) (SOSBAI, 2016), seguindo imediatamente às operações de pré-limpeza e secagem e posterior armazenamento. As amostras de grãos de arroz coletadas foram analisadas no Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS) da Universidade Federal de Santa Maria-Campus Cachoeira do Sul, no Laboratório de Análises Químicas Industriais e Ambientais e na Central Analítica do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Maria e no Laboratório de Físico-Química do Centro de Pesquisa em Alimentos (CEPA) da Universidade de Passo Fundo.

### 4.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos analisados foram a secagem (temperatura média da massa de grãos de 41 °C, variando de 29 a 47 °C), a intermitência (temperatura média da massa de grãos 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), em uma temperatura média do ar de secagem de 107 °C (variando de 73 a 130 °C), em três repetições. Para cada tempo de secagem realizou-se uma amostragem dos grãos na etapa de secagem e na intermitência para avaliação da qualidade física do arroz em casca e a qualidade físico-química do arroz beneficiado integral, individualmente. Na segunda etapa do experimento, avaliou-se a secagem, a intermitência e o tempo de secagem (inicial-zero horas, intermediário-7 horas e final-14 horas) e o beneficiamento integral sobre os efeitos na qualidade física e físico química dos grãos de arroz.

#### 4.3. SECAGEM DO ARROZ EM CASCA E COLETA DAS AMOSTRAS

Após passar pelo processo de pré-limpeza em uma máquina de ar e peneiras, a secagem dos grãos de arroz em casca foi realizada em um secador intermitente em escala real de  $60 \text{ ton h}^{-1}$ , modelo Horbach, com ar aquecido por fornalha até a redução do teor de água de 11% (b.u.). O secador intermitente é composto basicamente por câmara de secagem, câmara de intermitência, sistema de descarga, de aquecimento e de ventilação, e elevador para realizar a intermitência. Nesse sistema, o produto não entra em contato constante com o fluxo de ar aquecido, mas somente em intervalos de tempo em que ocorre a passagem do produto na câmara de secagem. O tempo que o produto circula fora da câmara de secagem é a equalização (câmara de intermitência), onde ocorre a uniformização do teor de água dos grãos, que migra da parte interna para a superfície.

A coleta das amostras de grãos foi realizada a cada uma hora na câmara de intermitência e na câmara de secagem, conforme Figura 5. No decorrer das coletas das amostras foram obtidas as medidas de temperatura da massa de grãos utilizando um termômetro de mercúrio inserido na massa de grãos. As amostras foram armazenadas em embalagens para evitar a perda de umidade.

Figura 5 - Detalhamento do secador intermitente do experimento



Fonte: Autora.

Simultaneamente à coleta de amostras de grãos, foi realizada a medição da velocidade e temperatura do ar de secagem e de exaustão, medidas na entrada do ar

no secador e na saída do exaustor, respectivamente, com auxílio de um anemômetro de pás. A temperatura e umidade relativa do ar ambiente também foram medidas utilizando um termohigrômetro.

#### 4.4. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ARROZ EM CASCA

As amostras de arroz em casca coletadas foram submetidas a medições de teor de água, germinação, vigor, condutividade elétrica e massa específica aparente. O teor de água dos grãos foi determinado com auxílio de um medidor indireto por capacitância elétrica, em três repetições. A massa específica aparente das sementes foi determinada com auxílio de um Becker de 125 mL e uma balança de precisão, pela relação massa/volume (Brasil, 2009).

A avaliação da condutividade elétrica dos grãos foi determinada com três subamostras, cada uma contendo cinquenta sementes por unidade experimental, pesadas em uma balança de precisão de 0,001 g e colocadas em copos plásticos com 75 mL de água destilada, conduzidas a incubadora BOD a 25 °C, por vinte e quatro horas. A lixiviação de eletrólitos foi aferida na solução de imersão com auxílio de um condutímetro digital (VIEIRA E KRZYZANOWSKI, 1999).

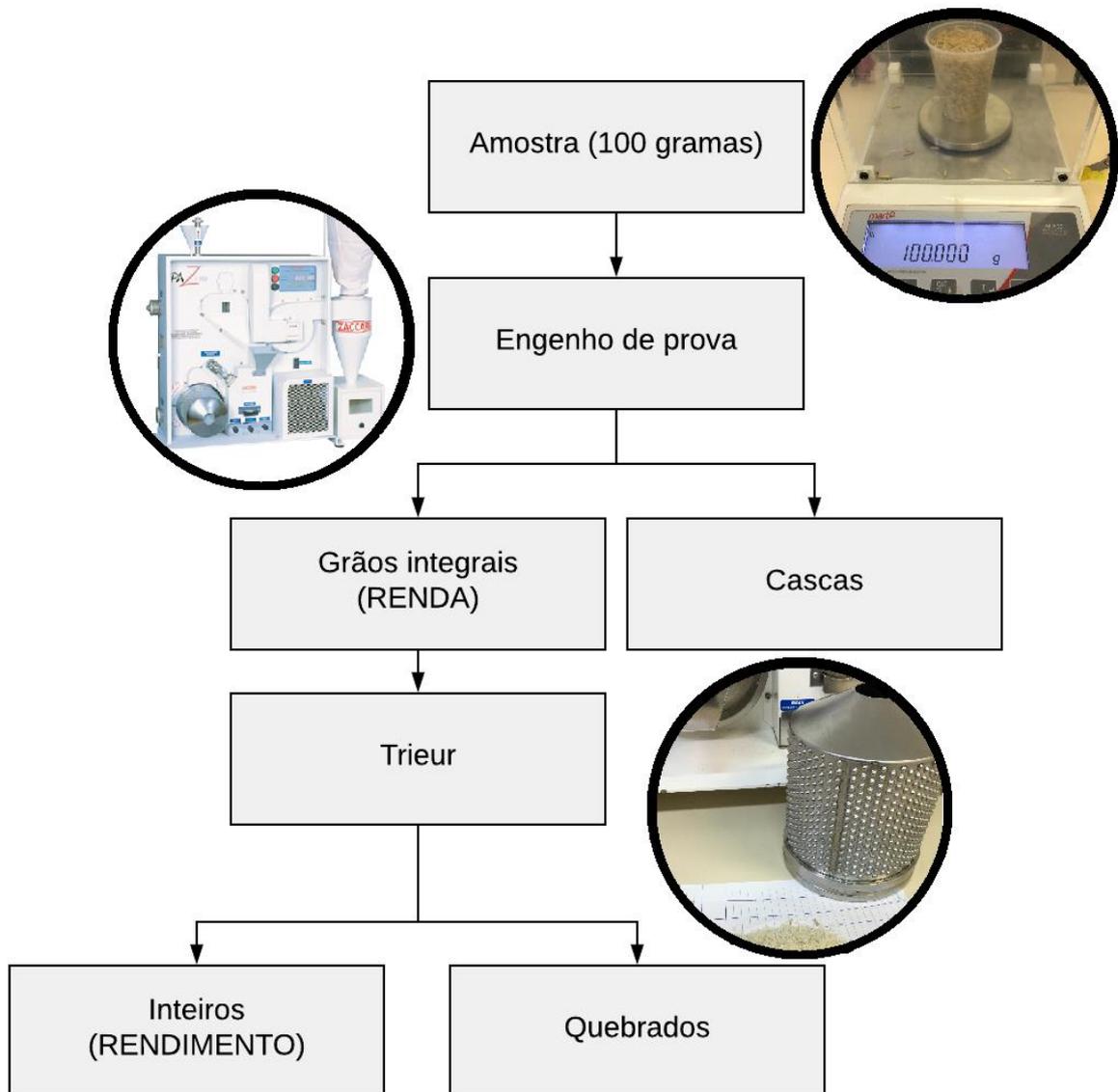
Para o teste de germinação distribuiu-se quatro subamostras de cinquenta sementes de cada unidade experimental em rolos de papel toalha tipo “Germitest”, umedecido com água destilada na proporção 2,5 vezes a massa do papel seco, em germinador tipo “Mangesdorf” regulado na temperatura de 25 °C ± 2 °C. As avaliações foram realizadas aos cinco dias após a instalação do teste através da contagem de plântulas normais, anormais e sementes mortas, segundo os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

#### 4.5. BENEFICIAMENTO DO ARROZ

O beneficiamento dos grãos foi realizado em um engenho de prova de arroz, marca ZACCARIA, modelo PAZ-1/DTA, regulado e manuseado de acordo com as recomendações técnicas de beneficiamento de arroz (BRASIL, 2009) e da 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 integral. No registro de descarga foram retirados os grãos integrais inteiros e quebrados, enquanto que as cascas foram removidas por um conjunto de ventilação e ciclone de ar. As amostras foram separadas, identificadas e armazenadas em sacos plásticos. A Figura 6 representa as etapas do processo de beneficiamento das amostras de grãos de arroz.

Figura 6 - Fluxograma das etapas de beneficiamento das amostras para obtenção de arroz integral



Fonte: Autora.

#### 4.6. CLASSIFICAÇÃO FÍSICA

Para a classificação dos grãos inteiros foi utilizado um cilindro separador por alvéolos de 5,5 mm. O cilindro separador ao girar com as amostras de grãos teve a função de deslocar por gravidade os grãos quebrados para a moega horizontal, enquanto que, os grãos inteiros permaneciam retidos nos alvéolos do cilindro, para posterior descarregamento.

As amostras beneficiadas foram pesadas em uma balança de precisão marca MARTE, modelo AD330, para posterior submissão a classificação manual do arroz integral. A classificação foi feita em uma bancada com papel cartonado sulfite de cor azul e com o auxílio de uma pinça, navalha de corte e de recipientes plásticos. Os grãos sadios foram separados dos grãos com defeitos, de acordo com a Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009).

Os defeitos nos grãos foram classificados conforme o regulamento técnico de classificação, que tem por objetivo definir o padrão oficial de classificação do arroz, considerando seus requisitos de identidade e qualidade dos grãos de arroz (BRASIL, 2009). Os defeitos avaliados nos grãos foram: ardidos, gessados, mofados, picados ou manchados, quebrados, verdes, vermelhos, impurezas, marinheiros e matéria estranha. A renda foi determinada pelo percentual de arroz beneficiado (grãos integrais) resultante do beneficiamento do arroz em casca, enquanto que, o rendimento dos grãos foi medido pelo percentual de grãos inteiros em relação aos grãos quebrados.

#### 4.7. CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO ARROZ

As amostras de grãos inteiros, isentos de defeitos, foram submetidos a análise de espectroscopia do infravermelho próximo (NIR), com a finalidade de determinação dos teores de proteína, amido, cinzas, fibras e gorduras. Os espectros das amostras foram adquiridos em um equipamento chamado espectrofotômetro da marca FOSS, modelo DS2500. Durante a avaliação, as amostras de grãos inteiros foram acondicionadas em um recipiente próprio do fabricante. O registro dos dados espectrais foi feito no modo reflectância, na faixa espectral de 400nm-2500nm. Os espectros foram obtidos em triplicata.

#### 4.8. ANÁLISE POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

Os difratogramas foram obtidos em um difratômetro de raios-X de pó da marca Rigaku, modelo Miniflex® 300, operando em modo Step, com Scan speed de 0,5s e Scan step de 0,03°, em ângulos de 5 a 100°. Este equipamento possui radiação de Cu K $\alpha$  ( $\lambda = 1,54184 \text{ \AA}$ ) e fonte de energia com 30 kV e 10 mA. O índice de cristalinidade ( $X_c$ ) foi determinado de acordo com o método proposto por Hulleman et al. (1999), através da Equação 1.

$$X_c = \frac{H_c}{(H_a + H_c)} \quad (1)$$

em que,

$H_c$ : altura de pico cristalino

$H_a$ : altura correspondente à fase amorfa

#### 4.9. ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

As análises de microscopia foram realizadas através de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo sigma 300 VP (Carl Zeiss, Inglaterra) com filamento de emissão por campo (FEG-Fiels Emission Gun) do tipo Schotky (filamento de tungstênio recoberto com óxido de zircônio), equipado com coluna Gemini (Zeiss, Inglaterra). As imagens foram obtidas com uso do detector secundário (SE2) no modo alto vácuo ( $1 \times 10^{-9}$  bar), energia de 1, 5 e 6 KV, distância de trabalho de 5 mm e acima de 35 mm, abertura de 15  $\mu\text{m}$  e ampliações (26X, 30X, 36X, 40X, 44X, 48X, 100X, 300X, 500X, 1000X, 2000X, 3000X e 5000X).

Para a avaliação da composição química das amostras, os espectros da energia dispersiva de raios-X (EDS) foram obtidos através de um detector de raios X EDS (modelo Quantax 200-Z10, Bruker, Alemanha) equipado com janela de quartzo de 10  $\text{mm}^2$  e software ESPRIT. As EDS foram obtidas com uso do detector secundário (SE2) no modo de pressão variável, que consiste na inserção de gás nitrogênio no compartimento da amostra, permitindo a variação da pressão parcial entre 1 e 133 Pa ( $1 \text{ Pa} = 1 \times 10^{-5} \text{ bar}$ ), distância de trabalho 8,5 mm, energia de 20 kV e abertura de 60  $\mu\text{m}$ .

#### 4.10. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos foram analisados pelo programa computacional Sisvar a 5% de probabilidade, posteriormente foi realizada uma análise de regressão e análise estatística multivariada (Tabela 1).

Tabela 1 - Análises multivariadas através da distância Euclidiana média e o método de agrupamento k-means

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

Para verificar a associação entre os tratamentos e as variáveis analisadas do arroz em casca, os dados foram submetidos à análise de componentes principais e correlações de Pearson, com auxílio do software RBio. Um biplot foi construído com os dois primeiros componentes principais devido à facilidade de interpretação desses resultados. 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, sendo as correlações positivas destacadas em verde, enquanto as correlações negativas foram representadas em escala de vermelho.

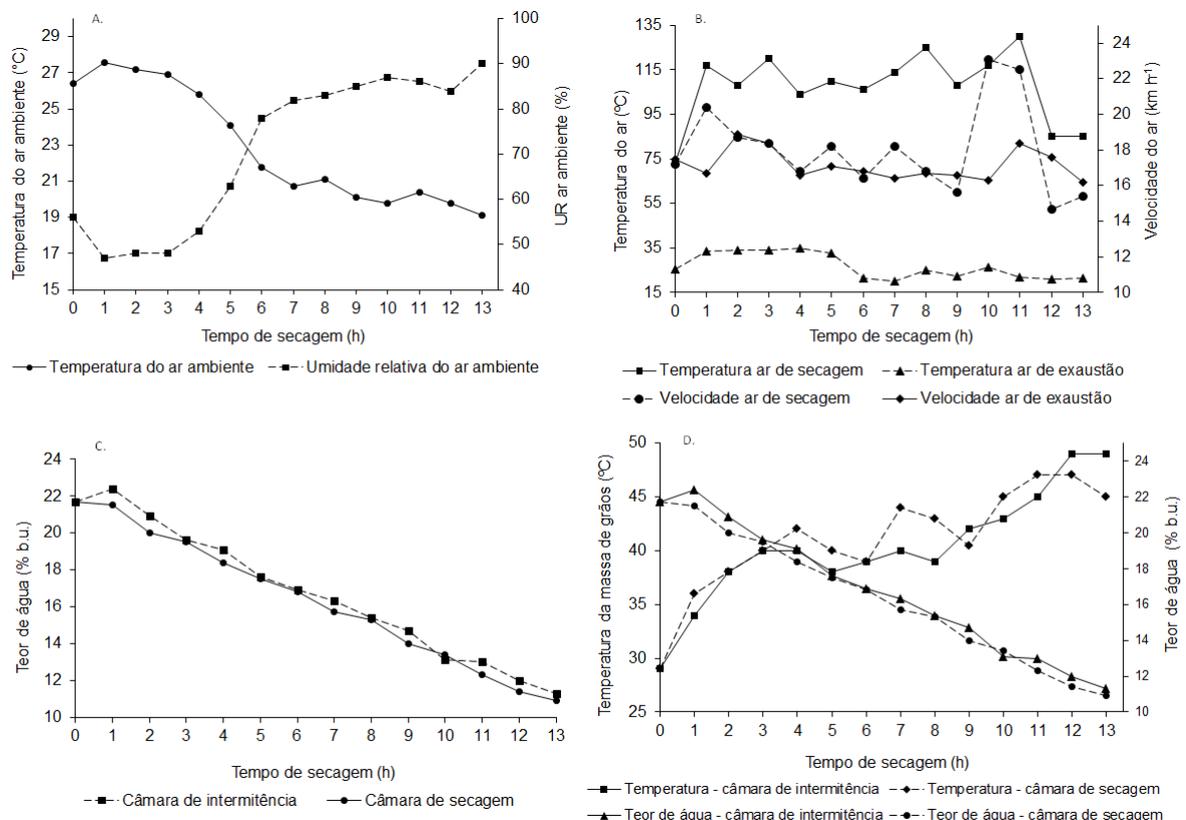
Para a avaliação da associação entre as variáveis da classificação física, do beneficiamento e da composição química do arroz integral, construiu-se um mapa de calor utilizando a distância Euclidiana média e o método de agrupamento k-means. Foram definidos dois clusters para utilizar o algoritmo k-means, que agrupa os tratamentos cujos centróides estão mais próximos até que não haja variação significativa na distância mínima de cada observação a cada centróide. Também foi feita a rede de correlações, onde 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. Essas análises foram realizadas com auxílio do pacote “ggfortify” do aplicativo gratuito R e seguiram os procedimentos recomendados por Naldi et al. (2011).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. SECAGEM DO ARROZ EM CASCA

Os resultados dos parâmetros físicos de temperatura e umidade relativa do ar ambiente, temperatura e velocidade do ar de secagem, temperatura da massa de grãos monitorados durante o processo de secagem intermitente e a curva de secagem são apresentados na Figura 7. A temperatura média do ar foi de 22,9 °C e umidade relativa do ar média de 70,1 %. A temperatura máxima atingida pela massa de grãos durante a secagem foi de 49° C. Após a secagem intermitente com duração de 14 horas, os grãos de arroz atingiram um teor de água de 10,9 % (b.u.).

Figura 7 - 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)



O processo de secagem visa a remoção do teor de água do arroz através da transferência de calor do ar para evaporar a umidade superficial dos grãos (Coradi et

al., 2016; Guimarães et al., 2015). Observa-se na Figura 7C as curvas de secagem com um comportamento linear do teor de água em função do tempo de secagem, com o aumento da taxa de secagem na câmara de secagem. Após o período de intermitência ocorre o aumento da taxa de secagem devido a redistribuição da água no interior do grão durante o período de repouso. De acordo com Franco et al. (2020), este processo se dá devido a migração da água do centro para a superfície, onde é mais facilmente removida. A transferência da água da superfície do grão para o ar acontece devido a diferença de pressão de vapor e depende da temperatura, da umidade, da vazão e direção do ar de secagem.

No início do processo de secagem, verificou-se um aumento significativo da temperatura do ar de secagem e da temperatura da massa de grãos (Figura 7B e 7D, respectivamente). Conforme Franco et al. (2020), quando o processo de secagem é iniciado, a quantidade de água contida na massa de grãos pode estar fortemente ligada à massa seca do produto, sendo de difícil remoção. Dessa forma torna-se necessário o aumento da temperatura do ar de secagem para reduzir a umidade relativa do ar que envolve os grãos e dar início ao processo de troca de vapor entre os grãos e o ar circundante. De acordo com Franco et al. (2019) para a remoção do teor de água inicial dos grãos, o processo de secagem intermitente é mais eficaz e viável utilizando altas temperaturas.

Ao final da secagem observou-se a redução da temperatura do ar. Entretanto, a temperatura da massa de grãos elevou-se durante a secagem até 49°C, acima dos limites recomendados de 41°C (SOSBAI, 2016). Conforme Meneghetti et al. (2012), o parâmetro operacional que mais indica danos térmicos ligados à secagem é a temperatura da massa de grãos. Uma maneira de evitar o excesso de temperatura poderia ser a antecedência da redução da temperatura de secagem. Para a secagem de soja, Defendi et al. (2017) observaram melhores resultados ao utilizar altas temperaturas no início da secagem e redução da temperatura ao longo do tempo.

O uso de alta velocidade do ar de secagem no início do processo, com maior teor de água na massa de grãos, pode fazer com que a migração da água cause os efeitos de compressão interna e de tração superficial, devido ao elevado gradiente de umidade entre o interior e a superfície do grão. Dessa forma, pode ser prejudicial à qualidade dos grãos, implicando em danos físicos no tegumento, cotilédones e eixo embrionário. Observa-se na Figura 7B o aumento da velocidade do ar de secagem ao final do tempo de secagem. Comparando com os efeitos da temperatura de secagem,

a velocidade do ar teve pouca influência sobre a redução da razão de umidade dos grãos, pois a medida que o processo de secagem acontece, a resistência interna à transferência de massa se torna o fator mais importante.

## 5.2. QUALIDADE DO ARROZ EM CASCA

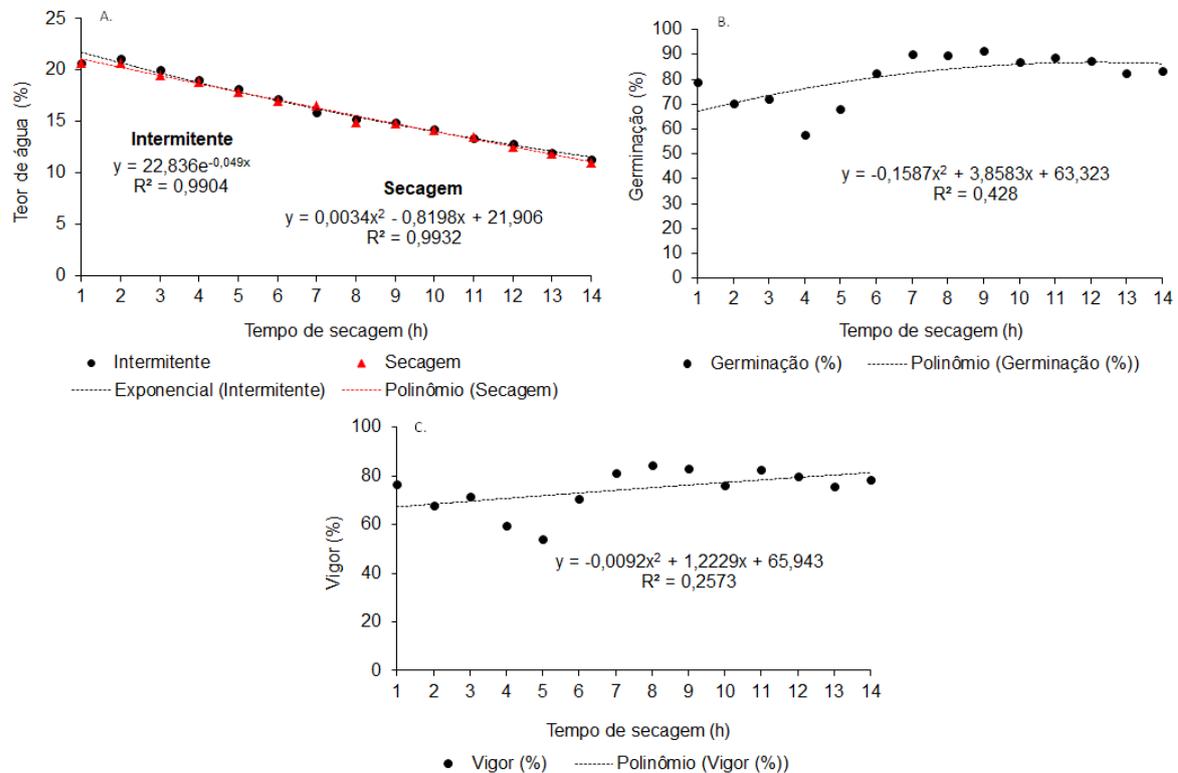
Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da qualidade do arroz em casca após passar pelo processo de secagem intermitente, enquanto que os resultados da regressão estão apresentados na Figura 8. De acordo com a análise de variância, para o arroz em casca, um efeito significativo ( $P < 0,05$ ) da interação entre etapa de secagem e tempo de secagem para a variável de teor de água foi verificado. O tempo de secagem foi o fator com diferenças significativas para a germinação e vigor. Não houve efeitos significativos dos fatores testados para a condutividade elétrica e massa específica aparente.

Tabela 2 - Análise de variância da qualidade do arroz em casca na secagem

FV	TA	G	V	CE	ME
ES	0,0026**	0,1711 <sup>ns</sup>	0,0001**	0,2494 <sup>ns</sup>	0,9566 <sup>ns</sup>
TS	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,1669 <sup>ns</sup>	0,6531 <sup>ns</sup>
ES*TS	0,0055**	0,1184 <sup>ns</sup>	0,5439 <sup>ns</sup>	0,1155 <sup>ns</sup>	0,3290 <sup>ns</sup>
CV (%)	1,36	11,69	11,26	14,32%	10,27%
Média Geral	16,08	80,76	74,45	16,50	548,82

FV – Fator de variação, ES – Etapa de secagem, TS – Tempo de secagem, TA – Teor de água, CE – Condutividade elétrica, ME – Massa específica, G – Germinação, V – Vigor. \*\*Significativo a 5% de probabilidade de erro ( $Pr < 0,05$ ), \*Significativo a 1% de probabilidade de erro ( $Pr < 0,01$ ), <sup>ns</sup>Não Significativo ( $Pr > 0,05$ ), <sup>ns</sup>Não Significativo ( $Pr > 0,01$ ).

Figura 8 - Qualidade do arroz em casca durante a secagem intermitente. Teor de água (A), germinação (B), vigor (C)



A diferença observada entre as etapas de secagem e intermitência para o teor de água (Figura 8A) é discreta, porém há tendência de aumento da taxa de secagem durante a permanência da massa de grãos na câmara de secagem. Isso ocorre devido o contato entre o ar aquecido e o produto, e dessa forma, há mais energia disponível para a vaporização da água, bem como o crescimento do coeficiente de transferência de massa.

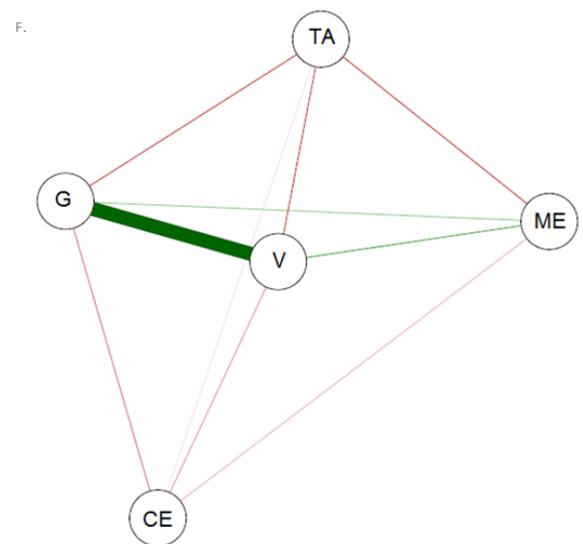
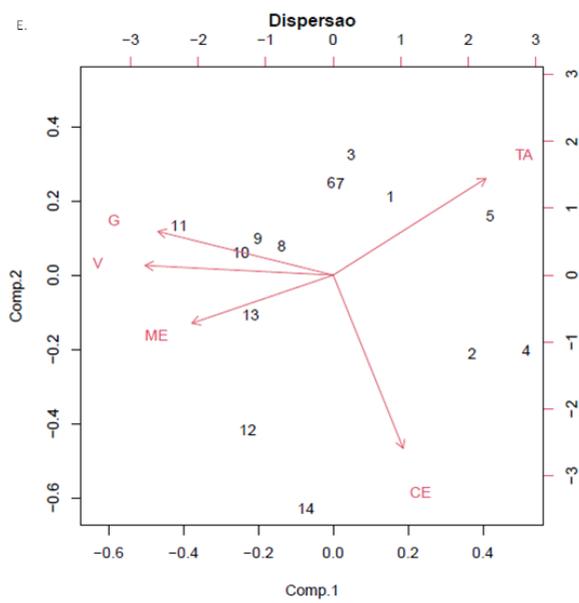
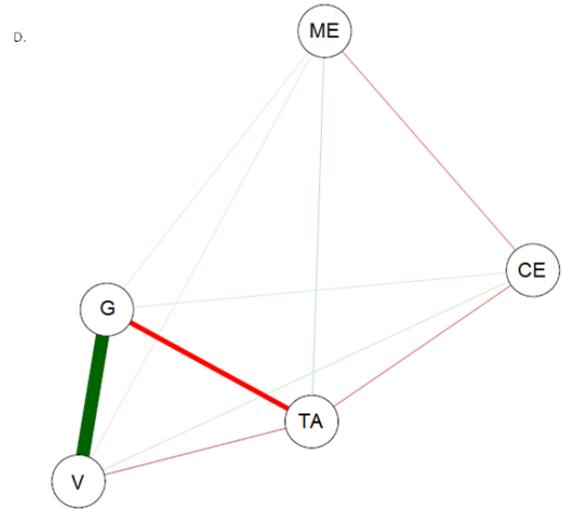
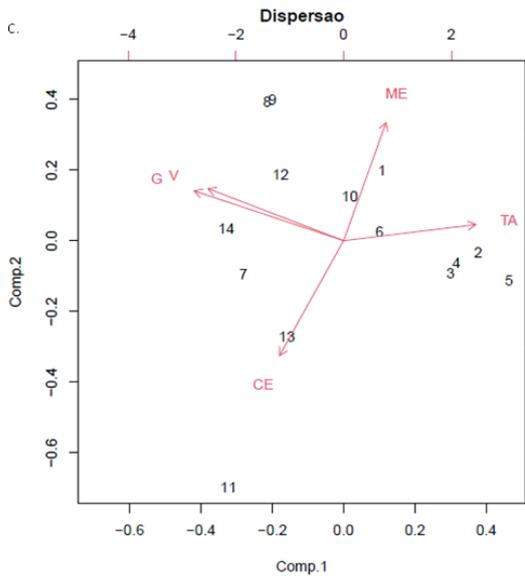
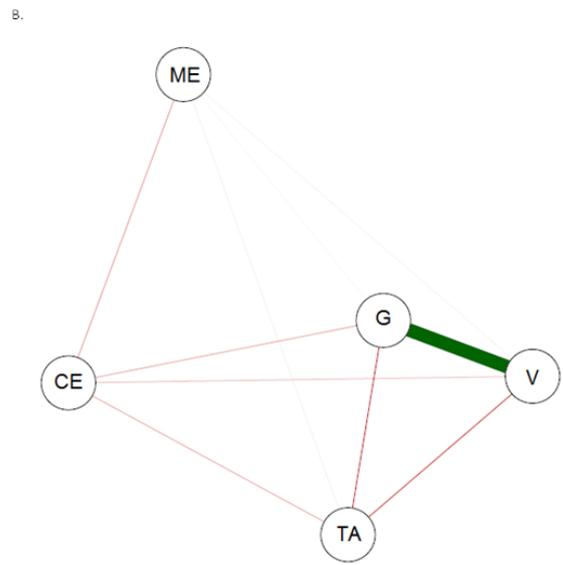
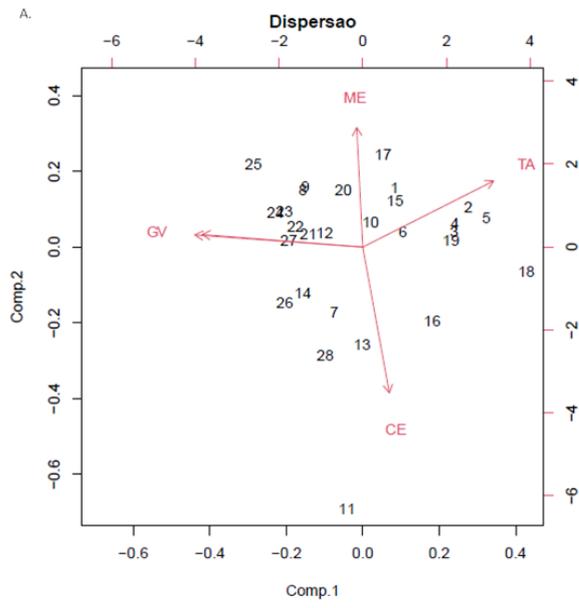
As melhores condições de germinação e vigor das sementes de arroz foram expressas no tempo intermediário de secagem, entre 7 e 12 horas. As horas iniciais e finais da secagem foram prejudiciais. Esse resultado pode ser atribuído ao alto teor de água presente no início da secagem e a alta temperatura empregada ao final do processo. Lopes e Macedo (2008) observaram que sementes de couve com teor de água de 8% corresponderam à maiores valores de percentagem e de velocidade de germinação, quando comparados a sementes com 16% de teor de água.

Altas temperaturas de secagem podem implicar na redução da velocidade de germinação e aumento de plântulas anormais. Para não afetar a qualidade fisiológica, é recomendado utilizar ar aquecido com temperaturas de até 70 à 80°C na secagem

intermitente (JUMAH et al., 2007; FRANCO et al., 2019). É pertinente observar que, dependendo do modelo do secador, é possível utilizar temperaturas superiores, mas sem causar aquecimento excessivo da massa de sementes em função do tempo de exposição.

A análise multivariada da qualidade de arroz em casca está apresentada na Figura 9. A análise de componentes principais da interação entre as etapas e tempos de secagem resultou em 45,76% da variância total no primeiro componente principal e 26,07% no segundo, acumulando 71,83%. A etapa de intermitência teve como resultado o primeiro componente principal que explica 49,28% da variância total e o segundo 25,56%, acumulando 74,84%. Para a etapa de secagem, o primeiro componente principal explica 55,96% da variância total e o segundo 21,78%, acumulando 77,75%.

Figura 9 - Análise multivariada da secagem dos grãos de arroz em casca. Componentes principais das etapas de intermitência e secagem (A), rede de correlação das etapas de intermitência e secagem (B), componentes principais da etapa de intermitência (C), rede de correlação da etapa de intermitência (D), componentes principais da etapa de secagem (E), rede de correlação da etapa de secagem (F). TA – Teor de água, CE – Condutividade elétrica, G – Germinação, V – Vigor, ME – Massa específica



Nos gráficos de componentes principais, as setas indicam as principais tendências nas correlações entre diferentes variáveis. Observa-se setas em direção oposta para o teor de água e as variáveis germinação e vigor, independente da etapa de secagem, e também direção oposta entre massa específica e condutividade elétrica, exceto para a etapa de secagem que mostrou direção ortogonal entre essas variáveis. A direção oposta refere-se a relação negativa entre as variáveis e na direção ortogonal as variáveis variaram independentemente.

Os melhores resultados são obtidos quando as variáveis originais são correlacionadas, positivamente ou negativamente. Nesse caso, um número grande de variáveis originais pode ser representados por duas componentes principais. Observa-se nos gráficos de análise de componentes principais que a germinação se agrupou com o vigor, indicando correlação positiva entre as variáveis. Esse resultado é confirmado com a análise da rede de correlações, onde as linhas verdes mais espessas correspondem à correlação positiva. No gráfico da rede de correlações da etapa de intermitência (Figura 9D) também destaca-se a correlação negativa (apontada pela linha vermelha de maior espessura) entre teor de água e germinação, anteriormente confirmado pelo gráfico de componentes principais. Esse resultado sugere uma relação direta entre germinação e vigor, que podem ser alterados de acordo com o teor de água.

O alto teor de água, presente nas horas iniciais da secagem, reduziu o potencial fisiológico das sementes. Apesar do tempo inicial reduzir a germinação e o vigor, não é adequado afirmar o contrário. Ao final da secagem, a temperatura da massa de grãos foi elevada e chegou a atingir 49°C. Não foi observado efeito prejudicial da temperatura na qualidade fisiológica, entretanto, segundo Lacerda et al. (2003), altas temperaturas podem não causar efeito imediato nos grãos, mas o efeito latente pode se manifestar ao longo do período de armazenamento. Ahrens et al. (2000) verificaram redução de germinação para sementes de aveia, com temperatura da massa de grãos de 41 à 51,3 °C, somente após seis meses de armazenamento.

### 5.3. QUALIDADE DO ARROZ INTEGRAL

A análise de variância do beneficiamento de arroz integral é apresentada na Tabela 3. Observa-se que a interação entre os fatores etapa e tempo de secagem não foi significativa a 5% de probabilidade. O fator tempo de secagem diferenciou-se

significativamente para todas as variáveis do beneficiamento e a etapa de secagem apenas não teve diferenças sobre a quantidade de grãos quebrados.

Tabela 3 - Análise de variância do beneficiamento do arroz integral

FV	C	Q	R	RD
ES	0,0186*	0,8189 <sup>ns</sup>	0,0186*	0,0002**
TS	0,0035**	0,0000**	0,0035**	0,0000**
ES*TS	0,3885 <sup>ns</sup>	0,2910 <sup>ns</sup>	0,3885 <sup>ns</sup>	0,2038 <sup>ns</sup>
CV (%)	6,32	19,79	1,53	0,99
Média Geral	19,48	3,28	80,51	77,21

FV – Fator de variação, ES – Etapa de secagem, TS – Tempo de secagem, C – Cascas, Q – Quebrado, R – Renda, RD – Rendimento, \*\*Significativo a 5% de probabilidade de erro (Pr< 0,05), \*Significativo a 1% de probabilidade de erro (Pr< 0,01), <sup>ns</sup>Não Significativo (Pr>0,05), <sup>ns</sup>Não Significativo (Pr>0,01).

Na Tabela 4 está apresentada a influência das etapas de secagem no beneficiamento, enquanto que os resultados de regressão estão apresentados na Figura 10.

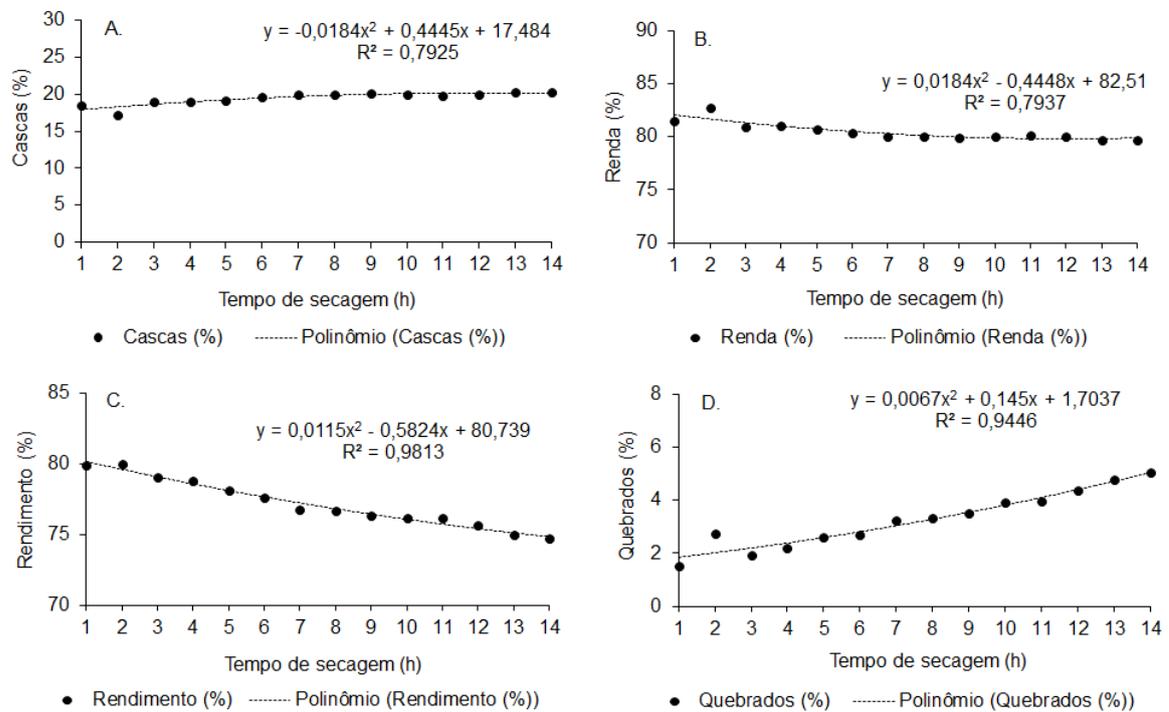
Tabela 4 - Resultados médios do beneficiamento de arroz integral para as diferentes etapas de secagem

FV	Cascas	Renda	Rendimento
Secagem	19,81 B	80,18 A	76,89 A
Intermitência	19,15 A	80,84 B	77,52 B

Médias seguidas pelas letras maiúsculas na coluna, diferem entre si a 5% de probabilidade entre as etapas de secagem

A etapa de intermitência destaca-se positivamente pela menor quantidade de cascas e maiores porcentagens de renda e rendimento de grãos. O aumento da velocidade de secagem, através do emprego de altas temperaturas, exerce maior influência sobre o aumento da quebra dos grãos de arroz do que a movimentação mecânica. Desse modo, os períodos de repouso entre os estágios de secagem sucessivos são necessários. Aquerreta et al. (2007), afirmam que a etapa de intermitência durante a secagem intermitente com altas temperaturas reduz a quantidade de grãos fissurados, observando melhores resultados com o aumento do tempo de duração da intermitência e ocorrência de aumento no índice de fissuração com uso de etapas de secagem mais longas.

Figura 10 - Efeitos da secagem intermitente no beneficiamento do arroz integral



Nota-se que o maior rendimento e renda de grãos foram observados no início da secagem. Verifica-se uma tendência de redução do rendimento de grãos com o aumento do tempo de secagem.

A avaliação da renda do beneficiamento (R) teve uma redução de 81,51 a 79,74% ao longo do tempo de secagem, sendo resultado da soma dos grãos inteiros e partidos após a retirada das camadas externas, como a casca no caso do beneficiamento integral. Conforme Tong et al. (2019), os constituintes externos, como cascas e farelo, são pouco afetados pela secagem.

O rendimento de inteiros (RD) e de grãos quebrados (Q) variaram de 79,92 a 74,69% e 1,54 a 5,04%, respectivamente. Esse resultado mostra que o tempo de secagem foi prejudicial na qualidade industrial dos grãos integrais. Entretanto, apesar do aumento de grãos quebrados, a média geral do rendimento de inteiros de 77,21% se aproxima ao resultado de 77% obtido por Scariot et al. (2020) para o arroz integral. Conforme Donlao et al. (2018), a maioria dos grãos quebrados durante o beneficiamento já apresenta fissuras anteriores ao processo, principalmente causadas pelo processo de secagem, chamados de danos térmicos.

A formação de trincas nos grãos ocorre devido às forças de tração e de compressão causadas pelo gradiente de umidade. De acordo com Iguaz et al. (2006), essas tensões dependem da taxa de secagem e da quantidade de água removida, as quais são diretamente influenciadas pela temperatura de secagem. Desse modo, o aumento da quebra de grãos nesse estudo, pode ser resultado das altas temperaturas às quais os grãos foram submetidos durante a secagem, que chegaram a atingir 130°C. Conforme Barbosa et al. (2005), ao longo de todo o processo a temperatura do ar de secagem não deve ultrapassar 110°C, para evitar os danos térmicos e mecânicos.

Os autores Donlao et al. (2018) conduziram um estudo com secagem ao sol e temperaturas de secagem variadas de 40, 65, 90 e 115°C, resultando no maior número de grãos fissurados para a condição de 115°C. A redução do rendimento de grãos inteiros e aumento da porcentagem de quebra também foi verificado por Akowuah et al. (2012) ao aumentar a temperatura do ar de secagem de 45 para 55°C. Da mesma forma, Scariot et al. (2020) utilizaram temperaturas de secagem de 55 e 65°C e concluíram que o aumento da temperatura afetou negativamente o rendimento de grãos inteiros para o beneficiamento de arroz polido e para o integral. Lang et al. (2018) constataram que com o aumento da temperatura do ar (40, 60, 80 e 100°C), reduz o rendimento de grãos inteiros obtidos.

Os resultados da análise de variância da classificação física das amostras de arroz integral submetidos a diferentes etapas e tempos de secagem estão apresentados na Tabela 5, enquanto que os resultados da regressão são apresentados na Figura 11. Pode-se observar que a interação entre os fatores (etapa e tempo de secagem) mostrou efeitos significativos com tendência de aumento para gessados, picados e manchados e impurezas e tendência de redução da quantidade de grãos sadios e marinheiros.

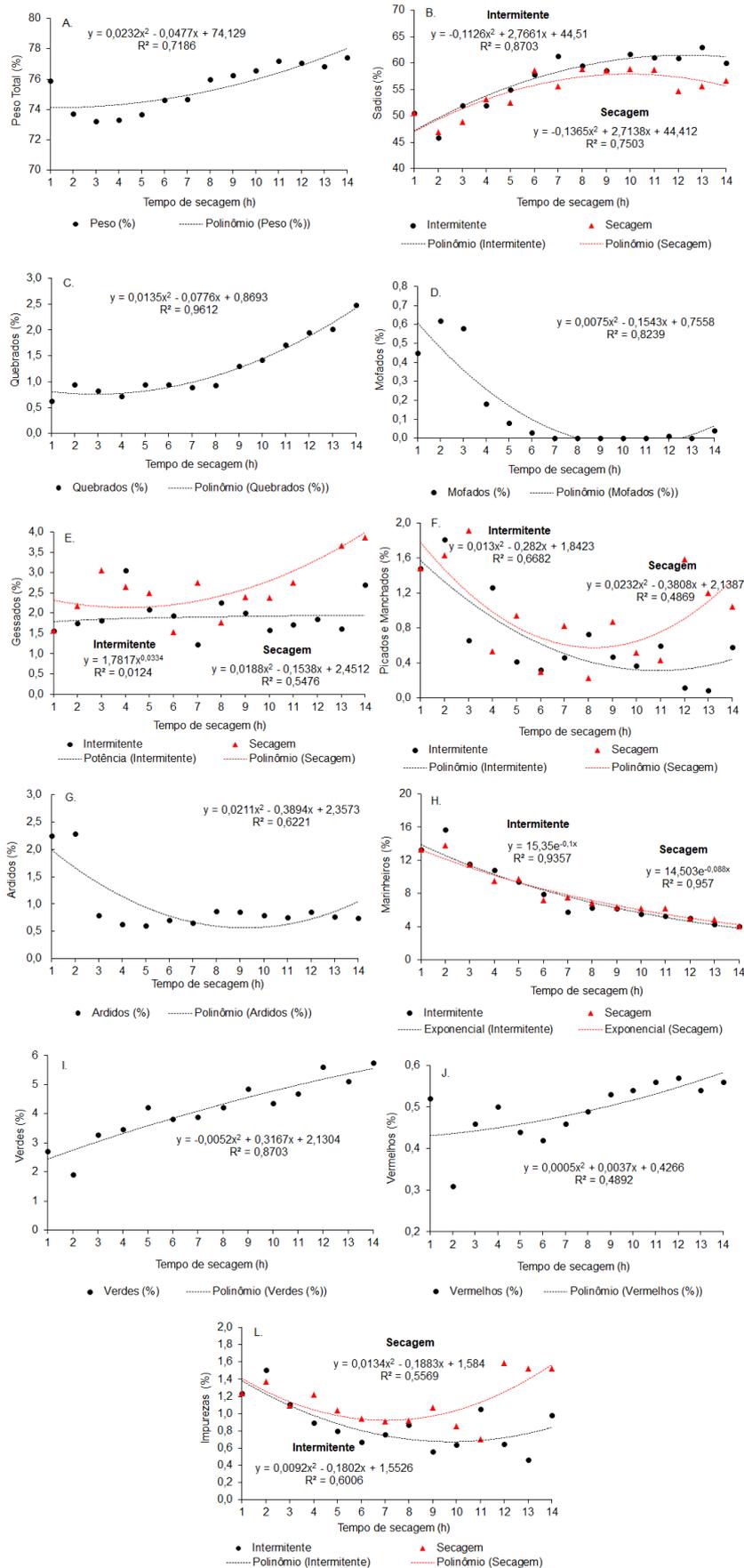
O fator tempo de secagem mostrou efeitos significativos para todas as variáveis da classificação física, com exceção da matéria estranha. A linha de tendência mostrou redução de ocorrência de grãos mofados ao decorrer do tempo de secagem, porém aumentou os defeitos de grãos quebrados, ardidos, verdes e vermelhos.

Tabela 5 - Análise de variância dos resultados da classificação física de arroz integral

FV	A	G	M	PM	Q	VE
ES	0,7334 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>**</sup>	0,6812 <sup>ns</sup>	0,0129 <sup>*</sup>	0,5021 <sup>ns</sup>	0,0014 <sup>**</sup>
TS	0,0000 <sup>**</sup>	0,0005 <sup>**</sup>	0,0000 <sup>**</sup>	0,0003 <sup>**</sup>	0,0000 <sup>**</sup>	0,0000 <sup>**</sup>
ES*TS	0,7003 <sup>ns</sup>	0,0033 <sup>**</sup>	0,9463 <sup>ns</sup>	0,0167 <sup>*</sup>	0,1764 <sup>ns</sup>	0,0512 <sup>ns</sup>
FV	VO	I	MR	ME	S	PT
ES	0,7348 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>**</sup>	0,6823 <sup>ns</sup>	0,1217 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>**</sup>	0,7925 <sup>ns</sup>
TS	0,0172 <sup>*</sup>	0,0002 <sup>**</sup>	0,0000 <sup>**</sup>	0,5709 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>**</sup>	0,0000 <sup>**</sup>
ES*TS	0,6021 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>**</sup>	0,0042 <sup>**</sup>	0,5709 <sup>ns</sup>	0,0154 <sup>*</sup>	0,3077 <sup>ns</sup>

FV – Fator de variação, ES – Etapa de secagem, TS – Tempo de secagem, A – Ardidos, G – Gessados, M – Mofados, PM – Picados e manchados, Q – Quebrados, VE – Verdes, VO – Vermelhos, I – Impurezas, MR – Marinheiros, ME – Matéria estranha, S – Sadios, PT – Peso total, <sup>\*\*</sup>Significativo a 5% de probabilidade de erro (Pr<0,05), <sup>\*</sup>Significativo a 1% de probabilidade de erro (Pr< 0,01), <sup>ns</sup>Não Significativo (Pr>0,05), <sup>ns</sup>Não Significativo (Pr>0,01).

Figura 11 - Efeitos da secagem intermitente na qualidade física do arroz integral



A ocorrência de grãos mofados reduziu com o tempo de secagem, demonstrando a importância da redução do teor de água até níveis seguros para o armazenamento. Os fungos são decorrentes do elevado teor de água presente nas amostras dos tempos iniciais de secagem, variando de 21,7 à 17,5% (bu). Além do mofo, uma secagem incompleta resultando em lotes de grãos com alto teor de água, também pode ser prejudicial contribuindo para o aumento do índice de quebrados (MINGOTTE et al., 2012). Grãos com teor de água acima de 15% dificultam o processo de beneficiamento e aumentam a quebra de grãos na etapa de remoção da casca.

Parte dos grãos quebrados encontrados na classificação física podem ser decorrentes de uma separação insuficiente no *trieur* durante o beneficiamento do arroz integral. Do mesmo modo, a abrasão aplicada ao grão durante o processo de retirada da casca pode causar a quebra de grãos, principalmente em grãos com a presença de trincas causadas previamente ao processo de beneficiamento. A secagem com a utilização de alta temperatura influencia no aumento significativo da porcentagem de grãos quebrados.

Tong et al. (2019) afirmam que as altas temperaturas promovem trincas, e os grãos fissurados são mais suscetíveis à quebra durante o processo de beneficiamento. De acordo com Scariot et al. (2020), grãos secos com menor temperatura (55°C) apresentam resultados melhores de classificação física do que secos à 65°C. Desse modo, não somente o processo de secagem é responsável pela quebra, mas também pode-se relacionar a quebra de grãos com o processo de remoção da casca durante o beneficiamento do arroz integral.

Ao longo do tempo de secagem observa-se aumento da ocorrência de defeitos, principalmente quanto ao teor de gessados, picados e manchados, impurezas, grãos verdes e vermelhos, sendo que a maior quantidade de grãos defeituosos foi encontrada durante a etapa de secagem. Sugere-se que alterações e desorganização da constituição física dos grãos possam ser causadas durante o processo de movimentação e remoção da água através da aplicação de altas temperaturas na secagem. Elevadas temperaturas podem agravar os defeitos nos grãos e os grãos defeituosos também são fatores de quebra consideráveis, alterando a qualidade final do beneficiamento.

A análise da qualidade físico-química do arroz integral, em função da etapa e tempo de secagem, está apresentada na Tabela 6. A análise de variância diferenciou-

se significativamente ( $P < 0,05$ ) para a etapa de secagem, tempo de secagem e para a interação entre os dois fatores para o teor de amido, proteína bruta, gordura, cinzas, fibra bruta e teor de água dos grãos.

Tabela 6 - Análise de variância da qualidade físico-química do arroz integral

FV	AM	PB	G	CZ	FB	TA
ES	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
TS	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
ES*TS	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
CV (%)	0,89	1,72	5,47	3,31	0,88	11,68
Média Geral	63,70	10,94	1,65	1,34	1,96	1,56

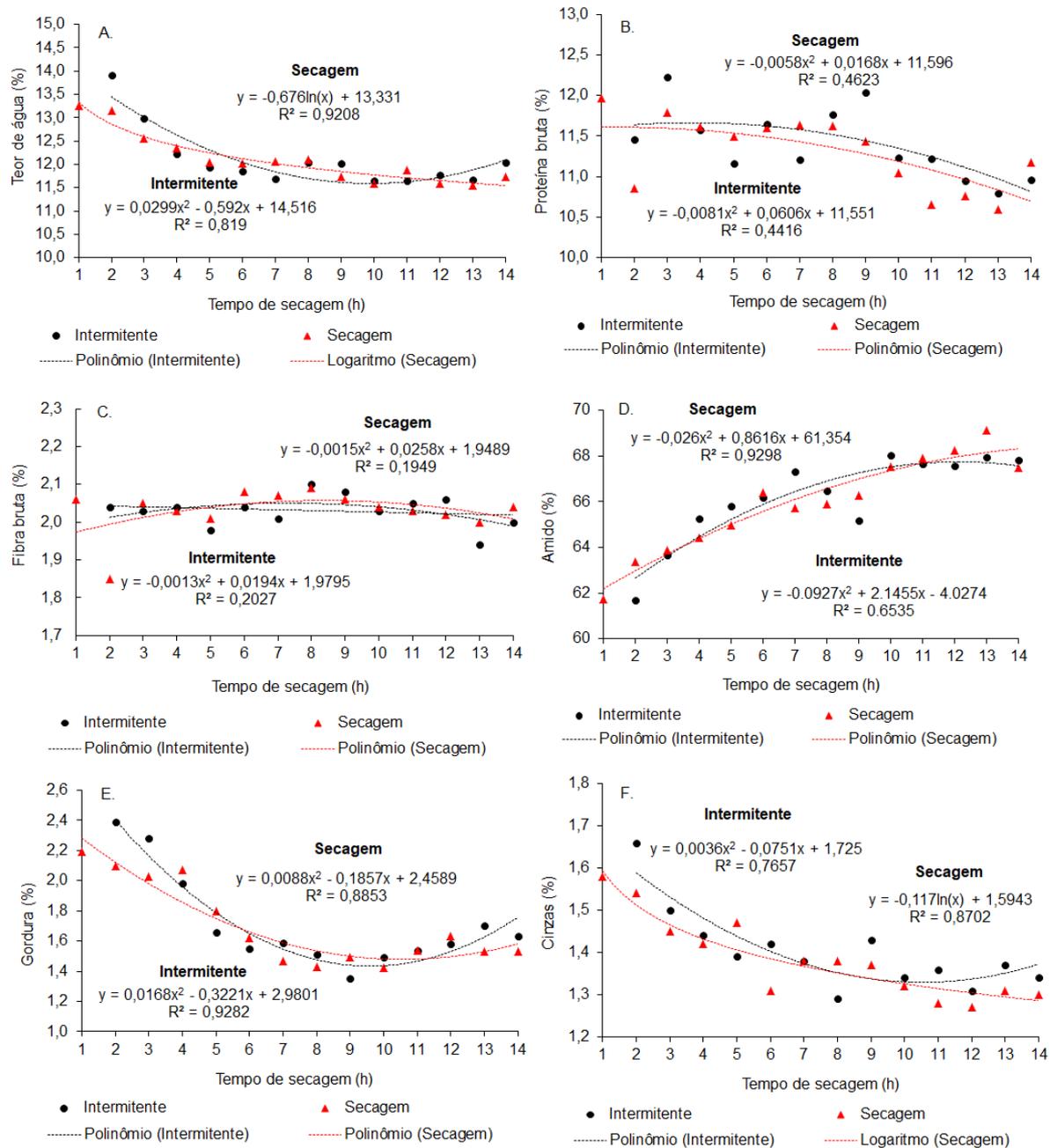
ES – Etapa de secagem, TS – Tempo de secagem, AM – Amido, PB – Proteína Bruta, G – Gordura, CZ – Cinzas, FB – Fibra Bruta, TA - Teor de água, \*\*Significativo a 5% de probabilidade de erro ( $Pr < 0,05$ ), \*Significativo a 1% de probabilidade de erro ( $Pr < 0,01$ ), <sup>ns</sup>Não Significativo ( $Pr > 0,05$ ), <sup>ns</sup>Não Significativo ( $Pr > 0,01$ ).

As médias encontradas dos componentes de grãos de arroz integral podem ser consideradas como alta eficácia da utilização da espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) para predição da qualidade. Os resultados podem ser comparados por Scariot et al. (2020), que analisaram a composição química de grãos de arroz integral utilizando os métodos de referência resultando em médias de 88,5% para carboidratos, 8,4% de proteína bruta, 1,0% de lipídeos, 1,25% de cinzas e 0,95% de fibra bruta.

A quantificação dos componentes através da espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) mostrou-se adequada em substituição aos métodos tradicionais eliminando as diversas dificuldades das análises, como para quantificação de proteína, onde o método tradicional Kjeldahl (AACC, 2000) requer muitas etapas, demanda tempo, consome muitos reagentes e gera uma grande quantidade de resíduos. A quantificação de lipídeos através da extração em Soxhlet (AOCS, 1996) tem como incômodo a quantidade de solventes e o longo tempo despendido nas análises. Já para o teor de água, o método da estufa necessita a permanência do equipamento ligado em média por 24 horas.

Os resultados da regressão da qualidade físico-química estão apresentados na Figura 12. As linhas de tendência mostram redução do teor de água, proteína bruta, gordura e cinzas ao longo do tempo de secagem, aumento do teor de amido e estabilidade do teor de fibras.

Figura 12 - Efeitos da secagem intermitente na qualidade físico-química do arroz integral



Avaliando os efeitos da secagem na qualidade físico-química dos grãos, o decorrer do tempo de secagem reduziu o teor de proteína bruta. Essa redução pode estar relacionada à redução do rendimento de grãos inteiros no beneficiamento do arroz integral. Isso porque os grãos de arroz possuem uma matriz proteica envolvendo cada um dos grânulos de amido, os quais em conjunto formam grânulos de amido composto. O teor de proteína nos grãos tem influência nas propriedades mecânicas e

consequentemente no rendimento de grãos inteiros, ou seja, quanto maior o conteúdo proteico nos grãos, maior é a resistência à abrasividade sofrida durante o beneficiamento, tendendo a redução da quebra de grãos (HOSENEY, 1991; SILVA et al., 2013, MULLER et al., 2020).

O teor de amido aumentou ao longo do tempo de secagem. Odunmbaku et al. (2018) investigaram os efeitos da temperatura do ar de secagem (60, 65 e 70°C) com tempo de secagem entre 30 e 180 minutos e relataram a ocorrência de variações nas propriedades do amido de sorgo, principalmente no aumento do teor de amilose, devido a mudanças estruturais, rompimento molecular e desintegração, modificação no tamanho das partículas, quebra de ligações e interações moleculares do amido submetido a maiores temperatura e tempo de secagem.

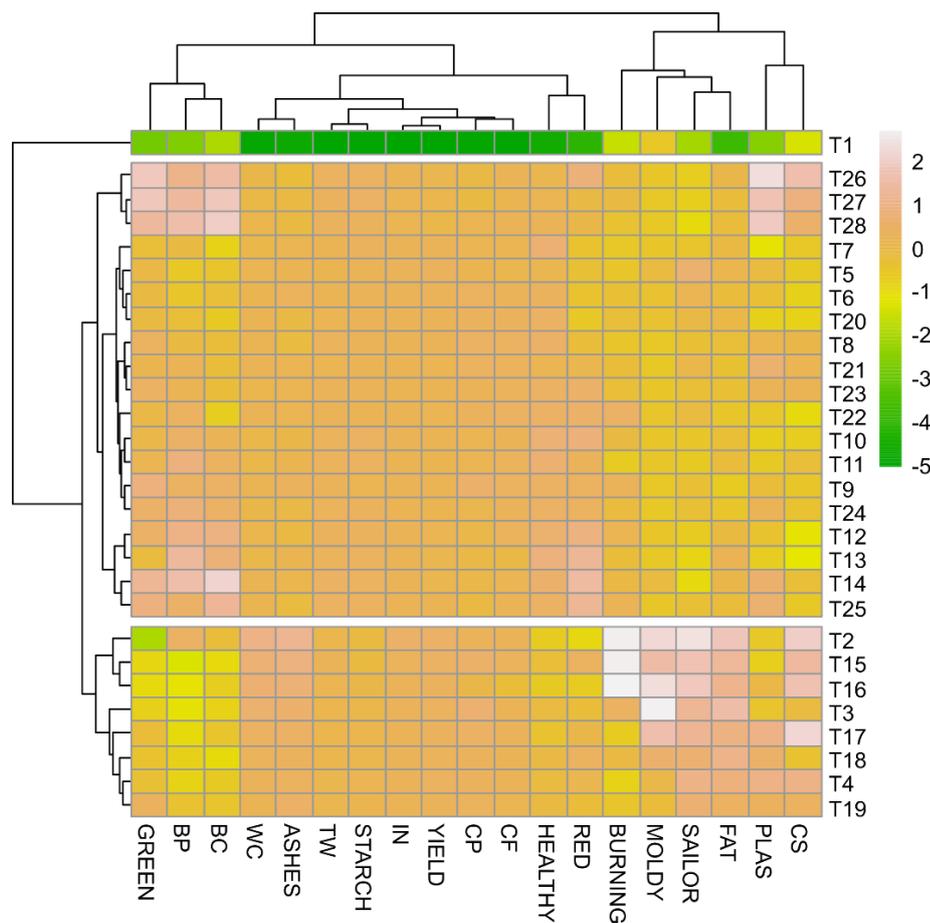
A principal forma de gordura presente no arroz são os lipídeos, que reduziram ao longo do tempo de secagem para ambas etapas de secagem, entretanto na câmara de secagem foram significativamente inferiores do que na etapa de intermitência. Esse resultado pode estar relacionado com a elevada temperatura na etapa de secagem, indo de encontro a Scariot et al. (2020), que observaram maior redução no teor de lipídeos com temperatura de secagem de 65°C quando comparada a temperatura de 55°C. Danos térmicos causados pela secagem com altas temperaturas, como rachaduras e danos à membrana celular, podem estar relacionados com o teor de lipídeos. De acordo com Zhou et al. (2002) em uma célula intacta os lipídeos dos grãos de arroz são estáveis, quando a membrana celular é danificada pode desencadear a hidrólise lipídica através da ação das lipases.

O teor de fibra bruta apresentou poucas variações durante a secagem e o teor de cinzas foi reduzido. Scariot et al. (2020), não encontraram alterações na composição química dos grãos integrais durante o armazenamento, independente da temperatura do ar de secagem. Entretanto, no mesmo estudo, observaram que o aumento da temperatura de secagem levou ao aumento do teor de cinzas para os grãos de arroz beneficiados como polido. Ao serem armazenados por 60 dias, sofreram também redução de proteína e aumento de fibras.

A Figura 13 apresenta o mapa de calor e demonstra a relação entre os tratamentos e as variáveis avaliadas do arroz integral. É possível observar que o tratamento T1 (Etapa de intermitência e tempo de secagem de 1 hora) foi o que proporcionou as menores médias para todas as variáveis avaliadas, constituindo um grupo isolado dos demais. O grupo 2 reuniu a maioria dos tratamentos avaliados,

sobretudo aqueles relacionados a maiores tempos de secagem. Esse grupo se caracterizou por apresentar as maiores médias para as variáveis peso total (TW), amido (STARCH), renda (IN), rendimento (YIELD), proteína bruta (CP), fibra bruta (CF) e sadios (HEALTHY). Para as demais variáveis os valores foram intermediários (tons amarelo). O terceiro grupo formado reuniu os tratamentos associados aos menores tempo de secagem, que se destacaram pelas maiores médias de mofados (MOLDY), marinheiros (SAILOR), gordura (FAT) e picados e manchados (CS).

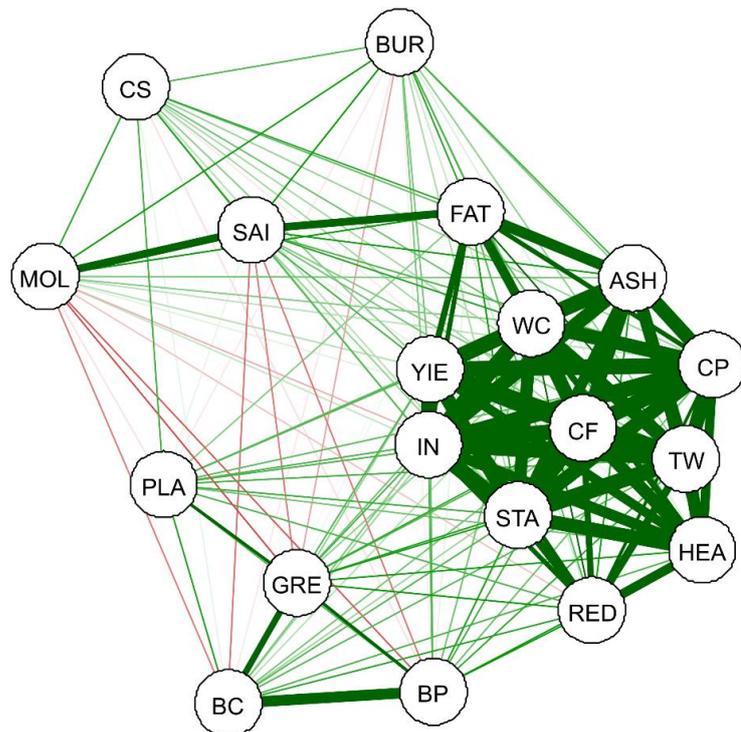
Figura 13 - Heatmap utilizando a distância euclidiana para os tratamentos e as variáveis avaliadas em arroz integral. CS – Picados e manchados, PLAS – gessados, FAT – gordura, SAILOR – marinheiros, MOLDY – mofados, BURNING – ardidos, RED - vermelhos, HEALTHY – sadios, CF – fibra bruta, CP – proteína bruta, YIELD – rendimento, IN – renda, STARCH – amido, TW – peso total, ASHES – cinzas, WC – teor de água, BC – quebrados na classificação física, BP – quebrados no beneficiamento, GREEN – verdes



As correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas estão contidas na Figura 14. Nota-se um grupo no lado direito de variáveis altamente correlacionadas

entre si e de forma positiva composto por gordura (FAT), rendimento (YIE), renda (IN), amido (STA), vermelhos (RED), sadios (HEA), peso total (TW), proteína bruta (CP), cinzas (ASH), teor de água (WC) e fibra bruta (CF). Outras associações positivas e de alta magnitude (linhas com maior espessura) identificadas foram marinheiros e mofados (SAI x MOL), verdes e quebrados na classificação física (GRE x BC) e quebrados na classificação física e quebrados no beneficiamento (BC x BP).

Figura 14 - Rede de correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas do arroz integral. CS – Picados e manchados, PLA – gessados, FAT – gordura, SAI – marinheiros, MOL – mofados, BUR – ardidos, RED - vermelhos, HEA – sadios, CF – fibra bruta, CP – proteína bruta, YIE – rendimento, IN – renda, STA – amido, TW – peso total, ASH – cinzas, WC – teor de água, BC – quebrados na classificação física, BP – quebrados no beneficiamento, GRE – verdes



Os padrões de difração de raios-X obtidos a partir de amostras de arroz integral estão apresentados na Figura 15 e 16 e a cristalinidade relativa na Figura 17.

Figura 15 - Difratogramas de raios-X das amostras de arroz integral. As letras A, B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem 1, 9 e 13, respectivamente

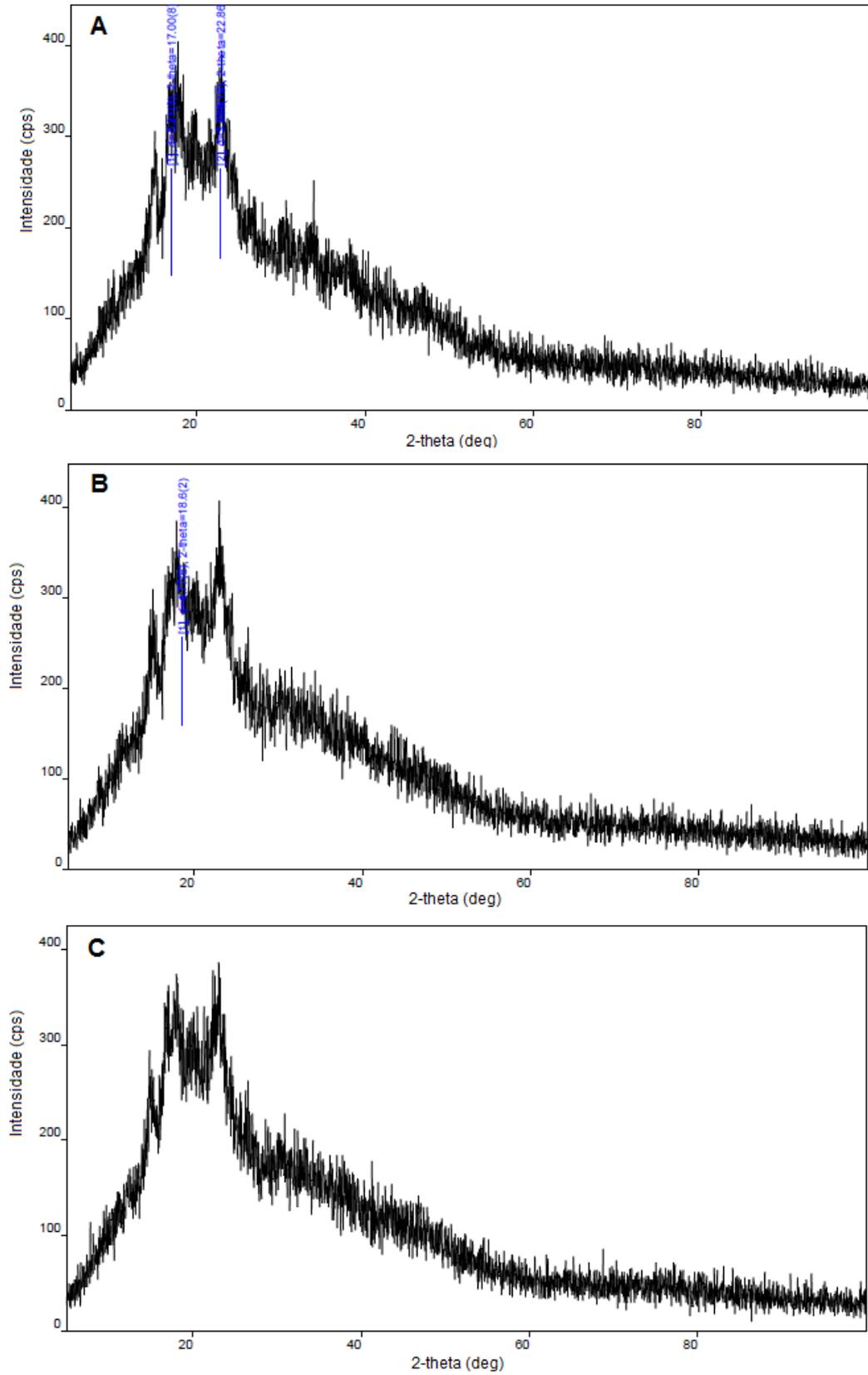


Figura 16 - Difratogramas de raios-X com diminuição de ruído das amostras de arroz integral. As letras A, B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem 1, 9 e 13, respectivamente

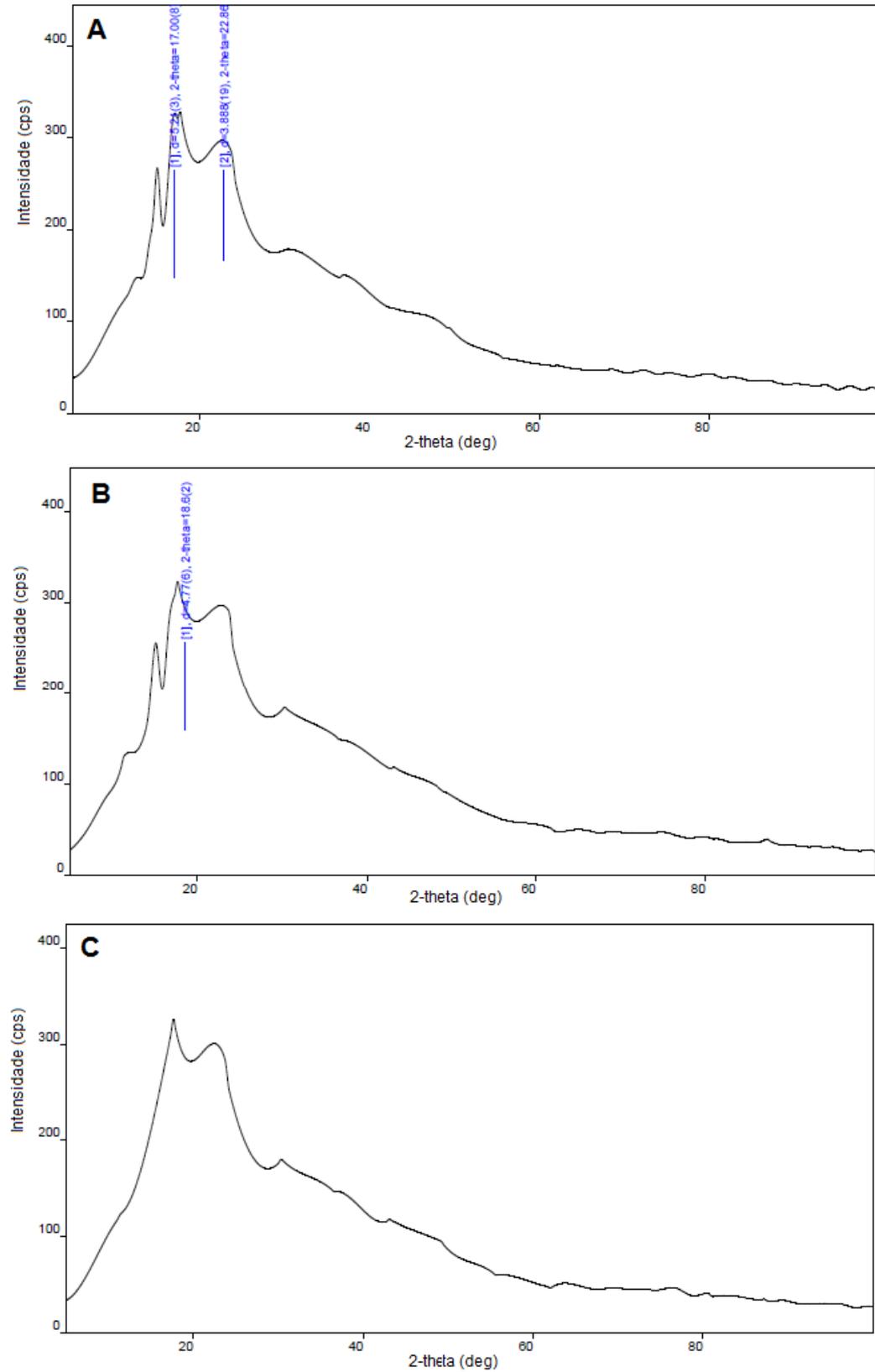
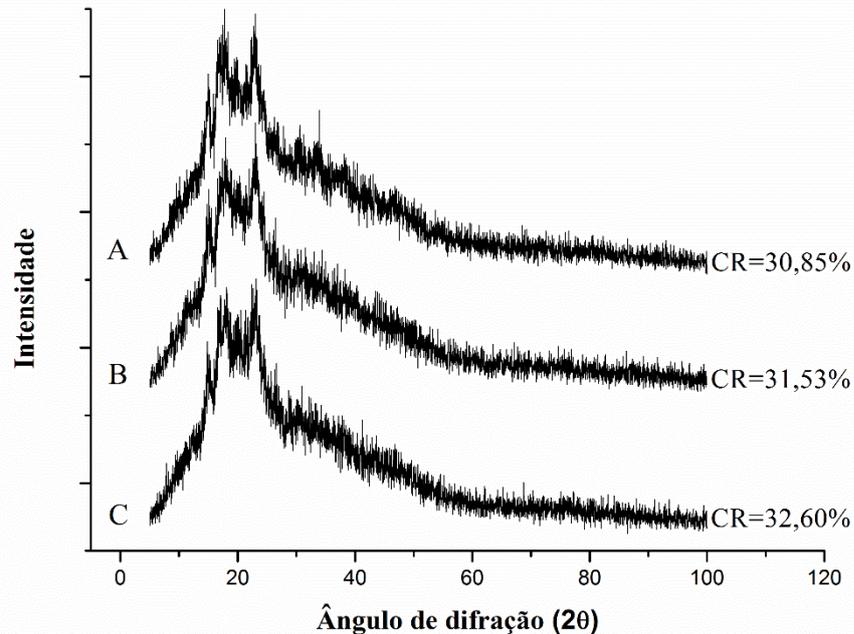


Figura 17 - Cristalinidade relativa. As letras A, B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem 1, 9 e 13, respectivamente.



Os padrões dos difratogramas de ambas as amostras indicam 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 integral exibe um padrão de tipo A, estrutura cristalina do amido que é tipicamente encontrada em cereais.

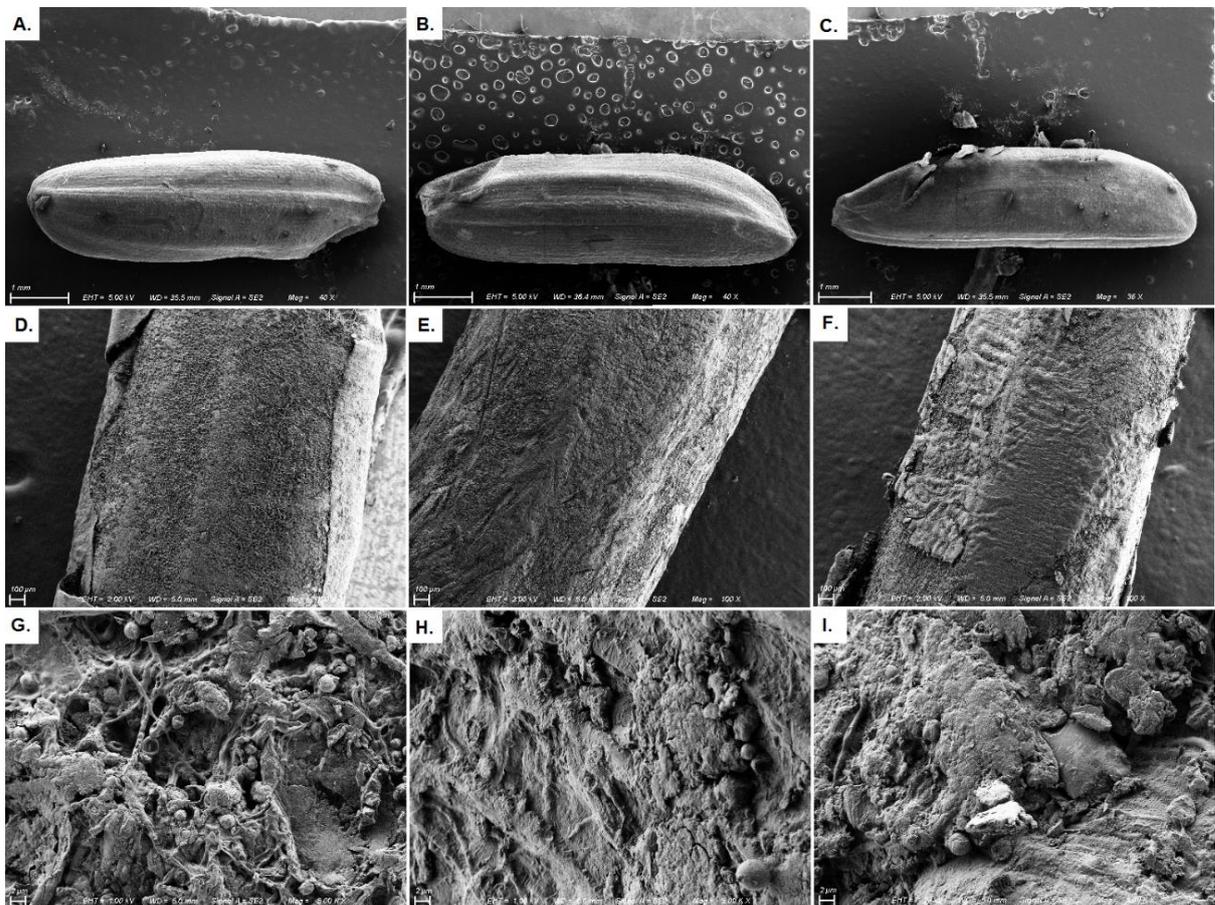
Outros trabalhos constataram a presença dos mesmos picos nos difratogramas obtidos, como Batista (2019) para dois genótipos de arroz integral, Ramos et al. (2019) para grãos de arroz com pericarpo vermelho e Ziegler et al. (2017) para arroz integral, preto e vermelho. Os valores de cristalinidade relativa 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% para arroz integral.

Foi observado na Figura 17 que a cristalinidade relativa do arroz integral mostra uma tendência em aumentar com o crescente tempo de secagem. Timm et al. (2020) verificaram redução da cristalinidade do arroz parboilizado com o aumento da temperatura de secagem, atribuindo a possibilidade de ser em função da diminuição das cadeias de amilopectina (OLIVEIRA et al., 2019), associada ao uso de

tratamentos térmicos intensos (SITTIPOD e SHI, 2016) ou associada à remoção acelerada da água, resultando na retrogradação do amido (TIMM et al. 2020).

Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) do arroz integral nos tempos inicial, intermediário e final de secagem estão apresentadas na Figura 18.

Figura 18 - 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)

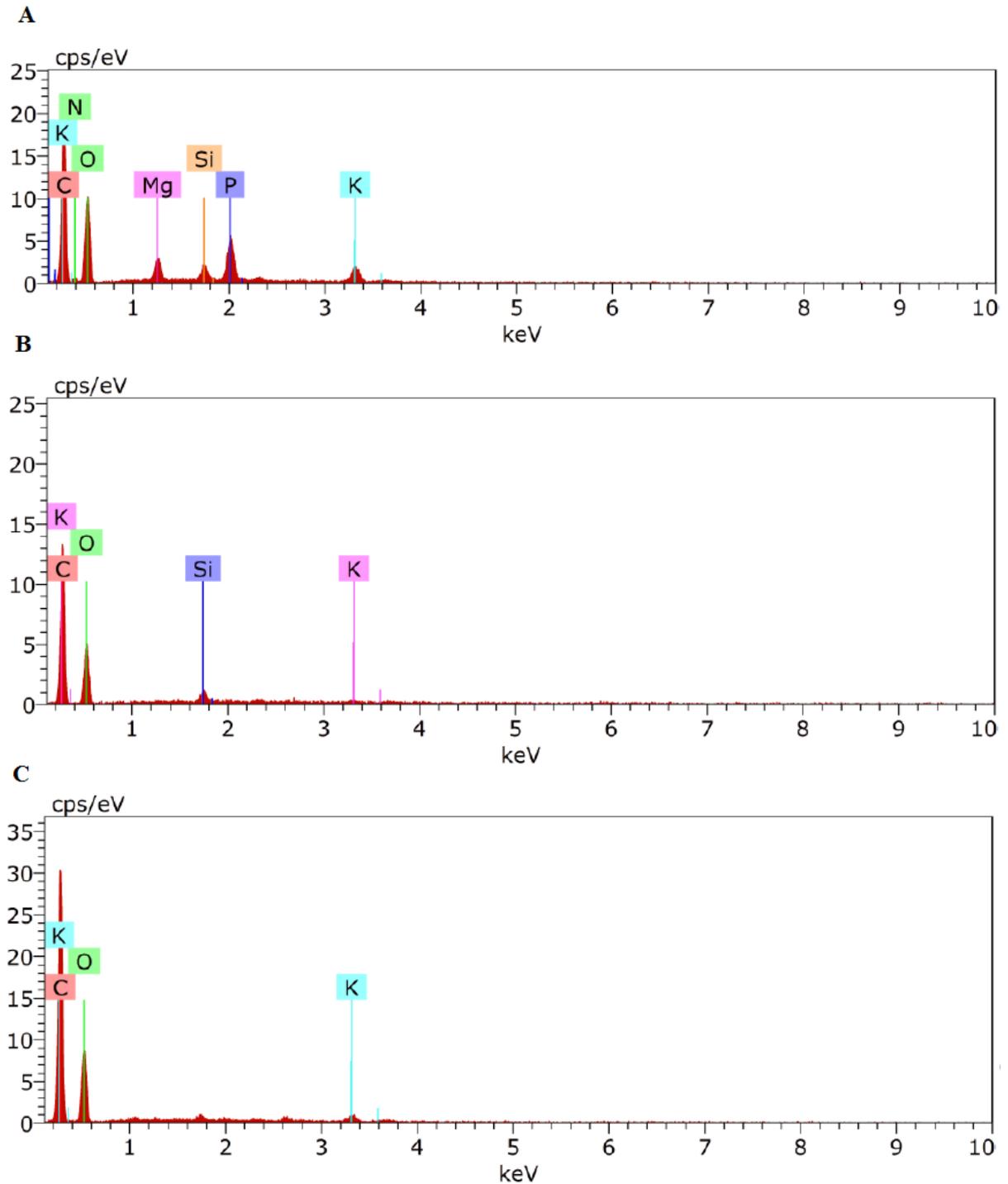


A Figura 18G, 18H e 18I apresenta a micrografia obtida com aumento de 5000 vezes, onde observa-se que os grânulos de amido do arroz são poliédricos. Poucos danos são visíveis na superfície das amostras 1 e 9, correspondentes ao tempo inicial e intermediário, mostrando uma superfície lisa e uma estrutura quase intacta. Entretanto, na amostra 13 verificou-se ruptura do pericarpo e deformações no grão. Esse resultado pode ser atribuído ao tempo de secagem e a exposição da amostra à maior temperatura de secagem e menor teor de água.

Jiazheng et al. (2017) estudaram modelos de secagem e formação de tensões. Os autores relataram que durante a secagem duas zonas de estresse são formadas no grão, sendo que a superfície do grão pode receber tensão de tração de 7 MPa no final da secagem e o centro recebe compressão de 3,2 MPa ao mesmo tempo, podendo ser responsável pela formação de fissuras. Donlao et al. (2018) observaram através de imagens microscópicas a maior ocorrência de trincas perpendiculares ao eixo dos grãos de arroz em amostras submetidas a secagem com alta temperatura (115°C).

A composição química obtida através da espectroscopia de raio-X por dispersão de energia é apresentada na Figura 19.

Figura 19 - Composição química de arroz integral em função dos processos dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem. As letras A, B e C indicam tempo de secagem inicial (zero a cinco horas), intermediário (cinco a dez horas) e final (dez a quatorze horas), respectivamente



A espectroscopia de raio-X por dispersão de energia revelou presença de oxigênio, potássio e carbono na composição de todos os tratamentos. A imagem revelou picos de energia intensos atribuídos às transições de energia de carbono e oxigênio.

Átomos de carbono e oxigênio são abundantemente encontrados em estruturas como celulose, hemicelulose e lignina.

Na composição da amostra do tempo inicial (Figura 19A) verificou-se a presença de sílica, magnésio e fósforo e no tempo intermediário (Figura 19B) somente sílica. O beneficiamento do arroz integral é responsável pela perda considerável de micro e macronutrientes do arroz, devido a maioria dos minerais estarem concentrados na camada de aleurona, removido parcialmente durante o processo. Tong et al. (2019) sugerem uma perda considerável de ferro e zinco devido ao beneficiamento dos grãos. Liu et al. (2017) observaram perdas dos elementos selênio, magnésio, manganês e chumbo.

## 6. CONCLUSÕES

O tempo de secagem causa efeitos cumulativos na qualidade de grãos de arroz em casca e beneficiado como integral.

O alto teor de água presente no início da secagem resultou em menor qualidade fisiológica do arroz em casca. O tempo de secagem aumentou o teor de germinação e vigor.

A qualidade do beneficiamento do arroz integral reduziu com o aumento do tempo de secagem e na etapa de secagem, com aumento de grãos quebrados e quantidade de cascas e redução de renda e rendimento de inteiros ao final da secagem.

A etapa de intermitência melhorou a qualidade da classificação física, com maior quantidade de grãos sadios e menor ocorrência de grãos gessados, picados e manchados e quantidade de impurezas, quando comparada a etapa de secagem. O tempo de secagem teve efeitos cumulativos reduzindo a ocorrência de grãos mofados e aumentando a quantidade de grãos quebrados, gessados, picados e manchados, verdes e vermelhos.

Dos constituintes químicos dos grãos, o tempo de secagem reduziu o teor de proteínas, gordura e cinzas e aumentou o teor de amido, com aumento da cristalinidade relativa.

## 7. REFERÊNCIAS

AACC – American Association of Cereal Chemists, 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, Saint Paul.

AHRENS, D. C.; VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L. Qualidade fisiológica e industrial de sementes de aveia-branca (*Avena sativa*) na secagem intermitente. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 2, p. 12-20, 2000.

AOCS – American Oil Chemistry Society, 1996. Official and Tentatives Methods of American Oil Chemistry Society, New York.

AKOWUAH, J. O.; ADDO, A.; BART-PLANGE, A. Influence of drying temperature and storage duration on fissuring and milling quality of Jasmine 85 rice variety. **Journal of Science and Technology**, v. 32, p. 26-33, 2012.

ALLAHGHOLIPOUR, M.; ALI, A. J.; ALINIA, F.; NAGAMINE, T.; KOJIMA, Y. Relationship between rice grain amylose and pasting properties for breeding better quality rice varieties. **Plant Breeding**, v. 125, p. 357-362, 2006.

AQUERRETA, J.; IGUAZ, A.; ARROQUI, C.; VÍRSEDA, P. Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 611-618, 2007.

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. da F.; ELIAS, M. C.; FAGUNDES, C. A. A.; PEREIRA, F. M.; RADUNZ, L. L. 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.

BATISTA, C. S. **Desenvolvimento de arroz integral de cozimento rápido: propriedades físico-químicas, tecnológicas e digestibilidade do amido**. 2019. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

BAZONI, C. H. V.; IDA, E. I.; BARBIN, D. F.; KUROSZAWA, L. E. 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.

BRADFORD, K. J.; DAHAL, P.; ASBROUCK, J. V.; KUNUSOTH, K.; BELLO, P.; THOMPSON, J.; WU, F. The dry chain: reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates. **Trends in 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.

CHEN, J.; LI, M.; PAN, T.; PANG, L.; YAO, L.; CHANG, J. 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 – Safra 2018/2019.

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

CORADI, P. C.; FERNANDES, C. H. P.; HELMICH, J. C.; GONELI, A. L. D. Effects of drying air temperature and grain initial moisture content on soybean quality. **Journal of the Braz. Assoc. of Agricultural Engineering**, v. 36, n. 5, p. 866-876, 2016.

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

DEFENDI, R. O.; PARAÍSO, P. R.; JORGE, L. M. M. Optimization Study of Soybean Intermittent Drying in Fixed Bed. **Drying Technology**, v. 35, p. 125-137, 2017.

DILLAHUNTY, A.; SIEBENMORGEN, T.; MAUROMOUSTAKOS, A. Effect of temperature, exposure duration, and moisture content on color and viscosity of rice. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 5, p. 559-563, 2001.

DONNARD, A. M. Understanding starch structure and functionality In: ELIASSON, A. C. **Starch in food: structure function and applications**. Boca Raton: CRC Press, 2004. cap.5, p.156-184.

DONG, R.; LU, Z.; LIU, Z.; KOIDE, S.; CAO, W. Effect of drying and tempering on rice fissuring analysed by integrating intra-kernel moisture distribution. **Journal of Food Engineering**, v. 97, 2010.

DONLAO, N.; MATSUSHITA, Y.; OGAWA, Y. Influence of postharvest drying conditions on resistant starch content and quality of non-waxy long-grain rice. **Drying Technology**, v. 36, n. 8, p. 952-964, 2018.

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

FERREIRA, D. S.; PALLONE, J. A. L.; POPPI, R. J. Fourier transform near-infrared spectroscopy (FT-NIRS) application to estimate Brazilian soybean composition. **Food Research International**, v. 51, p. 53-58, 2013.

FRANCO, C. M. R.; LIMA, A. G. B.; FARIAS, V. S. O.; MACHADO, E. A. Intermittent drying of rice grains with husk: modeling and experimentation. **Diffusion Foundations**, v. 25, p. 9-36, 2020.

FRANCO, C. M. R.; LIMA, A. G. B.; FARIAS, V. S. O.; SILVA, W. P. Modeling and experimentation of continuous and intermittent drying of rough rice grains. **Heat and Mass Transfer**, v. 56, p. 1003-1014, 2019.

GHASEMI, A.; SADEGUI, M.; MIREEI, S. A. Multi-stage intermittent drying of rough rice in terms of tempering and stress cracking indices and moisture gradients interpretation. **Drying Technology**, v. 36, p. 109-117, 2017.

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.

HOSENEY, R. C. Principios de ciencia y tecnologia de los cereales. Zaragoza: Acribia. 1991. 321p.

HULLEMAN, S. H. D.; KALISVAART, M. G.; JANSSEN, F. H. P.; FEIL, H.; VLIEGENTHART, J. F. G. Origins of B-type crystallinity in glycerol-plasticizer, compression-moulded potato starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 39, p. 351-360, 1999.

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. 239-253, 2008.

IGUAZ, A.; RODRIGUEZ, M.; VIRSEDA, 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, n. 2, p. 389-404, 2001.

IRGA (INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ). Boletim de resultados da lavoura – Safra 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>>.

JIAZHENG, W.; ZHANG, H.; LI, F. A study on drying models and internal stresses of the rice kernel during infrared drying. **Drying Technology**, v. 35, n. 6, p. 680-688, 2017.

JUMAH, R.; AL-KTEIMAT, E.; AL-HAMAD, A.; TELFAH E. Constant and intermittent drying characteristics of olive cake. **Drying Technology**, v. 25, n. 9, p. 1421-1426, 2007.

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

KUMAR, D.; KALITA, P. Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. **Foods**, v. 6, n. 8, 2017.

LACERDA, A. L. S.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E.; FILHO, W. V. V. Armazenamento de sementes de soja dessecadas e avaliação da qualidade fisiológica, bioquímica e sanitária. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 2, p. 97-105, 2003.

LANG, G. H.; LINDEMANN, I. S.; FERREIRA, C. D.; POHNDORF, R. S.; VANIER, N. L.; OLIVEIRA, M. Influence of drying temperature on the structural and cooking quality properties of black rice. **Cereal Chemistry**, v. 95, p. 564-574, 2018.

LAN, Y.; KUNZE, O. R. Fissure resistance of rice varieties. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 12, n. 3, p. 365-368, 1996.

LIU, K. L.; LI, Y.; CHEN, F. S.; YOUNG, F. Lipid oxidation of brown rice stored at different temperatures. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 188-195, 2017.

LOPES, J. C.; MACEDO, C. M. P. Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, 2008.

LUNA, A. S.; SILVA, A. P.; PINHO, J. S. A.; FERRÉ, J.; BOQUÉ, R. Rapid characterization of transgenic and non-transgenic soybean oils by chemometric methods using NIR spectroscopy. **Spectrochim. Acta A**, v. 100, p. 115-119, 2013.

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

MARTINS, F. E. B. et al. Explorando o uso da espectroscopia do infravermelho próximo para prever a proteína bruta do milho. In: XII Congresso Nordestino de Produção Animal. **Anais...Embrapa**, 2017. p. 1091-1093.

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

MENDOZA, J. R.; SABILLÓN, L.; MARTINEZ, W.; CAMPABADAL, C.; HALLEN-ADAMS, H. E.; BIANCHINI, A. 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.; AOSANI, E.; ROCHA, J. C.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C.; POHNDORF, R. S. 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.

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

MOHAMMADI SHAD, Z.; ATUNGULU, G. G. Post-harvest kernel discoloration and fungi activity in long-grain hybrid, pureline and médium-grain rice cultivars as influenced by storage environment and antifungal treatment. **Journal of Stored Products Research**, v. 81, p. 91-99, 2019.

MULLER, A.; CORADI, P. C.; STEINHAUS, J. I.; SOUZA, G. A. C.; CARNEIRO, L. O.; JAQUES, L. B. A.; GROHS, M. Qualidade física de grãos beneficiados de cultivares de arroz produzidos em diferentes níveis de adubação. **Ciência e Natura**, v. 42, 2020.

NALDI, M. C.; CAMPELLO, R. J.; HRUSCHKA, E. R.; CARVALHO, A. C. P. L. F. Efficiency issues of evolutionary k-means. **Applied Soft Computing**, v. 11, p. 1938-1952, 2011.

ODUNMBAKU, L. A.; SOBOWALE, S. S.; ADENEKAN, M. K.; OLOYEDE, T.; ADEBIYI, J. A.; ADEBO, O. A. Influence of steeping duration, drying temperature, and duration on the chemical composition of sorghum starch. **Food Sci. Nutr.**, v. 6, n. 2, p. 348-355, 2018.

PARAGINSKI, R. T.; ZIEGLER, V.; TALHAMENTO, A.; ELIAS, M. C. Propriedades tecnológicas e de cocção em grãos de arroz condicionados em diferentes temperaturas antes da parboilização. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 146-153, 2014.

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.

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

RAMÓN-RAMÓN, S. A.; 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.; ROCKENBACH, B. A.; FERREIRA, C. D.; GUTKOSKI, L. C.; OLIVEIRA, M. Characteristics of Flour and Starch Isolated from Red Rice Subjected to Different Drying Conditions. **Starch/Stärke**, v. 71, n. 7-8, 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.; KARLINSKI, L.; DIONELLO, R. G.; RADUNZ, A. L.; RADUNZ, L. L. Effect of drting air temperature and storage on industrial and chemical quality of rice grains. **Journal of Stored Products Research**, v. 89, 2020.

SETYANINGSIH, W.; HIDAYAH, N.; SAPUTRO, I. E.; PALMA, M.; BARROSO, C. G. 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.

SHU, X.; SUN, J.; WU, D. Effects of grain development on formation of resistant starch in rice. **Food Chemistry**, v. 164, p. 89-97, 2014.

SILVA, J. S.; LACERDA FILHO, A. F.; RUFFATO, S.; BERBERT, P. A. 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.

SILVA, L. P.; ALVES, B. M.; SILVA, L. S.; POCOJESKI, E.; KAMINSKI, T. A.; ROBERTO, B. S. Adubação nitrogenada sobre rendimento industrial e composição dos grãos de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 43, n. 6, p. 1128-1133, 2013.

SILVEIRA, G. OS APAGÕES DA SAFRA 2013. Mato Grosso, Notícias Do Dia, 2 de outubro de 2012. Disponível em: <https://www.douradosnews.com.br/especiais/leia-os-apagoes-da-safra-2013-por-glauber-silveira/460201/>

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

SOSBAI – SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO, 2016. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Pelotas, Sosbai, 200p.

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

TIBOLA, C. S. et al. **Espectroscopia no Infravermelho Próximo para avaliar indicadores de qualidade tecnológica e contaminantes em grãos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

TIMM, N. S.; LANG, G. H.; FERREIRA, C. D.; POHNDORF, R. S.; OLIVEIRA, M. Infrared radiation drying of parboiled rice: influence os temperature and grain bed depth in quality aspects. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 4, 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.

VENTURIN, A. C. Z.; SILVA, L. C. Modeling and simulation of paddy drying: a bibliometric analysis. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 1, 2019.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. (eds). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap.4, p. 1-26.

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

WANG, S.; COPELAND, L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. **Food Funct.**, v. 4, p. 1564-1580, 2013.

WILLIAMS, P. C. Implementation of near-infrared technology. In: WILLIAMS, P.C.; NORRIS, K. **Near-infrared technology in the agricultural and food industries**. 2. ed. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists Inc., 2001. p. 145-169.

WONGPORNCHAI, S.; DUMRI, K.; JONGKAEWWATTANA, S.; SIRRI, B. 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.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, v. 35, p. 65-78, 2002.

ZIEGLER, V.; FERREIRA, C. D.; GOEBEL, J. T. S.; EL HALAL, S. L. M.; SANTETTI, G. S.; GUTKOSKI, L. C.; ZAVAREZE, E.; ELIAS, M. C. 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.