



**LUÍZA APARECIDA CARNEIRO FERNANDES**

**ARROZ DE TERRAS ALTAS BIOFORTIFICADO COM  
ZINCO E SUBMETIDO À PARBOILIZAÇÃO: QUALIDADE  
TECNOLÓGICA**

**LAVRAS-MG  
2021**

**LUÍZA APARECIDA CARNEIRO FERNANDES**

**ARROZ DE TERRAS ALTAS BIOFORTIFICADO COM ZINCO E SUBMETIDO À  
PARBOILIZAÇÃO: QUALIDADE TECNOLÓGICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestra.

Profa. Dra. Joelma Pereira  
Orientadora

**LAVRAS-MG  
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Fernandes, Luíza Aparecida Carneiro.

Arroz de terras altas biofortificado com zinco e submetido à  
parboilização: Qualidade tecnológica / Luíza Aparecida Carneiro  
Fernandes. - 2021.

133 p.

Orientador(a): Joelma Pereira.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Fome oculta. 2. Biofortificação agronômica. 3.  
Micronutrientes. I. Pereira, Joelma. II. Título.

**LUÍZA APARECIDA CARNEIRO FERNANDES**

**ARROZ DE TERRAS ALTAS BIOFORTIFICADO COM ZINCO E SUBMETIDO À  
PARBOILIZAÇÃO: QUALIDADE TECNOLÓGICA**

**UPLAND RICE BIOFORTIFIED WITH ZINC AND PARBOILED:  
TECHNOLOGICAL QUALITY**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestra.

APROVADA em 07 de outubro de 2021.

Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé

Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho

Dr. Luiz Roberto Guimarães Guilherme

EPAMIG

UFLA

UFLA

Profa. Dra. Joelma Pereira  
Orientadora

**LAVRAS-MG  
2021**

*Ao vô Zizinho, vô Dirson, vô Filinha e padrinho Walter, que se  
foram muito cedo, mas que olham por mim lá de cima.*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus e à Nossa Senhora Aparecida por terem me proporcionado chegar até aqui.

Aos meus pais, Wolne e Ita, pelo amor, incentivo e ajuda desde sempre.

À minha avó Raimunda, por entender minhas ausências e sempre me receber sorrindo.

À minha irmã Camila, pela ajuda ao longo do processo.

À professora Joelma Pereira, pela orientação, pelos ensinamentos e pela paciência ao longo do trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Grãos, Raízes e Tubérculos, por toda ajuda nas análises e por tornarem essa etapa mais leve e divertida.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG SUL) e ao Departamento de Ciência do Solo por terem cedido o arroz utilizado nesta pesquisa.

À Universidade Federal de Lavras, principalmente aos Departamentos de Ciência dos Alimentos, Ciência do Solo e Agricultura, por disponibilizarem a infraestrutura necessária à realização das análises.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos que possibilitou a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

## RESUMO

A fome oculta ou deficiência de micronutrientes, principalmente vitamina A, ferro (Fe) e zinco (Zn), afeta mais de dois bilhões de pessoas no mundo e é causada, majoritariamente, pela ingestão de dietas alimentares insuficientes em termos nutricionais. O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais consumidos no mundo, podendo sua biofortificação auxiliar no combate à fome oculta contribuindo para melhorar a saúde e a qualidade de vida das pessoas. O presente trabalho buscou avaliar a eficiência da biofortificação agrônômica de Zn em três linhagens de arroz (CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15) e uma cultivar (BRS A501 CL) por meio da análise do teor de Zn na casca, farelo+gérmen e endosperma do grão, bem como a influência da parboilização na distribuição do Zn no grão. As análises de renda do benefício, rendimento do grão, classificação, tempo ótimo de cozimento, índice de absorção de água, coeficiente de expansão de volume, perda de sólidos solúveis, teor de cinzas e atributos de cor também foram realizadas para o arroz parboilizado e para o arroz não parboilizado. No primeiro estudo foi analisada a cultivar BRS A501 CL (parboilizada e não parboilizada), previamente submetida aos seguintes tratamentos: controle; 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo); 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar); 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar); 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar); 46 kg de N/ha e 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha e foi observado que a aplicação de Zn via foliar apresentou maiores teores de Zn no endosperma do grão de arroz do que a aplicação de Zn via solo. Além disso, foi verificado que as amostras parboilizadas apresentaram maiores valores dos atributos de cor (a, b e Chroma) e menores valores de L\*, tempo ótimo de cozimento, índice de expansão do volume e perda de sólidos solúveis. Para o segundo estudo foram analisadas a cultivar BRS A501 CL (parboilizada e não parboilizada) e as linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 E CMG ERF 85-15 (parboilizadas e não parboilizadas), anteriormente submetidas aos tratamentos controle, Zn Solo e Zn foliar. Para esse segundo estudo, foi observado que a parboilização aumentou a renda do benefício, o rendimento do grão e os valores de a, b e Chroma e a diminuição dos valores de L\* e dos testes de cocção realizados.

**Palavras-chave:** Fome oculta. Biofortificação agrônômica. Micronutrientes.

## ABSTRACT

Hidden hunger or micronutrient deficiency, mainly, Vitamin A, Iron (Fe) and Zinc (Zn), affect more than two billion people in the world and is mostly caused by the ingestion of nutritionally insufficient diets. The rice (*Oryza sativa* L.) is the one of the most consumed cereals in the world, and its biofortification can help fight hidden hunger, contributing to improve people's health and quality of life. The aim of this study was to evaluate the efficiency of Zn agronomic biofortification in three rice lines (CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15) and one cultivar (BRS A501 CL) through the analysis of the Zn content in the husk, bran+germ and grain endosperm, as well as the influence of parboilization on the Zn distribution in the grain. The analysis of yield income, grain yield, classification, optimal cooking time, water absorption index, volume expansion coefficient, loss of soluble solids, ash content and color attributes were also used for parboiled rice and for unparboiled rice. The first study analyzed the cultivar BRS A501 CL (parboiled and unparboiled) previously submitted to the following treatments: control; 10 kg de Zn/ha (soil application); 1 kg de Zn/ha (leaf application); 5 kg de Zn/ha (leaf application); 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (leaf application); 46 kg de N/ha e 1 kg de Zn/ha (leaf application) + 46 kg de N/ha and it was observed that Zn leaf application was more effective than Zn soil application for the Zn content in the endosperm of the rice grain. Furthermore, it was verified that the parboiled samples had higher values of grain yield, color attributes (a, b and Chroma) and lower values of L\*, optimal cooking time, volume expansion index, water absorption index and loss of solids soluble. For the second study, the cultivar BRS A501 CL (parboiled and unparboiled) and the lines CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 E CMG ERF 85-15 (parboiled and unparboiled) previously submitted to control, Zn soil application and Zn leaf application. In this second study was observed that parboilization promoted an increase in the yield income, grain yield, a b and Chroma and decreased values of L\* and cooking tests.

**Keywords:** Hidden hunger. Agronomic Biofortification. Micronutrients.



## SUMÁRIO

|       |  |           |
|-------|--|-----------|
|       | <b>PRIMEIRA PARTE</b> .....  | <b>10</b> |
| 1     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>10</b> |
| 2     | <b>OBJETIVOS</b> .....   | <b>12</b> |
| 2.1   | <b>Objetivo geral</b> .....  | <b>12</b> |
| 2.2   | <b>Objetivos específicos</b> .....   | <b>12</b> |
| 3     | <b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....   | <b>13</b> |
| 3.1   | <b>Fome oculta e biofortificação</b> .....   | <b>13</b> |
| 3.2   | <b>Zinco (Zn)</b> .....  | <b>14</b> |
| 3.3   | <b>Produção e consumo de arroz</b> .....   | <b>16</b> |
| 3.4   | <b>Grão de arroz e sua composição</b> .....  | <b>17</b> |
| 3.5   | <b>Parboilização</b> .....   | <b>19</b> |
| 3.5.1 | <b>Encharcamento</b> .....   | <b>20</b> |
| 3.5.2 | <b>Gelatinização</b> .....   | <b>21</b> |
| 3.5.3 | <b>Secagem</b> .....   | <b>21</b> |
| 3.6   | <b>Qualidade do arroz</b> .....  | <b>22</b> |
| 4     | <b>CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....  | <b>24</b> |
|       | <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | <b>25</b> |
|       | <b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS</b> .....   | <b>33</b> |
|       | <b>ARTIGO 1 - EFEITO DA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM Zn E DA PARBOILIZAÇÃO NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DO ARROZ</b> .....                                 | <b>33</b> |
| 1     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>34</b> |
| 2     | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....  | <b>35</b> |
| 3     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....  | <b>41</b> |
| 4     | <b>CONCLUSÃO</b> .....   | <b>61</b> |
|       | <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | <b>62</b> |
|       | <b>ARTIGO 2 - AVALIAÇÃO DA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA E DA PARBOILIZAÇÃO NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DE QUATRO GENÓTIPOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS</b> ..... | <b>67</b> |
| 1     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>68</b> |
| 2     | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....  | <b>69</b> |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>3</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                           | <b>76</b>  |
| <b>4</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>  | <b>106</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                      | <b>107</b> |
|          | <b>APÊNDICES .....</b>                                       | <b>112</b> |
|          | <b>APÊNDICE A - Temperatura de gelatinização .....</b>       | <b>112</b> |
|          | <b>APÊNDICE B - Isotermas de absorção de água .....</b>      | <b>115</b> |
|          | <b>APÊNDICE C - Análise de grãos não gelatinizados.....</b>  | <b>119</b> |
|          | <b>APÊNDICE D - Temperatura de gelatinização .....</b>       | <b>121</b> |
|          | <b>APÊNDICE E - Isotermas de absorção de água .....</b>      | <b>125</b> |
|          | <b>APÊNDICE F - Análise de grãos não gelatinizados .....</b> | <b>131</b> |

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

Uma em cada três pessoas no mundo sofre com a ausência de micronutrientes essenciais na alimentação, o que é caracterizado como um problema de saúde pública denominado fome oculta (HARVESTPLUS, 2015). A deficiência de micronutrientes acarreta perda de peso, mortalidade infantil, crescimento comprometido e baixa qualidade de vida, atingindo, principalmente, crianças de até cinco anos, residentes em países em desenvolvimento (BRUUSELMA *et al.*, 2012; SHETTY, 2009).

A biofortificação agronômica de alimentos básicos, que consiste no aumento do teor de micronutrientes na cultura, durante o manejo no campo, é uma ferramenta útil ao combate da fome oculta.

O principal programa de implementação da biofortificação em nível mundial é o *HarvestPlus*, que trabalha com biofortificação através de melhoramento genético. O programa de biofortificação *HarvestZinc* atua aumentando o teor de Zn em alimentos básicos por meio de biofortificação agronômica. No Brasil, as pesquisas com biofortificação são gerenciadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) por meio da Rede BioFORT.

O zinco (Zn) é um mineral que participa de diversas funções no organismo como síntese proteica e de ácidos nucleicos, crescimento, saúde reprodutiva e diferenciação celular. Em virtude dessa importância sua deficiência é tratada como um problema de saúde de grande preocupação (MANGUEZE *et al.*, 2018; MAYER; PFEIFFER; BEYER, 2008; NRIAGU, 2007).

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos principais cereais consumidos no mundo, fazendo parte da alimentação de mais da metade da população mundial. De acordo com a *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2019b), a Ásia concentra 90% da produção mundial de arroz.

O beneficiamento pode acarretar em uma diminuição do teor de minerais e vitaminas, concentrados nas camadas externas do grão de arroz (PAIVA *et al.*, 2016), mas a realização do processo de parboilização pode auxiliar no aumento do teor desses micronutrientes no endosperma dos grãos (ROCHA-VILLARREAL; SERNA-SALDIVAR; GARCÍA-LARA, 2018; WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). A parboilização é o processo de cozimento do arroz com a casca que, além do incremento nutricional, é capaz de promover mudanças físicas e químicas que melhoram as características de beneficiamento e cocção do arroz (KOWFIE; NGADI, 2017).

O objetivo do presente trabalho foi entender como a biofortificação, por meio da aplicação de Zn via solo e via foliar, influencia na qualidade tecnológica de diferentes genótipos de arroz de terras altas. Além disso, verificar o acúmulo de Zn nas diversas partes do grão (casca, endosperma e farelo+gérmen), tanto do arroz polido quanto do arroz parboilizado polido para que seja possível constatar a viabilidade da biofortificação.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o efeito da biofortificação agronômica (via solo e via foliar) e do processo de parboilização no teor de Zn e na qualidade tecnológica dos grãos de arroz.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar se há diferença em relação ao acúmulo de Zn no endosperma dos grãos de arroz em relação à biofortificação agronômica via solo e via foliar;
- Avaliar se há diferença em relação ao acúmulo de Zn no endosperma dos grãos de arroz biofortificados parboilizados e dos grãos de arroz biofortificados não parboilizados.
- Avaliar se a biofortificação agronômica (via solo e via foliar) e a parboilização afetam as características dos grãos de arroz.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Fome oculta e biofortificação

Os alimentos básicos arroz, feijão, milho e mandioca são capazes de ofertar a energia necessária para as atividades diárias da população mundial, entretanto são deficientes em vitaminas e minerais, que são micronutrientes essenciais para o bom funcionamento do organismo. Essa deficiência caracteriza um problema de saúde pública mundial, conhecido como fome oculta e que atinge dois bilhões de pessoas (NUTTI, 2015; VERGÜTZ *et al.*, 2016).

As principais consequências da fome oculta são a anemia, o baixo desenvolvimento cognitivo, o nanismo e a mortalidade infantil. Além disso, ela está diretamente ligada à pobreza financeira da população que não possui meios para diversificar a dieta alimentar, mas também pode atingir pessoas em países desenvolvidos, uma vez que nem sempre a população consome todos os micronutrientes necessários ao bom funcionamento do organismo (VERGÜTZ *et al.*, 2016). Uma das medidas mais efetivas para combater esse déficit nutricional é a biofortificação de alimentos, que além de combater a fome oculta é capaz de melhorar a qualidade nutricional dos alimentos (BAO, 2019; GHOSH; DATTA; DATTA, 2019).

A biofortificação pode ser compreendida como o aumento no teor de micronutrientes, como vitaminas e minerais, através de práticas agronômicas (biofortificação agronômica) ou melhoramento genético (biofortificação genética), aplicado às grandes culturas alimentares (BOUIS; SALTZMAN, 2017). A biofortificação agronômica é alcançada através do enriquecimento do alimento com micronutrientes, ainda no campo (VERGÜTZ *et al.*, 2016), por meio de adubações às plantas diretamente no solo antes do plantio, ou ainda em adubações foliares ou em ocasiões combinadas.

Os programas de desenvolvimento de biofortificação e suas culturas biofortificadas estão presentes em diversos países (FIGURA 1), principalmente nos de população mais pobre, como Ruanda, República Democrática do Congo, Bangladesh, Zâmbia e Índia (BOUIS; SALTZMAN, 2017). Entre as culturas estudadas estão banana, mandioca, batata-doce, sorgo, milheto, arroz, feijão, feijão-caupi, abóbora, lentilha, batata, milho e trigo (HARVESTPLUS, 2015).



O Zn, em humanos, é um micronutriente essencial para o adequado funcionamento do organismo interagindo com enzimas e proteínas (CAKMAK; KUTMAN, 2018). Além disso, esse micronutriente atua no crescimento físico de crianças, no fortalecimento do sistema imune, no desenvolvimento de fetos, no controle da diarreia, no combate a doenças respiratórias em crianças e na diferenciação celular (GHARIBZAHEDI; JAFARI, 2017; WHO, 2019b, 2019c).

De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde (WHO), aproximadamente 155 milhões de crianças menores de cinco anos possuem deficiência no crescimento (WHO, 2019a), o que poderia ser corrigido com a suplementação de Zn na dieta. Além disso, a ingestão de Zn é capaz de reduzir em até 25% a duração dos quadros de diarreia em crianças (WHO, 2021).

Devido à importância do Zn para a alimentação humana foi criado, dentro do Programa *HarvestPlus*, o *HarvestZinc*, que é um programa que estuda o incremento dos teores de zinco em cereais, a partir da adubação e está presente em diversos países (FIGURA 2) (HARVESTZINC, 2019).

Figura 2 - Países onde são desenvolvidos projetos do *HarvestZinc*.

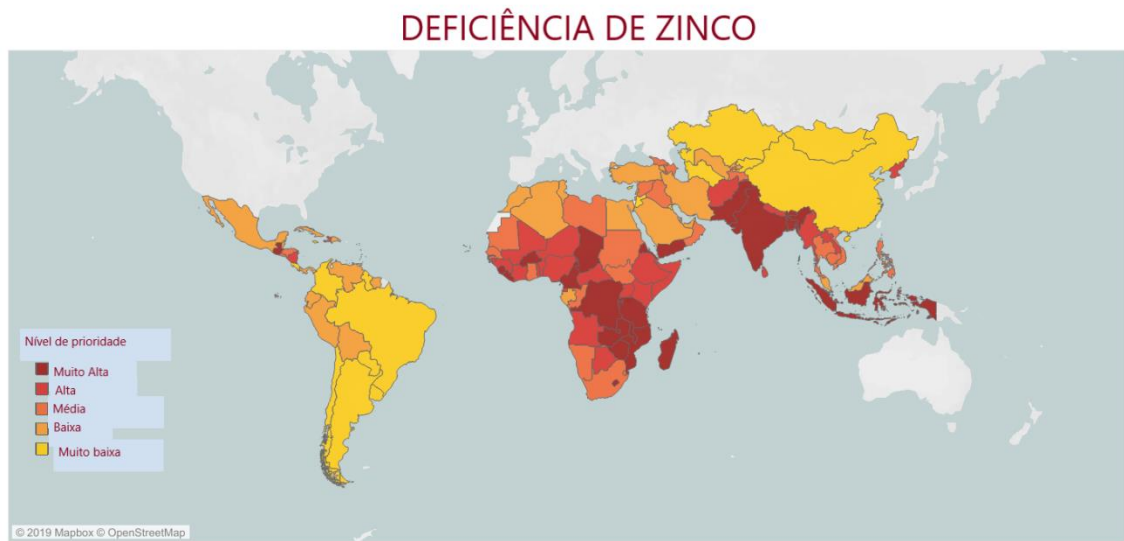


Fonte: HarvestZinc (2019).

A população dos países em desenvolvimento, cuja dieta é baseada no consumo de grãos, sofre mais com a deficiência desse micronutriente (CAKMAK *et al.*, 2010). O Zn pode ser encontrado naturalmente em nozes, peixes, carnes e chocolate (GHARIBZAHEDI; JAFARI, 2017). Na Figura 3, é ilustrado um mapa que mostra as áreas de deficiência de Zn em nível mundial.



Figura 3 - Mapa da deficiência de Zinco no mundo.



Fonte: Adaptado de HarvestPlus (2019).

De acordo com a RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2005), a ingestão diária recomendada de Zn para adultos é de 7 mg, enquanto que para crianças esse valor está situado entre 2,8 mg e 5,6 mg.

### 3.3 Produção e consumo de arroz

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2021b), a safra mundial de arroz, em 2019, foi de 503,9 milhões de toneladas. Em 2017, o Brasil ocupou a nona posição na produção mundial de arroz, enquanto os primeiros lugares foram ocupados por países asiáticos, como China, Índia e Indonésia, que estão entre os maiores consumidores dessa cultura (FAO, 2019a). Em 2019, a produção brasileira de arroz foi de quase 10,4 milhões de toneladas (FAO, 2021a).

O arroz no Brasil é principalmente cultivado em várzeas ou terras altas (SANTIAGO; BRESEGHELLO; FERREIRA, 2013). O arroz de várzea é o sistema no qual a plantação pode receber água continuamente por algum sistema artificial de irrigação (arroz irrigado) ou depender da água de enchente de cursos d'água próximos da plantação (várzea úmida). O arroz de terras altas é plantado em áreas não alagadas, dependendo de chuvas para o desenvolvimento das plantações (OLIVEIRA NETO, 2015).

A produção brasileira concentra-se nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Maranhão, Tocantins e Ceará (BRASIL, 2018). Em 2019, a área colhida relativa ao cultivo de arroz no mundo era de pouco mais de 162 milhões de ha, enquanto a área plantada no Brasil

era de 1,7 milhões de ha (FAO, 2021b), o que corresponde a pouco mais de 1% do total da área mundial.

A safra de arroz no Brasil em 2018 foi de 11,7 milhões de toneladas, sendo a região Sul a maior produtora, responsável por 9,6 milhões de toneladas, o que corresponde a mais de 80% da produção nacional. Já Minas Gerais, em 2018, contribuiu com 8,8 mil toneladas, aproximadamente 0,07% do total brasileiro (IBGE, 2019). Entre 2019 e 2020, estima-se um consumo de arroz entre 12,039 mil toneladas e 13,703 mil toneladas (BRASIL, 2018).

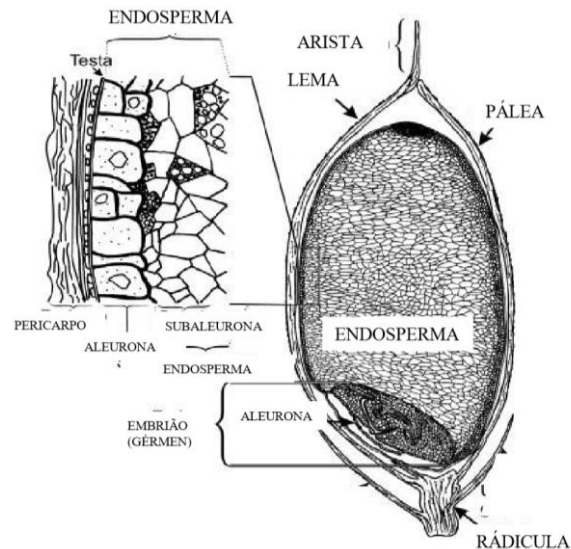
O arroz é um cereal de grande importância, sendo a base da alimentação de aproximadamente metade da população mundial (WEI; HUANG, 2019). No Brasil, o arroz é principalmente consumido na forma de grão inteiro (SANTIAGO; BRESEGHELLO; FERREIRA, 2013) e pode ser classificado em arroz integral, arroz polido, arroz parboilizado integral e arroz parboilizado (BRASIL, 2012).

O arroz integral é aquele que tem somente a casca retirada, enquanto o arroz polido passa pelos processos de descascamento e polimento (JULIANO; TUAÑO, 2019). Já o arroz parboilizado passa pelas etapas de encharcamento, gelatinização e secagem, com casca, e após esse processamento pode ser apenas descascado (arroz parboilizado integral) ou ser também polido (arroz parboilizado) (MESTRES; BRIFFAZ; VALENTIN, 2019).

### **3.4 Grão de arroz e sua composição**

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal pertencente à família *Poaceae*. Os grãos de arroz são classificados como cariopses revestidas por uma casca (formada pela pálea e pela lema) (JULIANO; BETCHEL, 1985). Para Champagne (2004) a cariopse é dividida em pericarpo, testa, camada nucelar, aleurona, endosperma e embrião (FIGURA 4).

Figura 4 - Secção longitudinal de um grão de arroz.



Fonte: Adaptado de Champagne (2004).

O principal constituinte do arroz é o amido, formado por amilose e amilopectina (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010) e seu peso pode chegar até 90% do peso do arroz polido (FRITZGERALD, 2004). A amilose é um polímero linear no qual os monômeros de glicose estão unidos via ligação glicosídica  $\alpha, 1 \rightarrow 4$ ; enquanto que a amilopectina é um polímero ramificado, contendo ligação glicosídica do tipo  $\alpha, 1 \rightarrow 6$  além da  $\alpha, 1 \rightarrow 4$  (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Além do amido, o endosperma do arroz também contém proteínas na forma de corpos proteicos de armazenamento. As gluteninas são as principais proteínas encontradas nos grãos de arroz (ZHAO; GATEHOUSE; BOUTLER, 1983) e a principal deficiência da cultura em relação aos aminoácidos essenciais corresponde à lisina e ao triptofano (JULIANO, 1993). Os lipídeos estão distribuídos nas diferentes partes do grão de arroz e os principais são os fosfolipídeos, tocoferóis, tocotrienol e  $\gamma$ -oryzanol (TONG; BAO, 2019).

A maior parte do conteúdo de vitaminas e minerais, presentes no arroz, é encontrada nas camadas mais externas, portanto o polimento dos grãos diminui o teor desses nutrientes essenciais (BHATTACHARYA, 2011). O arroz integral possui vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina, niacina, vitamina B6, ácido fólico, biotina) e vitamina E, mas apresenta deficiência das vitaminas A, C e D (JULIANO; BETCHEL, 1985).

O arroz integral ainda conta com a presença de fatores antinutricionais como: inibidores de tripsina, hemaglutininas e fitatos, que se localizam principalmente no embrião e na camada de aleurona (JULIANO; BETCHEL, 1985). Os fitatos, que não se desnaturam pela ação do

calor, são capazes de exercer ação quelante sobre minerais e proteínas, reduzindo a biodisponibilidade (JULIANO, 1993; TORREZAN; FRAZIER; CRISTIANINI, 2010).

Apesar das desvantagens do fitato, alguns estudos apontam que a ingestão de ácido fítico pode acarretar benefícios à saúde (PUNIA *et al.*, 2021; SHAO; BAO, 2019). Alguns estudos apontam que o ácido fítico pode apresentar efeito anticancerígeno (BARAHUIE *et al.*, 2017; MASUNAGA *et al.*, 2019), prevenir o desenvolvimento de diabetes (KUMAR *et al.*, 2020), bem como a ocorrência de inflamações (WEE *et al.*, 2021).

### 3.5 Parboilização

O processo de parboilização teve sua origem na Índia e foi disseminado por diversos países da Ásia e da África Subsaariana (KWOPIE; NAGDI, 2017). De todo o arroz consumido no mundo, 25% do total é de arroz parboilizado (GUL *et al.*, 2015).

O termo parboilizado vem do inglês *parboiled* (*partial* + *boiled*), que significa parcialmente fervido (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002). Para a Instrução Normativa (IN) nº 6, de 29 de fevereiro de 2009, a parboilização pode ser definida como:

o processo hidrotérmico no qual o arroz em casca é imerso em água para uso em processos industriais, a uma temperatura acima de 58 °C (cinquenta e oito graus Celsius), seguido da gelatinização parcial ou total do amido e secagem. (BRASIL, 2009, p. 4).

Os principais benefícios da parboilização para o grão de arroz são: redução da quebra no beneficiamento, aumento no teor de minerais e vitaminas, resistência ao ataque de insetos, inativação enzimática e aumento da vida de prateleira (BUGGENHOUT *et al.*, 2013; HEINEMANN *et al.*, 2005; NASIRAHMADI *et al.*, 2014). Durante esse processo também ocorrem mudanças de cor no arroz, as quais são atribuídas à migração de pigmentos das camadas mais externas para o endosperma e ao escurecimento não-enzimático, como a reação de Maillard (MESSIA; IAFELICE; MARCONI, 2012). Além dos fatores relacionados à cor anteriormente citados, Amato, Carvalho e Silveira Filho (2002) também destacam mudanças como: teor de sais minerais; cor da casca; cor da película; teor de amilose; teor de açúcares redutores; pH da água de encharcamento; tempo e temperatura das etapas de encharcamento, gelatinização e secagem; e grau de polimento do arroz.

Para Bahattacharya (2004), existem três métodos de parboilização: convencional, por calor seco e por pressão. O método convencional compreende as etapas de encharcamento,

gelatinização e secagem, sendo largamente aplicado. A parboilização por calor seco consiste no encharcamento e imediata secagem com aquecimento por condução. Já no processo baseado na pressão, o arroz em casca é submetido ao encharcamento parcial e ao vapor de alta pressão, que promove a gelatinização do amido presente no grão (BHATTACHARYA, 2011; MIR *et al.*, 2015). Além das diferenças entre os métodos, existe uma grande diversidade de condições de processo para a parboilização, dependendo do local e da variedade do arroz (BALBINOTI *et al.*, 2018).

### 3.5.1 Encharcamento

O processo de encharcamento, também chamado de aguação ou maceração, tem como objetivo elevar a umidade do grão entre 30% a 32%, sendo o tempo de encharcamento variável em função da temperatura da água e da variedade do arroz (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002). A água deve atingir o centro do endosperma, uma vez que a não absorção de água impede a gelatinização total do grânulo de amido (FONSECA *et al.*, 1983).

Água sob altas temperaturas aumenta a eficiência do processo de parboilização (MIAH *et al.*, 2002). Para Amato, Carvalho e Silveira Filho (2002), o calor fornecido através do uso da água quente facilita a hidrólise de ligações de hidrogênio, o que resulta em maior retenção de água por parte do arroz.

A água de encharcamento é capaz de carrear os minerais e vitaminas hidrossolúveis encontrados na casca, nas camadas externas e no gérmen para o endosperma, o que aumenta o valor nutritivo do grão (ROCHA-VILARREAL; SERNA-SALDIVAR; GÁRCIA-LARA, 2018).

O grão de arroz absorve água devido à propriedade hidrofílica do endosperma amiláceo. Porém, se esse processo não for bem controlado, a casca do grão tende a se abrir, uma vez que não consegue mais delimitar o endosperma intumescido. A abertura da casca (*splitting*), no encharcamento, deve ser mínima de modo a evitar a lixiviação do conteúdo de nutrientes do arroz (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002) e a absorção de maneira desuniforme, o que resultaria em gelatinização também desuniforme e menor tipificação do grão de arroz, com rejeição do arroz parboilizado devido ao menor valor comercial.

### 3.5.2 Gelatinização

A gelatinização é a principal etapa do processo de parboilização do arroz. Nessa etapa, as camadas mais externas do grão são seladas ao endosperma, o que dificulta o brunimento do arroz parboilizado (KENT, 1983), entretanto, como o grão de arroz tem suas dimensões modificadas, o descasque é facilitado (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002). Devido à parboilização, os grãos ficam maiores e mais arredondados.

Durante a gelatinização do amido, os nutrientes carreados na etapa de hidratação são fixados no endosperma (HEINEMANN *et al.*, 2005; PAIVA *et al.*, 2016). Além disso, a gelatinização do amido é capaz de promover a selagem de pequenas fissuras nos grãos ou espaços vazios, o que contribui para a redução na quebra durante o beneficiamento (BALBINOTI; JORGE; JORGE, 2018).

A gelatinização é o desarranjo irreversível das moléculas de amilose e amilopectina com a consequente perda de birrefringência característica dos grânulos de amido (BAO, 2019) e será mais efetiva quanto maior o teor de umidade do grão (BUGGENHOUT; BRIJS; DELACOUR, 2014). A temperatura de gelatinização é influenciada pela variedade do arroz, pelo teor de amilopectina e também por fatores ambientais (BAO, 2019).

### 3.5.3 Secagem

Após a gelatinização, o arroz deve ser seco até aproximadamente 12% a 14% de umidade (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002). Para Amato e Elias (2005), os principais focos dessa etapa são a redução de umidade para armazenamento adequado e a maximização da obtenção de grãos inteiros no beneficiamento.

Quanto à secagem, primeiro ocorre a secagem primária na qual a taxa de transferência de massa é alta em função da elevada umidade na superfície dos grãos, o que torna essa etapa de secagem bastante rápida. A umidade cai de 32% para 22% e ocorre no secador de leito fluidizado (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002).

A próxima etapa é o revenido, o qual também pode ser conhecido como condicionamento ou temperagem (AMATO; ELIAS, 2005). O objetivo é reequilibrar a distribuição da água no grão de arroz, deixando-o estacionado (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002).

A secagem secundária é a última parte da operação de secagem e ocorre em secadores intermitentes. Ela é controlada pela difusão da água no interior do grânulo para a superfície,

sendo mais lenta do que a secagem primária e a umidade cai de 22% para aproximadamente 13% (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002).

### 3.6 Qualidade do arroz

O conceito de qualidade para a cadeia de produção de arroz, assim como para os mais diversos alimentos, depende do contexto e das preferências dos consumidores (MESTRES; BRIFFAZ; VALENTIN, 2019). De acordo com Demont e Ndour (2015), a qualidade do arroz pode ser avaliada através de características intrínsecas (forma e tamanho do grão, cor, grão gessado, rendimento, aroma, temperatura de gelatinização) e extrínsecas (marca, presença ou não de rótulo e tipo da embalagem).

Entre os atributos intrínsecos do grão, a forma e o tamanho são decisivos no momento da compra. A brancura do grão também é avaliada pelos consumidores (CUSTÓDIO *et al.*, 2019).

O gessamento dos grãos está relacionado com a presença de ar no endosperma, o que não permite a passagem de luz e enfraquece o empacotamento dos grânulos de amido, o que torna os grãos mais susceptíveis à quebra no beneficiamento, o que reduz o rendimento (ASHIDA; IIDA; YASUI, 2009). A maioria das indústrias e consumidores têm preferência por grãos não gessados, com exceção das variedades *waxy* e das variedades do tipo arbório (BERGMAN, 2019).

A temperatura de gelatinização, na qual os grânulos de amido perdem irreversivelmente sua estrutura cristalina, está diretamente relacionada com o tempo de cozimento (BERGMAN, 2019). Quanto menor a temperatura de gelatinização, menor é o tempo de cozimento requerido pelos grãos, o que além de contribuir para remissão de carbono pode promover economia de gás para diversas famílias em situação de pobreza (FRITZGERALD; MCCOUCH; HALL, 2009), além de economizar energia nas indústrias processadoras de arroz.

O aroma também é considerado um requisito de qualidade para o arroz, podendo influenciar na aceitação ou rejeição do produto (BERGMAN, 2019). Aromas que corroboram para a aceitabilidade do arroz foram observadas em variedades aromáticas do tipo Basmati e Jasmine (CUSTÓDIO *et al.*, 2019). A 2-acetil-1-pirrolina, composto volátil encontrado em maior quantidade nas variedades aromáticas, é também observada em menores concentrações nas variedades não aromáticas (MESTRES; BRIFFAZ; VALENTIN, 2019). Essa molécula confere ao arroz o odor de pipoca e/ou assado (CZERNY *et al.*, 2008).

As características extrínsecas são também promotoras da qualidade do arroz (DEMONT; NDOUR, 2015). Os consumidores estão mais conscientes e dispostos a investir mais em arrozes que possuam informações no rótulo e certificados de produção sustentável (MY *et al.*, 2018).



#### **4 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

A biofortificação agronômica de grandes culturas com Zn é uma alternativa viável para a ingestão desse mineral por populações que não possuem acesso a uma dieta alimentar diversificada.

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais consumidos no mundo, dessa forma sua biofortificação pode auxiliar no combate à deficiência de minerais e vitaminas.

## REFERÊNCIAS

AMATO, G. W.; CARVALHO, J. L. V.; SILVEIRA FILHO, S. **Arroz parboilizado: tecnologia limpa, produto nobre**. Porto Alegre: Ricardo Lenz, 2002. 240 p.

AMATO, G. W.; ELIAS, M. C. **Parboilização do arroz**. Porto Alegre: Ricardo Lenz, 2005. 160 p.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005**. Regulamento Técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0269\\_22\\_09\\_2005.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0269_22_09_2005.html). Acesso em: 09 fev. 2020.

ASHIDA, K.; IIDA, S.; YASUI, T. Morphological, physical, and chemical properties of grain and flour from chalky rice mutants. **Cereal Chemistry**, [United States], v. 86, n. 2, p. 225-231, Mar./Apr. 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1094/CCHEM-86-2-0225>. Acesso em: 02 mar. 2020.

BALBINOTI, T. C. V. *et al.* Parboiling rice and parboiling process. **Food Engineering Reviews**, [New York], v. 10, p. 165-185, May 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12393-018-9177-y>. Acesso em: 01 fev. 2020.

BALBINOTI, T. C. V.; JORGE, L. M. de M.; JORGE, R. M. M. Modeling the hydration step of the rice (*oryza sativa*) parboiling process. **Journal of Food Engineering**, [Oxford], v. 216, p. 81-89, Jan. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877417303199>. Acesso em: 01 fev. 2020.

BAO, J. Rice starch. *In*: BAO, J. (ed.) **Rice chemistry and technology**. 4th ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2019. p. 55-108.

BARAHUIE, F. *et al.* Sustained release of anticancer agent phytic acid from its chitosan-coated magnetic nanoparticles for drug-delivery system. **International Journal of Nanomedicine**, [New Zealand], v. 12, p. 2361-2372, Mar. 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28392693/>. Acesso em: 02 fev. 2020.

BERGMAN, C. J. Rice end-use quality analysis. *In*: BAO, J. (ed.) **Rice chemistry and technology**. 4th ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2019. p. 273-337.

BHATTACHARYA, K. R. Parboiling of rice. *In*: CHAMPAGNE, E. T. (ed.) **Rice: chemistry and technology**. 3rd ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2004. p. 329-394.

BHATTACHARYA, K. R. **Rice quality: a guide to rice properties and analysis**. New Delhi: Woodhead Publishing, 2011. 606 p.

BOUIS, H. E.; SALTZMAN, A. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. **Global Food Security**, [Amsterdam], v. 12, p. 49-58, Mar. 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28580239/>. Acesso em: 05 fev. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n° 2, de 6 de fevereiro de 2012**. Altera a Instrução Normativa n° 6, de 29 de fevereiro de 2009, que aprova o Regulamento Técnico do Arroz. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=918108049>. Acesso em: 05 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n° 6, de 29 de fevereiro de 2009**. Regulamento Técnico do Arroz. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1687046295>. Acesso em: 01 ago. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28**, projeções de longo prazo. Brasília, DF: Secretária de Política Agrícola: MAPA/ACE, 2018. 112 p.

BRUUSELMA, T. W. *et al.* **Fertilizing crops to improve human health: a scientific review**. Norcross: INPI; France: IFA, 2012. p. 1-290.

BUGGENHOUT, J.; BRIJS, K.; DELCOUR, J. A. Soaking conditions during brown rice parboiling impact the level of breakage-susceptible rice kernels. **Cereal Chemistry**, [United States], v. 91, n. 6, p. 554–559, Nov. 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/280288865\\_Soaking\\_Conditions\\_During\\_Brown\\_Rice\\_Parboiling\\_Impact\\_the\\_Level\\_of\\_Breakage-Susceptible\\_Rice\\_Kernels](https://www.researchgate.net/publication/280288865_Soaking_Conditions_During_Brown_Rice_Parboiling_Impact_the_Level_of_Breakage-Susceptible_Rice_Kernels). Acesso em: 03 fev. 2020.

BUGGENHOUT, J. *et al.* The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: a review. **Journal of Food Engineering**, [Oxford], v. 117, n. 3, p. 304-315, Aug. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877413001222>. Acesso em: 03 fev. 2020.

CAKMAK, I. *et al.* Biofortification and localization of zinc in wheat grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [Washington], v. 58, n. 16, p. 9092-9102, Aug. 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23654236/>. Acesso em: 06 fev. 2020.

CAKMAK, I.; KUTMAN, U. B. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. **European Journal of Soil Science**, [Malden], v. 69, n. 1, p. 172–180, Jan. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ejss.12437>. Acesso em: 06 fev. 2020.

CHAMPAGNE, E. T. The rice grain and its gross composition. *In*: CHAMPAGNE, E. T. (ed.). **Rice chemistry and technology**. 3th ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2004. p. 77-107.

COSTA, N. Q. *et al.* Aceitabilidade de formulações de baião-de-dois elaboradas a partir de arroz integral e feijão caupi biofortificados. *In: REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL E REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL*, 5., 2015, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2015.

CUSTÓDIO, M. C. *et al.* Rice quality: how is defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists? **Trends in Food Science & Technology**, [London], v. 92, p. 122-137, Out. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224417306131>. Acesso em: 06 fev. 2020.

CZERNY, M. *et al.* Re-investigation on odour thresholds of key food aroma compounds and development of an aroma language based on odour qualities of defined aqueous odorant solutions. **European Food Research and Technology**, [New York], v. 228, p. 265-273, Aug. 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-008-0931-x>. Acesso em: 07 fev. 2020.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. **Química de alimentos de Fennema**. BRANDELLI, A. *et al.* (trad.). 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DEMONT, M.; NDOUR, M. Upgrading rice value chains: experimental evidence from 11 African markets. **Global Food Security**, [Amsterdam], v. 5, p. 70-76, June 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211912414000418>. Acesso em: 05 fev. 2021.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. FAOSTAT. **Commodities by country**. 2019a. Disponível em: [http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities\\_by\\_country\\_imports](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities_by_country_imports). Acesso em: 01 set. 2019.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. FAOSTAT. **Commodities by country: rankings**. 2021b. Disponível em: [http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities\\_by\\_country](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities_by_country). Acesso em: 27 jan. 2021.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. FAOSTAT. **Crops**. 2019b. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 07 set. 2019.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. FAOSTAT. **Crops**. 2021a. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 27 jan. 2021.

FONSECA, H. *et al.* **Arroz: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia: FEALQ, 1983. 2 v, 170 p.

FRITZGERALD, M. A.; MCCOUCH, S. R.; HALL, R. D. Not just a grain of rice: the quest for quality. **Trends in Plant Science**, [London], v. 14, n. 3, p. 133-139, Mar. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1360138509000430>. Acesso em: 10 fev. 2020.

FRITZGERALD, M. Starch. *In*: CHAMPAGNE, E. T. (ed.). **Rice chemistry and technology**. 3rd ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2004. p. 109-141.

GHARIBZAHEDI, S. M. T.; JAFARI, S. M. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. **Trends in Food Science & Technology**, [London], v. 62, p. 119-132, Apr. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224416306203>. Acesso em: 10 fev. 2021.

GHOSH, S.; DATTA, K.; DATTA, S. K. Rice vitamins. *In*: BAO, J. (ed.). **Rice chemistry and technology**. 4th ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2019. p. 195-220.

GUL, K. *et al.* Rice bran: nutritional values and its emergency potential for development of functional food – a review. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, [United Kingdom], v. 6, n. 1, p. 24-30, 2015. Disponível em: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-8a4473fc-3204-3d16-9395-1f212e5cb4fb>. Acesso em: 01 fev. 2021.

HARVESTPLUS. **Biofortification Priority Index: zinc deficiency**. 2019. Disponível em: [https://bpi.harvestplus.org/subindex\\_micronutrients.html?id=c2](https://bpi.harvestplus.org/subindex_micronutrients.html?id=c2). Acesso em: 22 out. 2019.

HARVESTPLUS. **Combatendo a fome oculta com alimentos mais nutritivos**. 2015. Disponível em: <https://www.harvestplus.org/file/967/download?token=dgpIV24L>. Acesso em: 21 out. 2019.

HARVESTPLUS. **Crops**. 2020. Disponível em: <https://www.harvestplus.org/what-we-do/crops>. Acesso em: 23 mar. 2020.

HARVESTZINC. **HarvestZinc Fertilizer Project**. 2019. Disponível em: <https://www.harvestzinc.org/harvestzinc-fertilizer-project/harvestzinc-fertilizer-project>. Acesso em: 21 out. 2019.

HEINEMANN, J. B. *et al.* Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, [San Diego], v. 18, n. 4, p. 287-296, June 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157504001309>. Acesso em: 30 jan. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA - Levantamento sistemático da produção agrícola**. IBGE, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Acesso em: 19 ago. 2019.

JULIANO, B. O.; BETCHEL, D. B. The rice grain and its gross composition. *In*: JULIANO, B. O. (ed.). **Rice chemistry and technology**. 2. ed. American Association of Cereal Chemists, 1985. p. 17-57.

- JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993. Disponível em: <http://www.fao.org/3/t0567e/T0567E00.htm#Contents>. Acesso em: 10 set. 2019.
- JULIANO, B. O.; TUAÑO, A. P. P. Gross structure and composition of the rice grain. *In*: BAO, J. (ed.). **Rice chemistry and technology**. 4. ed. Eagan: American Association of Cereal Chemists, 2019. p. 31-53.
- KENT, N. L. **Technology of cereals**. 3rd ed. Oxford: Pergamont Press, 1983. 221 p.
- KUMAR, A. *et al.* Phytic acid content may affect starch digestibility and glicemic index value of rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [Chichester], v. 100, n. 4, p. 1598-1607, Mar. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.10168>. Acesso em: 12 fev. 2021.
- KWOFIE, E. M.; NAGDI, M. A review of rice parboiling systems, energy supply, and consumption. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [Melville], v. 72, p. 465-472, May 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117300096>. Acesso em: 13 fev. 2021.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.
- MANGUEZE, A. V. de J. *et al.* Simultaneous zinc and selenium biofortification in rice. Accumulation, localization and implications on the overall mineral content of the flour. **Journal of Cereal Science**, [London], v. 82, n. 1, p. 34-41, May 2018. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900261158>. Acesso em: 15 fev. 2021.
- MASUNAGA, T. *et al.* Anti-cancer activity of the cell membrane-permeable phytic acid prodrug. **Bioorganic Chemistry**, [San Diego], v. 92, Nov. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045206819308399>. Acesso em: 17 ago. 2021.
- MAYER, J. E.; PFEIFFER, W. H.; BEYER, P. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. **Current Opinion in Plant Biology**, [London], v. 11, n. 2, p. 166-170, Apr. 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18314378/>. Acesso em: 24 fev. 2021.
- MESSIA, M. C.; IAFELICE, G.; MARCONI, E. Effect of parboiling on physical and chemical characteristics and non-enzymatic browning of emmer (*Triticum dicoccon* Scharank). **Journal of Cereal Science**, [London], v. 56, n. 2, p. 147-152, Sept. 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/257239242\\_Effect\\_of\\_parboiling\\_on\\_physical\\_and\\_chemical\\_characteristics\\_and\\_non-enzymatic\\_browning\\_of\\_emmer\\_Triticum\\_dicoccon\\_Schrank](https://www.researchgate.net/publication/257239242_Effect_of_parboiling_on_physical_and_chemical_characteristics_and_non-enzymatic_browning_of_emmer_Triticum_dicoccon_Schrank). Acesso em: 06 fev. 2021.
- MESTRES, C.; BRIFFAZ, A.; VALENTIN, D. Rice cooking and sensory quality. *In*: BAO, J. (ed.). **Rice chemistry and technology**. 4th ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2019. p. 385-426.

MIAH, M. A. K. *et al.* Parboiling of rice. Part I: effect of hot soaking time of quality of milled rice. **International Journal of Food Science and Technology**, [Malden], v. 37, p. 539–545, 2002. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Parboiling-of-rice.-Part-I%3A-Effect-of-hot-soaking-Miah-Haque/95cd5da3b1710c02101f6d67ac1b812eab0b8ca8>. Acesso em: 23 fev. 2021.

MIR, S. A. *et al.* Rice: parboiling and milling properties. **International Journal of Food Engineering**, [Berkeley], v. 11, n. 6, p. 777-787, Oct. 2015. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/ijfe-2015-0204/html>. Acesso em: 22 fev. 2021.

MY, N. H. D. *et al.* What is the value of sustainably-produced rice? Consumer evidence from experimental auctions in Vietnam. **Food Policy**, [Oxford], v. 79, p. 283-296, Aug. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919217306462>. Acesso em: 01 fev. 2021.

NASIRAHMADI, A. *et al.* Influence of moisture content variety and parboiling on milling quality of rice grains. **Rice Science**, [Amsterdam], v. 21, n. 2, p. 116-122, Mar. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1672630813601699>. Acesso em: 05 fev. 2021.

NRIAGU, J. **Zinc toxicity in humans**. Amsterdam: Elsevier, 2007. 7 p.

NUTTI, M. Entrevista: Marília Nutti. **Aditivos e ingredientes**. 2015. Disponível em: [http://aditivosingredientes.com.br/upload\\_arquivos/201601/201610171360001453470224.pdf](http://aditivosingredientes.com.br/upload_arquivos/201601/201610171360001453470224.pdf). Acesso em: 05 maio 2019.

NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. de; RODRIGUES, P. S. M. O progresso das ações de Biofortificação no Brasil. **Boletim da SCBS: A Biofortificação em debate**, Viçosa, v. 42, n. 2, p. 24-27, maio/ago. 2016. Disponível em: [https://www.sbc.org.br/wp-content/uploads/2016/10/vol42\\_n2.pdf](https://www.sbc.org.br/wp-content/uploads/2016/10/vol42_n2.pdf). Acesso em: 23 fev. 2021.

NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. de; WATANABE, E. A biofortificação como ferramenta para combate a deficiências em micronutrientes. *In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE GEOLOGIA MÉDICA*, 2006, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. p. 43-46.

OLIVEIRA NETO, A. A. de (org.). **A cultura do arroz**. Brasília: CONAB, 2015. 180 p.

PAIVA, F. F. *et al.* Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. **Food Chemistry**, [Oxford], v. 191, p. 105-112, Jan. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814615002186>. Acesso em: 12 fev. 2021.

PUNIA, S. *et al.* Rice bran oil: emerging trends in extraction, health benefit, and its industrial application. **Rice Science**, [Amsterdam], v. 28, n. 3, p. 217-232, May 2021. Disponível em: Acesso em: 08 jun. 2021.

ROCHA-VILLARREAL, V.; SERNA-SALDIVAR, S. O.; GARCÍA-LARA, S. Effects of parboiling and other hydrothermal treatments on the physical, functional, and nutritional properties of rice and other cereal. **Cereal Chemistry**, [United States], v. 95, n. 1, p. 79-91, Jan./Feb. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cche.10010>. Acesso em: 06 fev. 2021.

SANTIAGO, C. M.; BRESEGHELLO, H. C. P.; FERREIRA, C. M. **Arroz: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2 ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

SHAO, Y.; BAO, J. Rice phenolics and other natural products. *In*: BAO, J. (ed.). **Rice chemistry and technology**. 4. ed. American Association of Cereal Chemists, 2019. p. 221–271.

SHETTY, P. Incorporating nutritional considerations when addressing food insecurity. **Food Security**, [New York], v. 1, n. 4, p. 431–440, Oct. 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12571-009-0039-6>. Acesso em: 03 fev. 2021.

TONG, C.; BAO, J. Rice lipids and rice bran oil. *In*: BAO, J. (ed.). **Rice chemistry and technology**. 4. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2019. p. 131–168.

TORREZAN, R.; FRAZIER, R. A.; CRISTIANINI, M. Efeito do tratamento sobre alta pressão isostática sobre os teores de fitato e inibidor de tripsina de soja. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 28, n. 2, p. 179-186, jul./dez. 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/876419>. Acesso em: 03 fev. 2021.

VERGÜTZ, L. *et al.* Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. **Boletim da SCBS: A Biofortificação em Debate**, Viçosa, v. 42, n. 2, p. 20–23, maio/ago. 2016. Disponível em: [https://www.sbcs.org.br/wp-content/uploads/2016/10/vol42\\_n2.pdf](https://www.sbcs.org.br/wp-content/uploads/2016/10/vol42_n2.pdf). Acesso em: 23 fev. 2021.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. de. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, jul. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/7BvBvNmSXsVn8whkhy6Btww/?lang=pt>. Acesso em: 08 ago. 2021.

WARTHA, E. R. S. A. *et al.* Aceitabilidade de farinha de milho biofortificado (Flocão) como ingrediente no preparo de cuscuz. *In*: REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL E REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 5., 2015, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2015.

WEE, Y. *et al.* Inositol hexaphosphate modulates the behavior of macrophages through alteration of gene expression involved in pathways of pro- and anti-inflammatory responses, and resolution of inflammation pathways. **Food Science & Nutrition**, [Hoboken], v. 9, n. 6, p. 3240-3249, June 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.2286>. Acesso em: 22 jul. 2021.



WEI, X.; HUANG, X. Origin, taxonomy, and phylogenetics of rice. *In*: BAO, J. (ed.). **Rice chemistry and technology**. 4th ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2019. p. 1–29.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Diarrhoeal disease**. 2021. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease>. Acesso em: 28 jan. 2021.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Zinc supplementation and growth in children**. 2019a. Disponível em: [https://www.who.int/elena/titles/zinc\\_stuting/en/](https://www.who.int/elena/titles/zinc_stuting/en/). Acesso em: 20 out. 2019.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Zinc supplementation in children with respiratory infections**. 2019b. Disponível em: [https://www.who.int/elena/titles/zinc\\_pneumonia\\_children/en/](https://www.who.int/elena/titles/zinc_pneumonia_children/en/). Acesso em: 20 out. 2019.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Zinc supplementation in the management of diarrhoea**. 2019c. Disponível em: [https://www.who.int/elena/titles/zinc\\_diarrhoea/en/](https://www.who.int/elena/titles/zinc_diarrhoea/en/). Acesso em: 20 out. 2019.

ZHAO, W.-M.; GATEHOUSE, J. A.; BOULTER, D. The purification and partial amino-acid sequence of a polypeptide from the glutelin fraction of rice grains-homology to pea legumin. **FEBS Letters**, [Amsterdam], v. 162, n. 1, p. 96-102, Oct. 1983.

## SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

Normas da NBR 6022 (ABNT, 2018)

### **ARTIGO 1 - EFEITO DA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM Zn E DA PARBOILIZAÇÃO NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DO ARROZ**

Luíza Aparecida Carneiro Fernandes<sup>1</sup>, Luiz Roberto Guimarães Guilherme<sup>2</sup>, Ana Paula Branco Corguinha<sup>2</sup>, Fábio Aurélio Dias Martins<sup>3</sup>, Joelma Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, CP 3037, Campus UFLA, Lavras, MG, 37200-900, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Ciência dos Solos, Universidade Federal de Lavras, CP 3037, Campus UFLA, Lavras, MG, 37200-900, Brasil.

<sup>3</sup> Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Lavras, MG, 37200-900, Brasil.

#### **RESUMO**

A deficiência de Zn acomete principalmente mulheres grávidas e crianças menores de cinco anos e sua incidência é maior em países em desenvolvimento, onde grande parte da população não tem acesso a uma dieta nutricionalmente satisfatória. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência da biofortificação agronômica com Zn, cultivar BRS A 501 CL parboilizada e não parboilizada. Também foram realizadas análises de renda do benefício, rendimento do grão, classificação com base na legislação brasileira, propriedades de cocção, cor e teor de cinzas. Os teores de Zn no endosperma variaram entre 15,61 mg/kg e 29,25 mg/kg, sendo que os maiores valores foram obtidos para os tratamentos nos quais a biofortificação ocorreu por aplicação foliar. A parboilização aumentou o teor de Zn no endosperma para o arroz que passou pelos seguintes tratamentos: biofortificação via solo, 46 kg de N/ha e biofortificação via foliar + 46 kg de N/ha.

**Palavras-chaves:** Arroz de terras altas. Zn no combate à fome oculta. Biofortificação agronômica de arroz.

## 1 INTRODUÇÃO

A causa mais comum para a deficiência de micronutrientes é a limitada variedade de alimentos a que a população mundial tem acesso, principalmente em países mais pobres como os localizados no sul da Ásia, na África e na América Latina (FAO *et al.*, 2020; MILLER; WELCH, 2013; VERGÜTZ *et al.*, 2016). Essa deficiência afeta 2 bilhões de pessoas no mundo, sendo desse total 340 milhões de crianças (FAO *et al.*, 2020). A biofortificação de alimentos, seja por meio de técnicas genéticas ou de aplicação de fertilizantes, é uma alternativa para combater o déficit de micronutrientes (CAKMAK *et al.*, 2010; MAJUMDER; DATTA; DATTA, 2019).

A deficiência de zinco (Zn) atinge, aproximadamente,  $\frac{1}{3}$  da população mundial (HEFFERON, 2019). O Zn participa da síntese de enzimas e ácidos nucleicos (DNA e RNA) (MAYER; PFEIFFER; BEYER, 2008) e sua ausência pode ocasionar deficiência no sistema imune e no crescimento (CAKMAK *et al.*, 2010).

O processo de parboilização é uma alternativa ao fortalecimento nutricional do grão de arroz (*Oryza sativa* L.). O processo é composto pelas etapas de encharcamento, gelatinização e secagem (BUGGENHOUT *et al.*, 2013), além de promover a gelatinização dos grãos e mudanças no teor nutricional (ROCHA-VILLARREAL; SERNA-SALDIVAR; GARCÍA-LARA, 2018). A parboilização é muito comum no processamento de arroz, mas também pode ser aplicada ao trigo (MESSIA; IAFELICE; MARCONI, 2012), milho (BORA; RAGAE; MARCONE, 2019) e milho (ROCHA-VILLARREAL *et al.*, 2018).

O arroz é responsável por fornecer a energia necessária para  $\frac{2}{3}$  da população mundial, principalmente em países da América Latina, Caribe e Ásia (SEN; CHAKRABORTY; KALITA, 2020). Em função do grande consumo, o arroz é uma excelente escolha para combater a fome oculta através da biofortificação e estudos vêm sendo conduzidos não apenas em relação ao Zn, mas também com selênio (LESSA *et al.*, 2019; MANGUEZE *et al.*, 2018), ferro (PAUL *et al.*, 2012) e  $\beta$ -caroteno (precursor da vitamina A) (DATTA *et al.*, 2006).

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência da biofortificação de uma variedade de arroz de terras altas, com zinco. Além disso, também foi investigado o efeito da biofortificação na parboilização e nos parâmetros de cozimento no arroz parboilizado e no arroz não parboilizado.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

As amostras de arroz da cultivar BRS A501 CL biofortificadas com zinco foram cedidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e pelo Departamento de Ciências do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras. A cultivar foi semeada em esquema de Blocos Casualizados (DBC), com 4 repetições, em parcelas de 10 m<sup>2</sup> na cidade de Lavras, Minas Gerais (21°14'S e 44° 59'W) na safra de 2018/2019.

Os tratamentos de biofortificação com Zn dispensados à cultivar de arroz BRS A501 CL estão relatados na Tabela 1.

Tabela 1 - Biofortificação com Zn aplicados à cultivar de arroz BRS A501 CL.

| Tratamentos | Descrição da adubação  |                 |                    |
|-------------|------------------------|-----------------|--------------------|
|             | kg Zn ha <sup>-1</sup> | Outro nutriente | Local da aplicação |
| 1           | 00                     |                 | -                  |
| 2           | 10                     |                 | Solo               |
| 3           | 01                     |                 | Foliar             |
| 4           | 05                     |                 | Foliar             |
| 5           | 05                     | 6,9 kg de N/ha  | Foliar             |
| 6           |                        | 46 kg de N/ha   | Cobertura          |
| 7           | 01                     | 46 kg de N/ha   | Foliar/Cobertura   |

Fonte: Da autora (2021).

### 2.2 Isotermas de absorção de água e parboilização

Para a obtenção do tempo ótimo de encharcamento necessário para a parboilização, foram confeccionadas isotermas de absorção de água (APÊNDICE B), conforme metodologia adaptada de Elias (1998). As amostras de arroz em casca foram acondicionadas em sacos de tecido de tule fino previamente identificados e imersos em béqueres de vidro e acondicionados em banho-maria (marca FANEM, modelo 147, Brasil) a 65 °C, de acordo com a interpretação da análise de temperatura de gelatinização. O tempo total de encharcamento dos grãos foi de 480 minutos e a cada 60 minutos, aproximadamente 2 gramas de amostras, para cada repetição,

foram retiradas do banho-maria, drenadas do excesso de água, pesadas em balança analítica (Precision, AA - 250, Brasil) e levadas para secagem em estufa (marca Datamed, modelo 320-SE, Brasil) a 105 °C/24h e pesadas novamente para o cálculo da umidade.

De posse dos valores de umidade e tempo foram confeccionadas isotermas de absorção de água, o que permitiu obter o tempo ótimo de encharcamento para cada tratamento, considerando a observação de Amato, Carvalho e Silveira Filho (2002) de que a umidade ideal para a parboilização está entre 30% e 32%.

Para o processo de parboilização, aproximadamente 115 gramas de arroz em casca de cada parcela constituinte do experimento foram colocadas em sacos de tecido de tule fino previamente identificados e colocados em béqueres de vidro de 1 litro (marca Uniglass, Brasil) com proporção de arroz: água de 1:1,5 e deixadas em banho-maria a 65 °C  $\pm$  2 °C, pelo tempo ótimo de encharcamento. A temperatura do banho foi monitorada durante todo o experimento.

Ao final do encharcamento, depois de drenado o excesso de água, as amostras foram levadas para a autoclave (marca Soc. Fabbe Ltda, modelo 104cb, Brasil) sob as condições de 0,5 atm/121 °C/10 minutos. Depois de autoclavadas, as amostras foram dispostas em telas de *nylon* e secas em condições de ar e temperatura ambiente até atingirem aproximadamente 11% de umidade.

## **2.3 Análises**

### **2.3.1 Temperatura de gelatinização**

A temperatura de gelatinização (Tg) foi estimada seguindo metodologia proposta por Martínéz e Cuevas (1989), na qual as amostras de arroz de cada parcela do experimento foram submetidas à solução de KOH 1,7%, em placa de Petri, por 23 horas a 30 °C, e posteriormente comparadas em uma escala de 7 graus. A classificação seguiu os seguintes critérios: graus 1 a 3 (Tg alta = 74 °C a 80 °C); graus 4 e 5 (Tg intermediária = 69 °C -a 73 °C) e graus 6 e 7 (Tg baixa = 63 °C a 68 °C) (APÊNDICE A).

### **2.3.2 Beneficiamento, renda do benefício, rendimento do grão e classificação**

O beneficiamento das amostras da cultivar de arroz BRS A501 CL, de cada parcela do experimento, seguiu metodologia proposta por Van Ruitten (1985), por meio de engenho de provas (marca Suzuki, M-T 803 -5, Brasil), previamente regulado, da Unidade de

Beneficiamento de Sementes do Departamento de Agricultura (DAG) da UFPA. A renda do benefício (peso do arroz polido/peso do arroz em casca), o rendimento do grão (peso dos grãos inteiros/peso dos grãos inteiros+quebrados) e a classificação do arroz (parboilizado e não parboilizado) foram realizadas segundo a Instrução Normativa nº6, de 29 de fevereiro de 2009.

Para a classificação do arroz parboilizado, a análise de grãos não gelatinizados (GNG) (APÊNDICE C) seguiu metodologia adaptada de Amato (1988).

As Tabelas 2 e 3 presentes na legislação e usadas para classificar o arroz foram:

Tabela 2 - Classificação do Arroz em Casca Natural - Limites máximos de tolerância expressos em %/peso.

| <b>Tipo</b> | <b>Ardidos</b> | <b>Picados ou Manchados</b> | <b>Gessados e Verdes</b> | <b>Rajados</b> | <b>Amarelos</b> |
|-------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|----------------|-----------------|
| 1           | 0,15           | 1,75                        | 2,00                     | 1,00           | 0,50            |
| 2           | 0,30           | 3,00                        | 4,00                     | 1,50           | 1,00            |
| 3           | 0,50           | 4,50                        | 6,00                     | 2,00           | 2,00            |
| 4           | 1,00           | 6,00                        | 8,00                     | 3,00           | 3,00            |
| 5           | 1,50           | 8,00                        | 10,00                    | 4,00           | 5,00            |

Fonte: Anexo II MAPA IN 06/2009 com alterações da IN MAPA 02/2012.

Tabela 3 - Classificação do Arroz em Casca Parboilizado - Limites máximos de tolerância expressos em %/peso.

| <b>Tipo</b> | <b>Ardidos e Enegrecidos</b> | <b>Não gelatinizados</b> | <b>Danificados</b> | <b>Rajados</b> | <b>Picados ou Manchados</b> |
|-------------|------------------------------|--------------------------|--------------------|----------------|-----------------------------|
| 1           | 0,20                         | 20,00                    | 0,50               | 1,00           | 1,75                        |
| 2           | 0,40                         | 25,00                    | 1,00               | 1,50           | 3,00                        |
| 3           | 0,60                         | 35,00                    | 1,50               | 2,00           | 4,50                        |
| 4           | 0,80                         | 45,00                    | 2,00               | 3,00           | 6,00                        |
| 5           | 1,00                         | 55,00                    | 3,00               | 4,00           | 8,00                        |

Observação: O limite máximo de tolerância admitido para grão não parboilizado é de 0,30 (zero vírgula trinta por cento) para todos os tipos. Acima desse limite o produto será considerado como Fora de Tipo.

Fonte: Anexo III MAPA IN 06/2009 com alterações da IN MAPA 02/2012.

### 2.3.3 Testes de cocção

#### 2.3.3.1 Tempo ótimo de cozimento (CIACO; CHANG, 1986; HUMMEL, 1966):

10 g de arroz (grãos inteiros) sem casca, de cada parcela do experimento, foram adicionados em 500 mL de água destilada em ebulição. Depois de 15 minutos, três grãos de arroz foram retirados e pressionados entre duas placas de vidro para avaliar o cozimento. O arroz foi considerado cozido quando os três grãos não apresentavam mais o centro opaco.

#### 2.3.3.2 Índice de absorção de água (DONNELLY, 1979; HUMMEL, 1966):

10 g de arroz cru (grãos inteiros) sem casca, de cada parcela do experimento, foram pesados, cozidos pelo tempo ótimo de cozimento e pesados novamente. O índice de absorção de água foi calculado pela razão entre o peso do arroz cozido e o peso do arroz cru.

#### 2.3.3.3 Coeficiente de expansão de volume (CIACCO; CHANG, 1986; DONNELLY, 1979):

10 g de arroz cru (grãos inteiros) sem casca, de cada parcela do experimento, foram adicionados a uma proveta de 250 mL contendo 100 mL de querosene e anotou-se o deslocamento de volume. Posteriormente, 10 g de arroz cozidos, pelo tempo ótimo de cozimento, foram adicionados à proveta contendo 100 mL de querosene. O coeficiente de expansão do volume foi fornecido pela razão entre o volume deslocado pelo arroz cozido e o volume deslocado pelo arroz cru.

#### 2.3.3.4 Perda de sólidos solúveis (CIACCO; CHANG, 1986; MARADINI FILHO, 1983):

10 g de arroz (grãos inteiros) sem casca, de cada parcela do experimento, foram cozidos em 500 mL de água destilado pelo tempo ótimo de cozimento. Ao final, o volume da água de cozimento foi medido, 10 mL dessa água foram coletados em placa de Petri, a qual foi levada para uma estufa a 95 °C por 5 horas. E posteriormente calculada a perda de sólidos solúveis, de acordo com a fórmula 1:

$$\text{Perda de sólidos solúveis: } \frac{\frac{(\text{volume de água-resíduo seco} \cdot 100)}{\text{aliquota}}}{\text{peso do arroz cru}} \quad (1)$$

### 2.3.4 Análise instrumental da cor

A análise instrumental da cor dos grãos de arroz foi executada com o auxílio de um espectrofotômetro (marca Konica Minolta, modelo CM -5, Japão), com iluminante D<sub>65</sub>, que forneceu os atributos L\*, que diz respeito à claridade da amostra e varia do branco (L=100) até o preto (L=0); a, que representa do vermelho (+a) ao verde (-a); b, que analisa a região do amarelo (+b) até o azul (-b); chroma, que é a saturação da cor e está relacionado aos atributos a e b; o ângulo Hue (°Hue), expresso em graus, podendo apresentar valores entre (+ a, vermelho, 0°), (-a, verde, 180°), (+b, amarelo, 90°) e (-b, azul, 270°). A diferença total de cor ( $\Delta E$ ) apresentada na fórmula 2, foi calculada a partir dos dados de L\*, a e b.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + ((\Delta b)^2 + (\Delta a)^2)} \quad (2)$$

### 2.3.5 Teor de Cinzas

O teor de cinzas dos grãos de arroz foi determinado pelo método 923.03 da *Association of Official Agricultural Chemists* (AOAC, 2002), pela calcinação das amostras em mufla a 550 °C.

### 2.3.6 Teor de zinco

Os teores de Zn da casca, do farelo+gérmen e do endosperma do arroz foram obtidos através de espectrofotometria de absorção atômica, precedida por digestão nitro-perclórica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

## 2.4 Delineamento experimental

As análises foram conduzidas em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial 2 x 7 (dois níveis de parboilização - parboilizado e não parboilizado - e sete tratamentos), com três repetições cada, totalizando 42 parcelas.

## 2.5 Análise estatística

Os resultados das análises realizadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA)



e quando as médias foram significativas, elas foram comparadas pelo teste de Tukey com 5% de significância. O programa utilizado foi o Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

Além disso, o programa R versão 4.0.4 (R CORE TEAM, 2021) juntamente com os pacotes FactoMineR (LÊ; JOSSE; HUSSON, 2008) e Factoextra foram utilizados para aplicar a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise Hierárquica de Clusters (HCA) nos dados obtidos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da Análise de Variância para características fenotípicas do beneficiamento, cinzas, qualidade tecnológica, atributos de cor e teor de Zn dos grãos de arroz da cultivar BRS A501 CL estão apresentados na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4 - Tabela da Análise de Variância (ANOVA) para as características fenotípicas de renda do benefício, rendimento do grão, teor de cinzas, tempo ótimo de cozimento, coeficiente de expansão do volume, índice de absorção de água, perda de sólidos solúveis, L\*, a, b, Chroma, Hue,  $\Delta E$ , teor de zinco na casca, teor de zinco no Farelo+gérmen e teor de zinco no endosperma (Continua).

| Características Fenotípicas       |      | Efeitos       |            |                           | CV (%) | Média Geral |
|-----------------------------------|------|---------------|------------|---------------------------|--------|-------------|
|                                   |      | Parboilização | Tratamento | Parboilização* Tratamento |        |             |
| Renda do Benefício                | QM   | 0,0826        | 4,4670     | 5,8108                    | 2,31   | 74,70       |
|                                   | Pr>F | 0,87          | 0,21       | 0,11                      |        |             |
| Rendimento do grão                | QM   | 613,4142      | 12,2699    | 6,2415                    | 2,68   | 90,91       |
|                                   | Pr>F | <0,01         | 0,09       | 0,41                      |        |             |
| Teor de Cinzas                    | QM   | 0,0522        | 0,0143     | 0,0056                    | 2,41   | 0,72        |
|                                   | Pr>F | <0,01         | <0,01      | <0,01                     |        |             |
| Tempo ótimo de cozimento          | QM   | 32,5952       | 5,2063     | 2,7619                    | 4,35   | 18,45       |
|                                   | Pr>F | <0,01         | <0,01      | <0,01                     |        |             |
| Coeficiente de expansão de volume | QM   | 38957,1224    | 6654,7998  | 2091,6285                 | 5,24   | 394,15      |
|                                   | Pr>F | <0,01         | <0,01      | <0,01                     |        |             |
| Índice de absorção de água        | QM   | 5791,3423     | 1216,8560  | 258,0000                  | 1,31   | 270,45      |
|                                   | Pr>F | <0,01         | <0,01      | <0,01                     |        |             |
| Perda de sólidos solúveis         | QM   | 102,2112      | 0,2717     | 1,2257                    | 10,09  | 7,39        |
|                                   | Pr>F | <0,01         | 0,81       | 0,07                      |        |             |

Tabela 4 - Tabela da Análise de Variância (ANOVA) para as características fenotípicas de renda do benefício, rendimento do grão, teor de cinzas, tempo ótimo de cozimento, coeficiente de expansão do volume, índice de absorção de água, perda de sólidos solúveis, L\*, a, b, Chroma, Hue,  $\Delta E$ , teor de zinco na casca, teor de zinco no Farelo+gérmen e teor de zinco no endosperma (Conclusão).

| Características fenotípicas      |      | Efeitos       |            |                           | CV (%) | Média Geral |
|----------------------------------|------|---------------|------------|---------------------------|--------|-------------|
|                                  |      | Parboilização | Tratamento | Parboilização* Tratamento |        |             |
| L*                               | QM   | 1524,7274     | 7,8333     | 7,9047                    | 1,84   | 67,85       |
|                                  | Pr>F | <0,01         | <0,01      | <0,01                     |        |             |
| a                                | QM   | 71,3859       | 0,4060     | 1,0428                    | 19,15  | 2,54        |
|                                  | Pr>F | <0,01         | 0,12       | <0,01                     |        |             |
| b                                | QM   | 657,7373      | 0,1778     | 1,3251                    | 2,17   | 20,77       |
|                                  | Pr>F | <0,01         | 0,52       | <0,01                     |        |             |
| Chroma                           | QM   | 610,8524      | 2,9432     | 2,6613                    | 9,12   | 20,77       |
|                                  | Pr>F | <0,01         | 0,55       | 0,62                      |        |             |
| °Hue                             | QM   | 212,9140      | 3,0593     | 6,4366                    | 1,40   | 83,19       |
|                                  | Pr>F | <0,01         | 0,04       | <0,01                     |        |             |
| $\Delta E$                       | QM   | 1720,4290     | 4,9167     | 9,6311                    | 23,29  | 4,63        |
|                                  | Pr>F | <0,01         | <0,01      | <0,01                     |        |             |
| Teor de zinco na Casca           | QM   | 48,2036       | 10416,0128 | 445,0293                  | 5,71   | 90,91       |
|                                  | Pr>F | 0,19          | <0,01      | <0,01                     |        |             |
| Teor de zinco no Farelo + gérmen | QM   | 468737,3571   | 7159,6500  | 9394,8321                 | 4,22   | 284,75      |
|                                  | Pr>F | <0,01         | <0,01      | <0,01                     |        |             |
| Teor de zinco no Endosperma      | QM   | 118,0273      | 97,3359    | 7,9533                    | 9,22   | 22,46       |
|                                  | Pr>F | <0,01         | <0,01      | 0,12                      |        |             |

QM: Quadrado médio. C. V.: Coeficiente de variação.

Fonte: Da autora (2021).

### 3.1 Renda do benefício e rendimento do grão

Na Tabela 5 podem ser observados os valores obtidos para as análises de renda do benefício e rendimento dos grãos de arroz da cultivar BRS A501 CL no beneficiamento.

Tabela 5 - Valores médios de renda do benefício e rendimento do grão mais desvio padrão para arroz biofortificado com zinco parboilizado e arroz biofortificado com zinco não parboilizado da cultivar BRS A501 CL\*.

| Tratamentos** | Renda do benefício (%)     |                            | Rendimento de grãos inteiros em relação aos grãos polidos (%) |                            |
|---------------|----------------------------|----------------------------|---|----------------------------|
|               | Não Parboilizado           | Parboilizado               | Não Parboilizado  | Parboilizado               |
| 1             | 75,42 ± 1,03 <sup>aA</sup> | 76,83 ± 3,50 <sup>aA</sup> | 83,26 ± 1,28 <sup>aB</sup>                                    | 93,03 ± 2,61 <sup>aA</sup> |
| 2             | 75,45 ± 0,86 <sup>aA</sup> | 73,74 ± 0,62 <sup>aA</sup> | 85,26 ± 0,86 <sup>aB</sup>                                    | 95,36 ± 0,46 <sup>aA</sup> |
| 3             | 75,34 ± 0,12 <sup>aA</sup> | 74,32 ± 0,77 <sup>aA</sup> | 88,22 ± 1,23 <sup>aB</sup>                                    | 95,76 ± 0,65 <sup>aA</sup> |
| 4             | 75,06 ± 0,20 <sup>aA</sup> | 73,27 ± 0,49 <sup>aA</sup> | 88,52 ± 2,90 <sup>aB</sup>                                    | 92,58 ± 7,45 <sup>aA</sup> |
| 5             | 73,65 ± 1,31 <sup>aA</sup> | 73,01 ± 4,16 <sup>aA</sup> | 88,70 ± 1,40 <sup>aB</sup>                                    | 96,14 ± 0,27 <sup>aA</sup> |
| 6             | 74,28 ± 0,26 <sup>aA</sup> | 75,01 ± 0,62 <sup>aA</sup> | 88,34 ± 1,15 <sup>aB</sup>                                    | 94,84 ± 1,26 <sup>aA</sup> |
| 7             | 73,37 ± 2,56 <sup>aA</sup> | 77,01 ± 0,50 <sup>aA</sup> | 87,32 ± 1,41 <sup>aB</sup>                                    | 95,42 ± 0,76 <sup>aA</sup> |

\* Médias ± desvio padrão de três repetições. Valores médios para cada atributo seguidos de mesma letra minúscula, na mesma coluna e de mesma letra maiúscula, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% ( $p \geq 0,05$ ) para cada atributo.

\*\* Tratamento 1: Controle; Tratamento 2: 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo); Tratamento 3: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar), Tratamento 4: 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar; Tratamento 5: 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar); Tratamento 6: 46 kg de N/ha; Tratamento 7: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha.

Fonte: Da autora (2021).

Os valores de renda do benefício dos grãos de arroz da cultivar BRS A501 CL não apresentaram diferença em função das concentrações de zinco nem do processo de parboilização aplicado.

Em relação ao rendimento dos grãos não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Entretanto, as amostras parboilizadas apresentaram rendimento de grãos maior do que aquelas que não passaram por esse processo. Esse processo hidrotérmico é capaz de preencher pequenas fissuras e espaços de ar, no grão, por meio de gelatinização do amido (MIR *et al.*, 2015), o que justifica o aumento de grãos inteiros durante o beneficiamento.

Paraginski *et al.* (2014) observaram, para grãos de arroz parboilizado, valores de renda do benefício na faixa de 81,43% e 81,94%, já em relação ao rendimento os resultados obtidos, para o arroz parboilizado, estavam entre 71,54% e 72,21%. Souza (2018), estudando arroz biofortificado com zinco, ferro, iodo e selênio, encontrou valores de renda do benefício entre 63% e 68%, já o resultado do rendimento do grão obtido estava entre 30% e 60%. Tais valores estão próximos dos apresentados neste estudo.

### 3.2 Classificação

As amostras foram classificadas segundo a Instrução Normativa (IN) nº 6 de 29 de fevereiro de 2009, do MAPA (TABELA 6).

Tabela 6 - Classificação para arroz biofortificado com zinco parboilizado e arroz biofortificado com zinco não parboilizado da cultivar BRS A501 CL, de acordo com IN N°6, 29/02/2009.

| Tratamentos* | Classificação (IN N°6, 29/02/2009) |                 |
|--------------|------------------------------------|-----------------|
|              | Não Parboilizado                   | Parboilizado    |
| 1            | Tipo 4                             | Desclassificado |
| 2            | Tipo 5                             | Desclassificado |
| 3            | Tipo 4                             | Desclassificado |
| 4            | Fora de tipo                       | Desclassificado |
| 5            | Tipo 5                             | Desclassificado |
| 6            | Fora de tipo                       | Desclassificado |
| 7            | Fora de tipo                       | Desclassificado |

\* Tratamento 1: Controle; Tratamento 2: 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo); Tratamento 3: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar); Tratamento 4: 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar); Tratamento 5: 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar); Tratamento 6: 46 kg de N/ha; Tratamento 7: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha.

Fonte: Da autora (2021).

Para a classificação dos tratamentos que não passaram pela parboilização foram analisados os seguintes defeitos: ardidos, picados/manchados, gessados/verdes, rajados e amarelos. Os tratamentos 1 (controle), 2 (10 kg de Zn/ha via aplicação no solo), 3 (1 kg de Zn/ha via aplicação foliar) e 5 (5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha via aplicação foliar) foram classificados, respectivamente, como TIPO 4, TIPO 5, TIPO 4 e TIPO 5. O tratamento 4 (5 kg de Zn/ha via aplicação foliar) foi enquadrado como FORA DE TIPO por apresentar um percentual de grãos picados/manchados (FIGURA 1A) de 9,58%, sendo o limite máximo para esse defeito de 8%. Os tratamentos 6 (46 kg de N/ha) e 7 (1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha) apresentaram um percentual de grãos ardidos de, respectivamente, 4,47% e 3,83%, sendo o valor máximo permitido 1,50%.

O arroz classificado como FORA DE TIPO pela presença de defeitos de grãos quebrados, picados/manchados, não parboilizados, não gelatinizados, amarelos, danificados, gessados/verdes e marinheiros, podem ser rebeneficiados para enquadramento em um tipo descrito pela legislação ou comercializados desde que a rotulagem deixe claro a identificação como FORA DE TIPO. Entretanto, quando essa classificação ocorre em função de grãos ardidos, enegrecidos, mofados, matérias estranhas e impurezas, o arroz deve, necessariamente, ser rebeneficiado (BRASIL, 2009).

Para o arroz parboilizado, foram analisados os percentuais de ardidos/enegrecidos, não gelatinizados, danificados, rajados e picados/manchados e, ao final, foram considerados como DESCLASSIFICADOS, em função de todos os tratamentos terem apresentado percentual de grãos ardidos/enegrecidos (FIGURA 1B) maior do que 5%. O arroz enquadrado como DESCLASSIFICADO é impróprio para o consumo humano e possui comercialização proibida (BRASIL, 2009).

A classificação realizada acima é uma classificação preliminar e a legislação brasileira permite que o arroz possa ser rebeneficiado para melhoria de tipo e comercializado.

Figura 1 - Defeitos no grão de arroz. A: grãos picados/manchados. B: grãos ardidos/enegrecidos.



Fonte: Da autora (2020).

### **3.3 Testes de cocção**

Os valores encontrados para as propriedades de cocção analisadas estão na Tabela 7.

Tabela 7 - Tempo ótimo de cozimento (TOC), coeficiente de expansão de volume (CEV), índice de absorção de água (IAA) e perda de sólidos solúveis (PSS)  $\pm$  desvio padrão para arroz biofortificado com zinco parboilizado e arroz biofortificado com zinco não parboilizado da cultivar de BRS A501 CL.\*

| Tratamentos** | TOC (min)                          |                                    | CEV (%)                               |                                      | IAA (%)                            |                                     | PSS (%)                          |                                   |
|---------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|               | NP                                 | P                                  | NP                                    | P                                    | NP                                 | P                                   | NP                               | P                                 |
| 1             | 18,33 $\pm$<br>0,58 <sup>bA</sup>  | 15,33 $\pm$<br>0,58 <sup>bB</sup>  | 377,78 $\pm$<br>38,49 <sup>cA</sup>   | 366,67 $\pm$<br>0,00 <sup>abA</sup>  | 254,51 $\pm$<br>7,08 <sup>dA</sup> | 239,87 $\pm$<br>1,22 <sup>bB</sup>  | 8,01 $\pm$<br>0,62 <sup>aA</sup> | 6,26 $\pm$<br>1,48 <sup>aB</sup>  |
| 2             | 20,00 $\pm$<br>0,00 <sup>abA</sup> | 18,67 $\pm$<br>0,58 <sup>aA</sup>  | 466,67 $\pm$<br>33,33 <sup>aA</sup>   | 400,00 $\pm$<br>0,00 <sup>abB</sup>  | 306,13 $\pm$<br>3,75 <sup>aA</sup> | 264,65 $\pm$<br>0,54 <sup>abB</sup> | 8,46 $\pm$<br>0,54 <sup>aA</sup> | 5,98 $\pm$<br>0,31 <sup>abB</sup> |
| 3             | 18,33 $\pm$<br>0,58 <sup>bA</sup>  | 18,00 $\pm$<br>0,00 <sup>aA</sup>  | 383,33 $\pm$<br>28,87 <sup>bcA</sup>  | 325,00 $\pm$<br>0,00 <sup>bcB</sup>  | 302,79 $\pm$<br>5,18 <sup>aA</sup> | 268,03 $\pm$<br>1,30 <sup>abB</sup> | 9,33 $\pm$<br>1,44 <sup>aA</sup> | 5,49 $\pm$<br>0,29 <sup>abB</sup> |
| 4             | 18,67 $\pm$<br>0,58 <sup>bA</sup>  | 17,33 $\pm$<br>1,15 <sup>abA</sup> | 416,67 $\pm$<br>16,67 <sup>abcA</sup> | 291,67 $\pm$<br>14,43 <sup>cB</sup>  | 272,20 $\pm$<br>2,32 <sup>cA</sup> | 245,49 $\pm$<br>3,30 <sup>bB</sup>  | 9,28 $\pm$<br>0,57 <sup>aA</sup> | 5,08 $\pm$<br>0,28 <sup>abB</sup> |
| 5             | 19,67<br>$\pm$ 0,58 <sup>abA</sup> | 17,67 $\pm$<br>1,15 <sup>abB</sup> | 450,00<br>$\pm$ 16,67 <sup>aA</sup>   | 362,50 $\pm$<br>37,50 <sup>abB</sup> | 288,64 $\pm$<br>2,49 <sup>bA</sup> | 267,61 $\pm$<br>2,08 <sup>abB</sup> | 9,57 $\pm$<br>0,73 <sup>aA</sup> | 5,61 $\pm$<br>0,51 <sup>abB</sup> |
| 6             | 21,67 $\pm$<br>1,15 <sup>aA</sup>  | 17,67 $\pm$<br>0,58 <sup>abB</sup> | 444,44<br>$\pm$ 19,25 <sup>aA</sup>   | 400,00 $\pm$<br>0,00 <sup>abB</sup>  | 285,25 $\pm$<br>1,45 <sup>bA</sup> | 260,93 $\pm$<br>0,98 <sup>abB</sup> | 9,15 $\pm$<br>0,99 <sup>aA</sup> | 6,20 $\pm$<br>0,25 <sup>abB</sup> |
| 7             | 18,67 $\pm$<br>1,15 <sup>bA</sup>  | 18,33 $\pm$<br>1,15 <sup>aA</sup>  | 433,33 $\pm$<br>0,00 <sup>abA</sup>   | 400,00 $\pm$<br>0,00 <sup>aA</sup>   | 265,85 $\pm$<br>2,59 <sup>cA</sup> | 264,40 $\pm$<br>6,60 <sup>aA</sup>  | 9,15 $\pm$<br>0,99 <sup>aA</sup> | 6,17 $\pm$<br>0,39 <sup>abB</sup> |

NP: não parboilizado; P: parboilizado

\* Médias  $\pm$  desvio padrão de três repetições, seguidas de mesmas letras minúsculas na mesma coluna e de mesmas letras maiúsculas na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% ( $p \geq 0,05$ ) para cada atributo.

\*\* Tratamento 1: Controle; Tratamento 2: 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo); Tratamento 3: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar), Tratamento 4: 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar); Tratamento 5: 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar); Tratamento 6: 46 kg de N/ha; Tratamento 7: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha.

Fonte: Da autora (2021).



A parboilização diminuiu o tempo de cozimento do arroz para os tratamentos 1 (Controle), 5 (5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha via aplicação foliar) e 6 (46 kg de N/ha), enquanto que para os outros tratamentos não foi observada diferença significativa.

O tempo de cozimento pode ser afetado pelo teor de proteína, amilose, bem como pela temperatura de gelatinização de cada cultivar (BISWAS *et al.*, 2018). Para Mir *et al.* (2015) e Oli *et al.* (2014), a parboilização pode aumentar o tempo necessário para o cozimento do arroz em função da dificuldade de hidratação do amido retrogradado e da compactação da estrutura do grão, como foi verificado também por Jayaraman *et al.* (2019).

Outro fator importante que afeta o tempo de cozimento é o método aplicado para essa avaliação (CHAKKARAVARTHI *et al.*, 2008). A metodologia usada neste trabalho baseia-se na análise visual do cozimento do arroz e, como o arroz parboilizado já passou pelo processo de gelatinização, isso pode justificar o resultado encontrado. Usando o mesmo método de cozimento descrito neste trabalho, Biswas *et al.* (2018) obtiveram tempos de cozimento para arroz não parboilizado biofortificado com zinco, entre 17,20 minutos e 21,20 minutos, enquanto que Sarangapani *et al.* (2015) encontraram um tempo de 22,20 minutos para o tempo de cozimento do arroz parboilizado. Os valores encontrados em ambos os trabalhos estão próximos dos resultados obtidos neste estudo.

O coeficiente de expansão de volume apresentou diferença significativa em relação aos tratamentos e a parboilização. A maior redução observada diz respeito ao tratamento 4 (5 kg de Zn/ha via aplicação foliar), no qual a amostra parboilizada apresentou valor de expansão cerca de 30% menor do que a amostra não parboilizada. O índice de absorção de água também diminuiu, em média 10%, com o processo de parboilização.

Para Oli *et al.* (2014), a reidratação do arroz é complexa e a difusão de água para o grão depende da retrogradação do amido e da presença de poros e fissuras. Além disso, é importante salientar que o arroz parboilizado absorveu grande quantidade de água na etapa de maceração e que, durante a etapa de gelatinização, os poros e fissuras foram soldados. Outro fator que pode estar relacionado com essa diminuição é o tempo ótimo de cozimento que, como mencionado anteriormente, foi menor para amostras parboilizadas e, portanto, essas ficaram menos tempo em contato com a água de cozimento.

Para coeficiente de expansão de volume de arroz biofortificado com zinco, Biswas *et al.* (2018) apresentaram valores entre 293% e 443%. Lii, Mauromoustakos e Wang (2018) encontraram índice de absorção de água entre 173% e 207% para arroz não parboilizado, já para arroz parboilizado essa variação foi de 143% a 211%.

As amostras parboilizadas apresentaram menor perda de sólidos solúveis quando comparadas às amostras não parboilizadas. Durante a parboilização a estrutura do grão se torna compacta (SANTOS; VILLANOVA; VANIER, 2017), o que, além de dificultar a solubilização de substâncias na água de cozimento, evita textura pegajosa no alimento (MESSIA; IAFELICE; MARCONI, 2012).

Para arroz não parboilizado, Sivakamasundari, Moses e Anandharamakrishnan (2020) obtiveram valores de perda de sólidos entre 2,90% e 4,57%, enquanto que para arroz parboilizado a faixa de valor encontrada, pelos autores, foi de 1,88% a 3,8%. Tais resultados estão abaixo dos encontrados neste trabalho, entretanto corroboram com o entendimento de que a parboilização reduz a perda de sólidos durante o cozimento.

### 3.4 Cinzas

Por meio da observação da Tabela 8 podemos ver os valores de cinzas obtidos para os arrozes biofortificados da cultivar BRS A501 CL.

Tabela 8 - Valores médios  $\pm$  desvios padrão de cinzas para arroz biofortificado com zinco parboilizado e arroz biofortificado com zinco não parboilizado da cultivar BRS A501 CL.\*

| Tratamentos** | Cinzas (%)                    |                               |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|
|               | Não parboilizado              | Parboilizado                  |
| 1             | 0,62 $\pm$ 0,01 <sup>cB</sup> | 0,70 $\pm$ 0,03 <sup>bA</sup> |
| 2             | 0,61 $\pm$ 0,01 <sup>cB</sup> | 0,74 $\pm$ 0,00 <sup>bA</sup> |
| 3             | 0,72 $\pm$ 0,02 <sup>bA</sup> | 0,71 $\pm$ 0,00 <sup>bA</sup> |
| 4             | 0,70 $\pm$ 0,02 <sup>bB</sup> | 0,79 $\pm$ 0,02 <sup>aA</sup> |
| 5             | 0,72 $\pm$ 0,03 <sup>bA</sup> | 0,73 $\pm$ 0,01 <sup>bA</sup> |
| 6             | 0,78 $\pm$ 0,02 <sup>aB</sup> | 0,82 $\pm$ 0,00 <sup>aA</sup> |
| 7             | 0,68 $\pm$ 0,02 <sup>bB</sup> | 0,83 $\pm$ 0,02 <sup>aA</sup> |

\* Médias  $\pm$  desvios padrão de três repetições, seguidas de mesmas letras minúsculas na mesma coluna e de mesmas letras maiúsculas na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% ( $p \geq 0,05$ ).

\*\* Tratamento 1: Controle; Tratamento 2: 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo); Tratamento 3: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar), Tratamento 4: 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar); Tratamento 5: 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar); Tratamento 6: 46 kg de N/ha; Tratamento 7: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha.

Fonte: Da autora (2021).

Tanto a biofortificação quanto a parboilização apresentaram influência no teor de cinzas do arroz. De maneira geral, para o arroz não parboilizado, os tratamentos que receberam aplicação via foliar apresentaram maiores médias. A exceção foi o tratamento 6, com aplicação de ureia em cobertura, que apresentou aproximadamente 20% mais cinzas do que o controle.

Dentro das amostras parboilizadas foi observada menor variação, entretanto quando comparadas ao arroz não parboilizado, esse tratamento hidrotérmico proporcionou aumento médio de aproximadamente 12% no teor de cinzas. O incremento nas cinzas também foi observado por Messia, Iafelice e Marconi (2012). A parboilização é capaz de promover a solubilização e difusão das vitaminas e minerais das camadas mais externas para o endosperma (ROCHA-VILLARREAL; SERNA-SALDIVAR; GARCÍA-LARA, 2018).

### **3.5 Teor de zinco**

Os valores de teor de zinco para a casca, farelo+gérmen e endosperma são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores médios  $\pm$  desvios padrão\* de teor de zinco na casca, farelo+germém e endosperma para arroz biofortificado com zinco parboilizado e arroz biofortificado com zinco não parboilizado da cultivar BRS A501 CL.

| Tratamentos** | Teor de Zn casca<br>(mg/kg)      |                                  | Teor de Zn farelo + germém<br>(mg/kg) |                                  | Teor de Zn endosperma<br>(mg/kg)           |                                  |
|---------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|
|               | NP                               | P                                | NP                                    | P                                | NP   | P                                |
| 1             | 40,58 $\pm$ 1,57 <sup>dB</sup>   | 69,56 $\pm$ 7,83 <sup>dA</sup>   | 145,60 $\pm$ 6,60 <sup>cB</sup>       | 426,70 $\pm$ 1,20 <sup>aA</sup>  | 16,71 $\pm$ 1,12 <sup>cdA</sup>            | 19,55 $\pm$ 0,79 <sup>dA</sup>   |
| 2             | 38,50 $\pm$ 1,09 <sup>dB</sup>   | 52,11 $\pm$ 3,53 <sup>eA</sup>   | 183,50 $\pm$ 0,10 <sup>bB</sup>       | 455,25 $\pm$ 16,35 <sup>aA</sup> | 16,48 $\pm$ 0,74 <sup>cdB</sup>            | 21,16 $\pm$ 1,35 <sup>cdA</sup>  |
| 3             | 107,50 $\pm$ 0,30 <sup>cA</sup>  | 101,29 $\pm$ 4,71 <sup>cA</sup>  | 180,15 $\pm$ 7,15 <sup>bB</sup>       | 448,35 $\pm$ 9,65 <sup>aA</sup>  | 28,33 $\pm$ 2,46 <sup>aA</sup>             | 27,74 $\pm$ 2,84 <sup>abA</sup>  |
| 4             | 130,75 $\pm$ 2,05 <sup>bB</sup>  | 143,67 $\pm$ 6,73 <sup>aA</sup>  | 179,90 $\pm$ 3,64 <sup>bB</sup>       | 431,85 $\pm$ 26,05 <sup>aA</sup> | 21,32 $\pm$ 1,71 <sup>bcA</sup>            | 23,58 $\pm$ 2,75 <sup>bcdA</sup> |
| 5             | 119,75 $\pm$ 4,55 <sup>bcA</sup> | 104,46 $\pm$ 10,54 <sup>cB</sup> | 177,10 $\pm$ 1,90 <sup>bB</sup>       | 372,05 $\pm$ 4,55 <sup>bA</sup>  | 22,52 $\pm$ 1,03 <sup>bA</sup>             | 25,42 $\pm$ 1,23 <sup>abcA</sup> |
| 6             | 45,06 $\pm$ 3,23 <sup>dA</sup>   | 44,71 $\pm$ 0,24 <sup>eA</sup>   | 152,40 $\pm$ 12,50 <sup>bcB</sup>     | 283,80 $\pm$ 26,20 <sup>cA</sup> | 15,61 $\pm$ 2,21 <sup>dB</sup>             | 22,28 $\pm$ 3,58 <sup>cdA</sup>  |
| 7             | 146,70 $\pm$ 4,70 <sup>aA</sup>  | 128,05 $\pm$ 7,95 <sup>bB</sup>  | 235,10 $\pm$ 2,30 <sup>aB</sup>       | 314,75 $\pm$ 0,55 <sup>cA</sup>  | 24,53 $\pm$ 1,45 <sup>a<sup>b</sup>B</sup> | 29,25 $\pm$ 2,97 <sup>aA</sup>   |

NP: não parboilizado; P: parboilizado

\* Médias  $\pm$  desvio padrão de três repetições, seguidas de mesmas letras minúsculas na mesma coluna e de mesmas letras maiúsculas na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% ( $p \geq 0,05$ ) para cada atributo.

\*\* Tratamento 1: Controle; Tratamento 2: 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo); Tratamento 3: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar), Tratamento 4: 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar; Tratamento 5: 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar); Tratamento 6: 46 kg de N/ha; Tratamento 7: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha.

Fonte: Da autora (2021).

Em relação ao teor de Zn presente na casca do arroz não parboilizado, o maior valor, 146,70 mg/kg, foi observado para o tratamento 7, que era composto por 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha em cobertura. Já as menores médias pertencem aos tratamentos 1, 2 e 6, que correspondem, respectivamente, ao controle, a aplicação de 10 kg de Zn/ha via solo e 46 kg de N/ha em cobertura. Com a realização da parboilização, o maior teor de Zn diz respeito ao tratamento 4 (5 kg de Zn/ha via aplicação foliar) e os menores aos tratamentos 2 e 6. Ainda de acordo com os dados apresentados, pode-se observar aumento de Zn casca para os tratamentos 1, 2 e 4. Como pode ser observado, a aplicação foliar proporcionou maior teor de Zn na casca do arroz do que a aplicação de Zn via solo.

O farelo + germén apresentou o maior teor de zinco entre as frações analisadas (casca, farelo + germén e endosperma), mesmo para o tratamento controle, tanto para o arroz parboilizado quanto para o arroz não parboilizado. Além disso, a parboilização aumentou o teor de Zn para todos os tratamentos estudados. Para o arroz não parboilizado o teor de Zn no farelo + gérmen variou entre 145,60 mg/kg a 235,10 mg/kg, enquanto que para o arroz parboilizado essa faixa de valores ficou entre 283,80 mg/kg a 455, 25 mg/kg.

Souza (2018), analisando o teor de Zn em arroz de terras altas biofortificado com Zn, Cultivar BRSMG Caravera, obteve teores de Zn entre 45,45 mg/kg e 204 mg/kg na casca do arroz, já para o farelo a concentração encontrada variou entre 82,5 mg/kg e 159,33 mg/kg. O maior valor de Zn na casca diz respeito à aplicação de Zn via foliar, enquanto que para o farelo resultado mais alto é proveniente da aplicação de Zn via solo. Tais valores estão próximos dos apresentados neste estudo para arroz biofortificado não parboilizado.

Os teores de zinco do grão do arroz biofortificado não parboilizado variaram entre 15,61 mg/kg e 28,33 mg/kg, enquanto que a faixa de valores encontrada para o arroz parboilizado foi de 19,55 mg/kg até 29,25 mg/kg. A parboilização resultou em aumento significativo no teor de Zn para os tratamentos 2 (10 kg de Zn/ha com aplicação via solo), 6 (46 kg de N/ha) e 7 (1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha), o que de acordo com Biswas *et al.* (2018) pode ser relacionado com a migração do zinco das camadas mais externas para o interior do endosperma durante as etapas da parboilização.

Teor médio de Zn de 25,27 mg/kg para grão de arroz de terras altas biofortificados com Zn, foi relatado por Souza (2018). Biswas *et al.* (2018) relataram valores de concentração de Zn para arroz biofortificado polido não parboilizado entre 13,10 mg/kg e 20,78 mg/kg, já para o arroz biofortificado, polido e parboilizado, o teor de Zn ficou entre 17,80 mg/kg e 23,40 mg/kg. Os valores apresentados neste estudo estão próximos dos descritos pelos pesquisadores citados.

Segundo a FAO/AMIS (2020), o consumo *per capita* diário de arroz no mundo é de 147,67 g e a ingestão diária recomendada de Zn para grávidas e crianças de 1 a 3 anos é de, respectivamente, 11 mg e 3 mg (INSTITUTE OF MEDICINE (US) PANEL ON MICRONUTRIENTS, 2001). De posse desses dados, a Tabela 10 traz a percentagem da RDA suprida pelo consumo dos arrozes analisados neste estudo.

Tabela 10 - Percentagem suprida da RDA de zinco, para grávidas e crianças de 1 a 3 anos, baseada no consumo do arroz da cultivar BRS A501 CL com os tratamentos de biofortificação e parboilização realizados neste estudo.

| % da RDA de Zn suprida pelos arrozes estudados |          |       |                        |        |
|--|----------|-------|------------------------|--------|
| Tratamentos*                                   | Grávidas |       | Crianças de 1 a 3 anos |        |
|  | NP       | P     | NP                     | P      |
| 1  | 22,43    | 26,27 | 82,25                  | 96,33  |
| 2  | 22,09    | 28,36 | 81,00                  | 104,00 |
| 3  | 38,00    | 37,27 | 139,33                 | 136,67 |
| 4  | 28,64    | 31,64 | 105,00                 | 116,00 |
| 5  | 30,27    | 34,10 | 111,00                 | 125,00 |
| 6  | 20,91    | 29,91 | 76,67                  | 108,67 |
| 7  | 32,91    | 39,72 | 120,67                 | 144,00 |

NP: não parboilizado; P: parboilizado

Consumo per capita diário de arroz no mundo: 147,67 g (FAO/AMIS, 2020).

Ingestão diária recomendada de Zinco para grávidas: 11 mg; Ingestão diária recomendada de zinco para crianças de 1 a 3 anos: 3 mg.

\*Tratamento 1: Controle; Tratamento 2: 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo); Tratamento 3: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar), Tratamento 4: 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar); Tratamento 5: 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar); Tratamento 6: 46 kg de N/ha; Tratamento 7: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha.

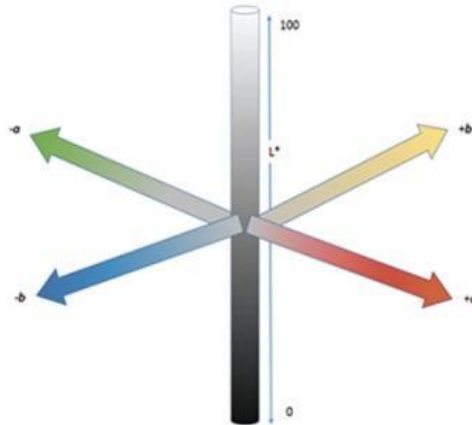
Fonte: Da autora (2021).

A percentagem da RDA recomendada de Zn para grávidas, baseada no consumo diário de arroz encontra-se entre 20,91% e 39,72%, já para crianças de 1 a 3 anos, para as quais a carência de Zn pode desencadear diarreia e levar a morte, esse valor está na faixa de 76,67% a 144%. Desse modo, a biofortificação dos arrozes é interessante para combater a fome oculta e promover qualidade de vida para pessoas que possuem restrição ao acesso e diversificação dos alimentos.

### 3.6 Atributos de cor

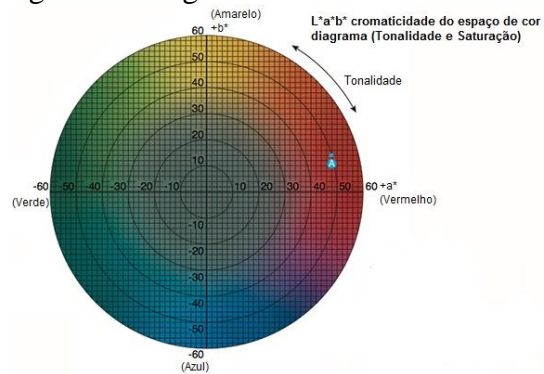
Os valores de  $L^*$ ,  $a$ ,  $b$ , Chroma,  $^\circ\text{Hue}$  e  $\Delta E$  são apresentados na Tabela 11 e as Figuras 2 e 3 exemplificam a localização dos atributos  $L^*$ ,  $a$ ,  $b$ , Chroma e  $^\circ\text{Hue}$ .

Figura 2 -  $L^*$ ,  $a$  e  $b$ .



Fonte: Ferreira e Spricigo (2017).

Figura 3 - Diagrama de cromaticidade  $a$  e  $b$ .



Fonte: Adaptado de Konica Minolta (2021).

Tabela 11 - Valores médios  $\pm$  desvios padrão de L\*, a, b, chroma, °Hue e diferença total de cor ( $\Delta E$ ) para arroz biofortificado com zinco parboilizado e arroz biofortificado com zinco não parboilizado da cultivar BRS A501 CL.\*

| Tratamentos** | L*                                |                                   | a                                 |                                   | b                                 |                                    | Chroma                            |                                   | °Hue                               |                                    | $\Delta E$                        |                                   |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|               | NP                                | P                                 | NP                                | P                                 | NP                                | P                                  | NP                                | P                                 | NP                                 | P                                  | NP                                | P                                 |
| 1             | 70,97 $\pm$<br>0,12 <sup>aA</sup> | 64,04 $\pm$<br>1,97 <sup>aB</sup> | 1,85 $\pm$<br>0,13 <sup>abB</sup> | 3,21 $\pm$<br>0,66 <sup>abA</sup> | 18,30 $\pm$<br>0,19 <sup>aB</sup> | 23,43 $\pm$<br>0,34 <sup>aA</sup>  | 18,39 $\pm$<br>0,20 <sup>aB</sup> | 23,66 $\pm$<br>0,41 <sup>aA</sup> | 84,18<br>$\pm$ 0,41 <sup>abA</sup> | 82,22 $\pm$<br>1,50 <sup>abB</sup> | 0,00 $\pm$<br>0,00 <sup>bB</sup>  | 8,78 $\pm$<br>1,84 <sup>bA</sup>  |
| 2             | 71,72 $\pm$<br>0,49 <sup>aA</sup> | 64,94 $\pm$<br>1,15 <sup>aB</sup> | 1,71 $\pm$<br>0,19 <sup>abB</sup> | 2,96 $\pm$<br>0,26 <sup>bA</sup>  | 18,50 $\pm$<br>0,24 <sup>aB</sup> | 22,89 $\pm$<br>0,18 <sup>abA</sup> | 18,58 $\pm$<br>0,26 <sup>aB</sup> | 23,08 $\pm$<br>0,19 <sup>aA</sup> | 84,74 $\pm$<br>0,52 <sup>abA</sup> | 82,63 $\pm$<br>0,64 <sup>aB</sup>  | 0,89 $\pm$<br>0,40 <sup>abB</sup> | 7,64 $\pm$<br>0,93 <sup>bcA</sup> |
| 3             | 70,82 $\pm$<br>0,23 <sup>aA</sup> | 65,16 $\pm$<br>1,74 <sup>aB</sup> | 1,99 $\pm$<br>0,12 <sup>abB</sup> | 3,12 $\pm$<br>0,88 <sup>abA</sup> | 18,54 $\pm$<br>0,33 <sup>aB</sup> | 22,67 $\pm$<br>0,59 <sup>bA</sup>  | 18,64 $\pm$<br>0,34 <sup>aB</sup> | 22,89 $\pm$<br>0,71 <sup>aA</sup> | 83,88 $\pm$<br>0,28 <sup>abA</sup> | 82,21 $\pm$<br>1,98 <sup>abB</sup> | 0,45 $\pm$<br>0,24 <sup>abB</sup> | 7,43 $\pm$<br>1,85 <sup>bcA</sup> |
| 4             | 71,14 $\pm$<br>0,27 <sup>aA</sup> | 61,92 $\pm$<br>1,63 <sup>bB</sup> | 1,58 $\pm$<br>0,28 <sup>abB</sup> | 3,75 $\pm$<br>0,87 <sup>aA</sup>  | 18,51 $\pm$<br>0,34 <sup>aB</sup> | 23,01 $\pm$<br>0,87 <sup>abA</sup> | 18,58 $\pm$<br>0,38 <sup>aB</sup> | 23,33 $\pm$<br>0,96 <sup>aA</sup> | 85,13 $\pm$<br>0,82 <sup>aA</sup>  | 80,79 $\pm$<br>1,92 <sup>bB</sup>  | 0,58 $\pm$<br>0,25 <sup>abB</sup> | 10,42 $\pm$<br>1,75 <sup>aA</sup> |
| 5             | 72,13 $\pm$<br>0,88 <sup>aA</sup> | 64,30 $\pm$<br>0,87 <sup>aB</sup> | 1,48 $\pm$<br>0,40 <sup>Bb</sup>  | 3,20 $\pm$<br>0,35 <sup>abA</sup> | 18,27 $\pm$<br>0,35 <sup>aB</sup> | 23,44 $\pm$<br>0,62 <sup>aA</sup>  | 18,34 $\pm$<br>0,38 <sup>aB</sup> | 21,43 $\pm$<br>6,87 <sup>aA</sup> | 85,38 $\pm$<br>1,17 <sup>aA</sup>  | 82,23 $\pm$<br>0,70 <sup>abB</sup> | 1,37 $\pm$<br>0,79 <sup>abB</sup> | 8,54 $\pm$<br>1,06 <sup>bcA</sup> |
| 6             | 70,76 $\pm$<br>1,52 <sup>aA</sup> | 65,53 $\pm$<br>1,39 <sup>aB</sup> | 2,26 $\pm$<br>0,59 <sup>aB</sup>  | 3,14 $\pm$<br>0,36 <sup>abA</sup> | 18,87 $\pm$<br>0,58 <sup>aB</sup> | 22,59 $\pm$<br>0,52 <sup>bA</sup>  | 19,01 $\pm$<br>0,64 <sup>aB</sup> | 22,81 $\pm$<br>0,51 <sup>aA</sup> | 83,21 $\pm$<br>1,58 <sup>bA</sup>  | 82,09 $\pm$<br>0,95 <sup>abB</sup> | 1,73 $\pm$<br>0,45 <sup>aB</sup>  | 7,13 $\pm$<br>1,01 <sup>cA</sup>  |
| 7             | 71,74 $\pm$<br>1,45 <sup>aA</sup> | 64,69 $\pm$<br>1,63 <sup>aB</sup> | 1,64 $\pm$<br>0,31 <sup>abB</sup> | 3,67 $\pm$<br>0,51 <sup>bA</sup>  | 18,38 $\pm$<br>0,32 <sup>aB</sup> | 23,34 $\pm$<br>0,21 <sup>aA</sup>  | 1845 $\pm$<br>0,34 <sup>aB</sup>  | 23,63 $\pm$<br>0,22 <sup>aA</sup> | 84,92 $\pm$<br>0,89 <sup>aA</sup>  | 81,06 $\pm$<br>1,21 <sup>abB</sup> | 1,53 $\pm$<br>0,63 <sup>aB</sup>  | 8,31 $\pm$<br>1,37 <sup>bcA</sup> |

NP: não parboilizado; P: parboilizado\* médias  $\pm$  desvio padrão de três repetições e de três replicatas cada, seguidas de mesmas letras minúsculas na mesma coluna e de mesmas letras maiúsculas na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% ( $p \geq 0,05$ ) para cada atributo.

\*\* Tratamento 1: Controle; Tratamento 2: 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo); Tratamento 3: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar); Tratamento 4: 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar); Tratamento 5: 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar); Tratamento 6: 46 kg de N/ha; Tratamento 7: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha.

Fonte: Da autora (2021).



A cor do arroz é um dos principais atributos de aceitação do produto. A mudança na cor dos grãos, provocadas pelo processo de parboilização, ocorre principalmente em função das reações de escurecimento não-enzimático como caramelização e Maillard (ROCHA-VILLARREAL; SERNA-SALDIVAR; GARCÍA-LARA, 2018).

Para o atributo  $L^*$  não foram observadas diferenças em relação aos tratamentos para o arroz não parboilizado. Já para as amostras parboilizadas, o tratamento 4 (5 kg de Zn/ha via aplicação foliar) obteve o menor valor de  $L^*$ , o que pode estar relacionado com seu teor de cinzas, uma vez que essa amostra, juntamente com os tratamentos 6 (46 kg de N/ha) e 7 (1 kg de Zn/ha via aplicação foliar + 46 kg de N/ha), apresentaram maiores médias de cinzas para o arroz parboilizado. Segundo Amato, Carvalho e Silveira Filho (2002), um alto teor de cinzas pode diminuir a brancura dos grãos.

Diferentemente do observado para o parâmetro  $L^*$ , ao se comparar as amostras parboilizadas com as não parboilizadas, estas últimas apresentaram aumento na média dos atributos a e b. Lamberts *et al.* (2006) também observaram esse aumento e concluíram que isso se deve à migração de pigmentos vermelhos e amarelos, das camadas mais externas para o endosperma.

O Chroma ou saturação é relacionado diretamente aos atributos a e b e quanto maior seu valor maior a intensidade da cor. Não foi observada diferença significativa entre o arroz parboilizado e o arroz não parboilizado. Entretanto, ao ser comparado ao arroz não parboilizado, o arroz parboilizado apresentou maiores valores para esse atributo.

Em relação ao  $^{\circ}$ Hue, o arroz não parboilizado apresentou valores entre  $83,21^{\circ}$  a  $85,38^{\circ}$ , sendo que o menor valor corresponde ao tratamento 6 (46 kg de N/ha). Já para o arroz parboilizado, a faixa encontrada para esse ângulo foi de  $80,79^{\circ}$  a  $82,63^{\circ}$ , cujo menor valor foi apresentado pelo tratamento 4 (5 kg de Zn/ha via aplicação foliar).

Como é possível observar, todas as amostras analisadas apresentaram valores próximos a  $90^{\circ}$ , o que sugere que o arroz estudado apresenta uma tonalidade amarelada. Souza (2018), estudando amostras de arroz BRS MG Caravera biofortificado, obteve valores de  $^{\circ}$ Hue próximos aos descritos neste trabalho.

A diferença total de cor ( $\Delta E$ ) foi determinada considerando como referência o tratamento 1 (Controle) sem parboilização. Para o arroz não parboilizado apenas os tratamentos 6 (46 kg de N/ha) e 7 (1 kg de Zn/ha via aplicação foliar + 46 kg de N/ha) não diferiram do tratamento 1.

Os valores de  $\Delta E$  apresentados para o arroz parboilizado variaram entre 7,13 e 10,42. Também foi observado que para o arroz parboilizado não houve diferença de cor, ao nível de

5%, entre os tratamentos 1 (controle), 2 (10 kg de Zn/ha via aplicação no solo), 3 (1 kg de Zn/ha via aplicação foliar), 5 (5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha via aplicação foliar) e 7 (1 kg de Zn/ha via aplicação foliar + 46 kg de N/ha), o que indica que a biofortificação agrônômica dispensada a esses tratamentos não influencia na diferença total de cor para a variedade estudada. Além disso foi possível observar diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os valores de  $\Delta E$  do arroz parboilizado e do arroz não parboilizado.

Wahengbam, Green e Hazarika (2020) analisaram a cor de arroz integral não parboilizado, arroz parboilizado não fortificado e arroz parboilizado fortificado com zinco e encontraram valores para os atributos  $L^*$ ,  $a$ ,  $b$ , Chroma e  $\Delta E$  muito próximos dos apresentados neste estudo.

### 3.7 Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA)

Foi realizada a análise de componentes principais (PCA) para os dados de rendimento do grão (RG), tempo ótimo de cozimento (TOC), coeficiente de expansão de volume (CEV), índice de absorção de água (IAA), perda de sólidos solúveis (PSS),  $L^*$ ,  $a$ ,  $b$ , Chroma °Hue,  $\Delta E$ , teor de cinzas, teor de Zn na casca (ZnC), teor de Zn no farelo+gérmen (ZnF) e teor de Zn no endosperma (ZnE).

Como pode ser observado pela tabela de *loadings* (TABELA 12), os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) explicam juntos 79,39% da variação dos dados, sendo que PC1 corresponde a 68,08% e PC2 corresponde a 11,31% da variação dos dados. Apenas as variáveis ZnC, ZnE e cinzas não contribuíram para a separação das amostras em PC1, enquanto que para o PC2, as únicas variáveis que contribuíram para a diferenciação das amostras foram ZnC e ZnE.

Tabela 12 - Tabela de *loadings* das variáveis, variância e variância acumulada da Análise de Componentes Principais (PCA).

| Variáveis*              | Loadings |        |        |
|-------------------------|----------|--------|--------|
|                         | PC1      | PC2    | PC3    |
| RG                      | 0,886    | 0,147  | 0,274  |
| TOC                     | -0,678   | 0,008  | 0,605  |
| CEV                     | -0,760   | -0,083 | 0,417  |
| IAA                     | -0,688   | 0,235  | 0,429  |
| PSS                     | -0,949   | 0,181  | 0,046  |
| ZnF                     | 0,908    | -0,060 | -0,125 |
| L*                      | -0,990   | 0,089  | -0,012 |
| a                       | 0,968    | -0,063 | 0,165  |
| b                       | 0,976    | -0,097 | 0,095  |
| Chroma                  | 0,966    | -0,117 | 0,106  |
| °Hue                    | -0,927   | 0,074  | -0,208 |
| $\Delta E$              | 0,981    | -0,054 | 0,071  |
| ZnC                     | 0,159    | 0,883  | -0,271 |
| ZnE                     | 0,455    | 0,819  | -0,015 |
| Teor de cinzas          | 0,577    | 0,287  | 0,619  |
| Variância (%)           | 68,08    | 11,31  | 9,12   |
| Variância Acumulada (%) | 628,08   | 79,39  | 88,51  |

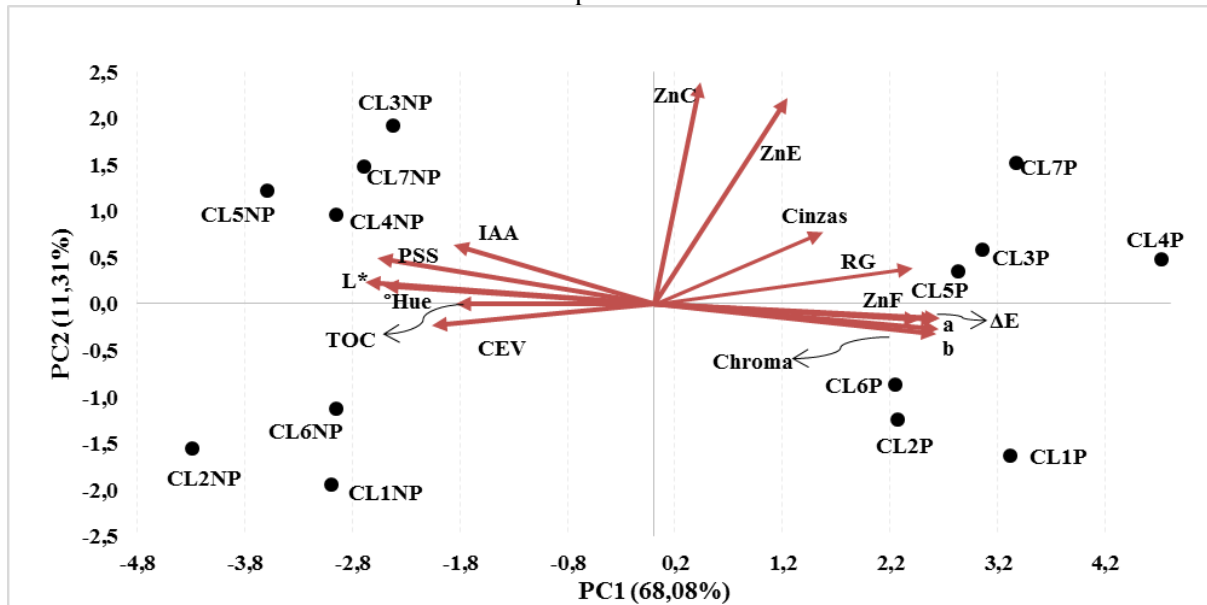
\* RG: rendimento do grão; TOC: tempo ótimo de cozimento; CEV: coeficiente de expansão de volume; IAA: índice de absorção de água; PSS: perda de sólidos solúveis, ZnF: teor de Zn no farelo+gérmen; L\*: luminosidade, °Hue: ângulo Hue,  $\Delta E$ : diferença total de cor, ZnC: teor de Zn na casca, ZnE: teor de zinco no endosperma.

Fonte: Da autora (2021).

Observando o gráfico gerado na análise de componentes principais (PCA) (FIGURA 4) e a análise de agrupamento hierárquico (HCA) (FIGURA 5), na qual a menor distância euclidiana sugere maior similaridade entre as amostras, é possível observar a formação de quatro grupos. O primeiro compreende as amostras CL3NP (1 kg de Zn/ha - aplicação foliar - sem parboilização), CL4NP (5 kg de Zn/ha - aplicação foliar - sem parboilização), CL5NP (5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha - aplicação foliar - sem parboilização) e CL7NP (1 kg de Zn/ha - aplicação foliar - + 46 kg de N/ha sem parboilização), que se relacionam positivamente com as

análises de índice de absorção de água (IAA), perda de sólidos solúveis (PSS), coeficiente de expansão de volume (CEV), tempo ótimo de cozimento (TOC),  $L^*$  e  $^{\circ}\text{Hue}$ . O segundo grupo é constituído pelas amostras CL3P (1 kg de Zn/ha - aplicação foliar - com parboilização), CL4P (5 kg de Zn/ha - aplicação foliar - com parboilização), CL5P (5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha - aplicação foliar - com parboilização) e CL7P (1 kg de Zn/ha - aplicação foliar - + 46 kg de N/ha com parboilização), que apresentam altos valores de rendimento do grão (RG). O terceiro é composto por CL1P (Controle com parboilização), CL2P (10 kg de Zn/ha - aplicação no solo - com parboilização) e CL6P, que se relacionam negativamente com tempo ótimo de cozimento (TOC), índice de absorção de água (IAA) e perda de sólidos solúveis (PSS), enquanto que o quarto grupo compreende as amostras CL1NP (Controle sem parboilização), CL2NP (10 kg de Zn/ha - aplicação no solo - sem parboilização) e CL6NP (46 kg de N/ha sem parboilização), que apresentam baixos valores de teor de Zn no endosperma (ZnE).

Figura 4 - Análise de componentes principais para arroz biofortificado com zinco parboilizado e arroz biofortificado com zinco não parboilizado da variedade BRS A501 CL.



Lengenda: **CL1NP**: Controle sem parboilização; **CL2NP**: 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo) sem parboilização; **CL3NP**: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) sem parboilização; **CL4NP**: 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar) sem parboilização; **CL5NP**: 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar) sem parboilização; **CL6NP**: 46 kg de N/ha sem parboilização; **CL7NP**: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha sem parboilização; **CL1P**: Controle com parboilização; **CL2P**: 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo) com parboilização; **CL3P**: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) com parboilização; **CL4P**: 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar) com parboilização; **CL5P**: 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar) com parboilização; **CL6P**: 46 kg de N/ha com parboilização; **CL7P**: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha com parboilização.

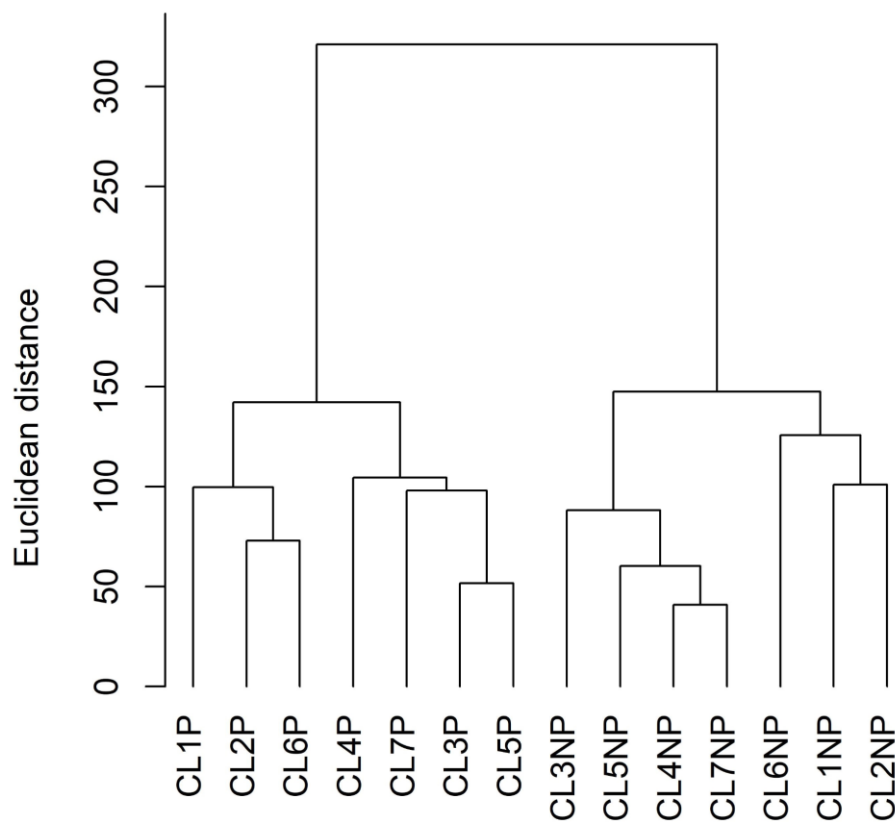
**RG**: rendimento do grão; **TOC**: tempo ótimo de cozimento; **CEV**: coeficiente de expansão de volume; **IAA**: índice de absorção de água; **PSS**: perda de sólidos solúveis; **ZnF**: teor de Zn no farelo+gérmen; **ZnC**: teor de Zn na casca; **ZnE**: teor de zinco no endosperma;  **$L^*$** : luminosidade,  **$^{\circ}\text{Hue}$** : ângulo Hue e  **$\Delta E$** : diferença total de cor.

Fonte: Da autora (2021).

Ainda analisando a Figura 4, é possível observar que tanto para o arroz parboilizado quanto para o não parboilizado, os maiores teores de zinco no endosperma pertencem às amostras nas quais a biofortificação com Zn ocorreu via foliar.

Analisando o HCA (FIGURA 5) observa-se que as amostras parboilizadas tendem a se agrupar entre si, o que também ocorre com as amostras não parboilizadas.

Figura 5 - Análise de agrupamento hierárquico (HCA) para arroz biofortificado com zinco parboilizado e arroz biofortificado com zinco não parboilizado da variedade BRS A501 CL.



Legenda: **CL1NP**: Controle sem parboilização; **CL2NP**: 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo) sem parboilização; **CL3NP**: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) sem parboilização; **CL4NP**: 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar) sem parboilização; **CL5NP**: 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar) sem parboilização; **CL6NP**: 46 kg de N/ha sem parboilização; **CL7NP**: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha sem parboilização; **CL1P**: Controle com parboilização; **CL2P**: 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo) com parboilização; **CL3P**: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) com parboilização; **CL4P**: 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar) com parboilização; **CL5P**: 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar) com parboilização; **CL6P**: 46 kg de N/ha com parboilização; **CL7P**: 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha com parboilização.

Fonte: Da autora (2021).

#### 4 CONCLUSÃO

Nas condições do experimento, os maiores teores de Zn no endosperma, tanto para o arroz parboilizado quanto para o não parboilizado, são observados para os tratamentos onde ocorre aplicação foliar de Zn, entretanto é possível observar que a maior parte do Zn se concentra no farelo+gérmen, mesmo após a parboilização.

O processo de parboilização, para as condições do experimento, aumenta os valores de rendimento do grão e dos parâmetros a, b e Chroma, mas diminui o índice de absorção de água, o coeficiente de expansão de volume, a perda de sólidos solúveis e o valor de L\*.

Diante dos resultados obtidos neste estudo, faz-se necessária a condução de estudos e tecnologias que permitam a migração do Zn presente nas camadas de farelo para o endosperma do grão.

## REFERÊNCIAS

- AMATO, G. W.; CARVALHO, J. L. V.; SILVEIRA FILHO, S. **Arroz parboilizado: tecnologia limpa, produto nobre**. Porto Alegre: Ricardo Lenz, 2002. 240 p.
- AMATO, G. W. **Grãos não-gelatinizados – GNG em arroz parboilizado: avaliação de método**. Porto Alegre: CIENTEC, 1989. 49 p. (Boletim Técnico, 15).
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists**. 17. ed. Washington: AOAC, 2002.
- BISWAS, J. C. *et al.* Zinc fortification: effect of polishing on parboiled and unparboiled rice. **Current Plant Biology**, [Netherlands], v. 16, n. 4, p. 22-26, Nov. 2018. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900433868>. Acesso em: 06 fev. 2021.
- BORA, P.; RAGAE, S.; MARCONE, M. Effect of parboiling on decortication yield of millet grains and phenolics acids and *in vitro* digestibility of selected millet products. **Food Chemistry**, [Oxford], v. 274, p. 718-725, Feb. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30373000/>. Acesso em: 06 fev. 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 6, de 29 de fevereiro de 2009**. Regulamento Técnico do Arroz. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1687046295>. Acesso em: 01 ago. 2019.
- BUGGENHOUT, J. *et al.* The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: a review. **Journal of Food Engineering**, [Oxford], v. 117, n. 3, p. 304-315, Aug. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877413001222>. Acesso em: 03 fev. 2021.
- CAKMAK, I. *et al.* Biofortification and localization of zinc in wheat grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [Washington], v. 58, n. 16, p. 9092-9102, Aug. 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23654236/>. Acesso em: 05 fev. 2021.
- CHAKKARAVARTHI, A. *et al.* Kinetics of cooking unsoaked and presoaked rice. **Journal of Food Engineering**, [Oxford], v. 84, n. 2, p. 181-186, Jan. 2008. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300813822>. Acesso em: 12 mar. 2021.
- CIACCO, C. F.; CHANG, Y. K. **Como fazer massas**. Campinas: UNICAMP, 1986. 127 p. (Coleção Ciência e Tecnologia ao Alcance de Todos - Série Tecnologia de Alimentos).
- DATTA, K. *et al.* Improved “golden” indica rice and post-transgeneration enhancement of metabolic target products of carotenoids (beta-carotene) in transgenic elite cultivars (IR64 and BR29). **Current Science**, [Bangalore], v. 91, n. 7, p. 935-939, Oct. 2006. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/24094294>. Acesso em: 25 fev. 2021.

DONNELLY, B. J. Pasta products: raw material, technology, evaluation. **Macaroni Journal**, v. 61, n. 1, p. 6-18, 1979.

ELIAS, M. C. **Tempo de espera para secagem e qualidade de arroz para semente e indústria**. 1998. 132 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1998.

FAO/AMIS. **Agricultural Management Information Systems Statistics**. 2020. Disponível em: <http://statistics.amis-outlook.org/data/index.html#COMPARE>. Acesso em: 19 fev. 2021

FAO *et al.* The State of Food Security and Nutrition in the world 2020. Transforming food systems for affordable healthy diet. Rome: FAO, 2020. 320 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiplex comparison. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, Mar./Apr. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yyWQQVwqNcH6kzf9qT9Jdhv/?lang=en>. Acesso em: 28 abr. 2021.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. *In*: FERREIRA, M. D. (ed.). **Instrumentação pós colheita em frutas e hortaliças**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. p. 209-220.

HEFFERON, K. Biotechnological approaches for generating zinc - enriched crops to combat malnutrition. **Nutrients**, [Basel], v. 11, n. 2, p. 253, Jan. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30678136/>. Acesso em: 05 fev. 2021.

HUMMEL, C. **Macaroni products, manufacture, processing and packing**. 2. ed. London: Food Trade Press, 1966. 287 p.

INSTITUTE OF MEDICINE (US) PANEL ON MICRONUTRIENTS. **Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc**. Washington: National Academies Press, 2001. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222317/>. Acesso em: 19 fev. 2021.

JAYARAMAN, R. *et al.* Influence of parboiling of red paddy varieties by simple hot soaking on physical, nutrient, phytochemical, antioxidant properties of their dehusked rice and their mineral, starch, and antioxidant's bioaccessibility studies. **Journal of Food Biochemistry**, [Malden], v. 43, n. 7, p. e12839, July 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31353738/>. Acesso em: 12 fev. 2021.

KONICA MINOLTA. **Entendendo o espaço de cor L\* a\* b\***. 2021. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>. Acesso em: 28 jul. 2021.

LAMBERTS, L. *et al.* Effect of processing conditions on color change of brown and milled parboiled rice. **Cereal Chemistry**, [United States], v. 83, n. 1, p. 80-85, Jan./Feb. 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1094/CC-83-0080>. Acesso em: 14 fev. 2021.



- LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, [Los Angeles], v. 25, n. 1, p. 1-18, Mar. 2008. Disponível em: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v025i01>. Acesso em: 27 abr. 2021
- LESSA, J. H. de *et al.* Agronomic biofortification of rice (*Oryza sativa* L.) with selenium and its effect on element distributions in biofortified grain. **Plant and Soil**, [Dordrecht], v. 444, p. 331-342, Aug. 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-019-04275-8>. Acesso em: 06 fev. 2021.
- LII, E.; MAUROMOUSTAKOS, A.; WANG, Y.-J. Effects of cultivar and aging on parboiled rice properties. **Cereal Chemistry**, [United States], v. 95, n. 5, p. 689–698, Sept./Oct. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cche.10082>. Acesso em: 24 mar. 2021.
- MAJUMDER, S.; DATTA, K.; DATTA, S. K. Rice biofortification: high iron, zinc, and vitamin-A to fight against “Hidden Hunger”. **Agronomy**, [Basel], v. 9, n. 12, p. 803, Nov. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/12/803>. Acesso em: 03 fev. 2021.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.
- MANGUEZE, A. V. de J. *et al.* Simultaneous zinc and selenium biofortification in rice. Accumulation, localization and implications on the overall mineral content of the flour. **Journal of Cereal Science**, [London], v. 82, n. 1, p. 34-41, May 2018. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900261158>. Acesso em: 09 fev. 2021.
- MARADINI FILHO, A. M. **Influência das condições de secagem e do uso de triticale na qualidade do macarrão**. 1983. 89 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Viçosa, Viçosa, 1983.
- MARTINÉZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz: guía de estudio para ser usada como complemento de la unidade auditorial sobre el mismo tema**. 3. ed. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1989. 73 p.
- MAYER, J. E.; PFEIFFER, W. H.; BEYER, P. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. **Current Opinion on Plant Biology**, [London], v. 11, n. 2, p. 166-170, Apr. 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18314378/>. Acesso em: 05 fev. 2021.
- MESSIA, M. C.; IAFELICE, G.; MARCONI, E. Effect of parboiling and chemical characteristics and non-enzymatic browning of emmer (*Triticum dicoccon* Shrank). **Journal of Cereal Science**, [London], v. 56, n. 2, p. 147-152, Sept. 2012. Disponível em: <https://dokumen.tips/documents/effect-of-parboiling-on-physical-and-chemical-characteristics-and-non-enzymatic.html>. Acesso em: 06 fev. 2021.
- MILLER, D. D.; WELCH, R. M. Food system strategies for preventing micronutrient malnutrition. **Food Policy**, [Oxford], v. 42, p. 115-128, Oct. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306919213000742>. Acesso em: 05 fev. 2021.

MIR, S. A. *et al.* Rice: parboiling and milling properties. **International Journal of Food Engineering**, [Berkeley], v. 11, n. 6, p. 777–787, Oct. 2015. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/ijfe-2015-0204/html>. Acesso em: 21 fev. 2021.

OLI, P. *et al.* Parboiled rice: understanding from a materials science approach. **Journal of Food Engineering**, [Oxford], v. 124, p. 173-183, Mar. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877413004718>. Acesso em: 14 fev. 2021.

PARAGINSKI, R. T. *et al.* Technological properties and cooking of rice grains conditioned at different temperatures before parboiling. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 146-153, Apr./June 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/WKKjBQ5NqLLsTkWv9j63GpJ/?lang=pt>. Acesso em: 16 abr. 2020.

PAUL, S. *et al.* Molecular breeding of Osfer2 gene to increase iron nutrition in rice grain. **GM Crops and Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain**, [Norway], v. 3, n. 4, p. 310-316, Oct./Dec. 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22992483/>. Acesso em: 06 fev. 2021.

R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, 2021.

ROCHA-VILARREAL, V. *et al.* Hydrothermal treatment of maize: changes in physical chemical, and functional properties. **Food Chemistry**, [Oxford], v. 263, p. 225-231, Oct. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814618307957>. Acesso em: 06 fev. 2021.

ROCHA-VILLARREAL, V.; SERNA-SALDIVAR, S. O.; GARCÍA-LARA, S. Effects of parboiling and other hydrothermal treatments on the physical, functional, and nutritional properties of rice and other cereal. **Cereal Chemistry**, [United States], v. 95, n. 1, p. 79-91, Jan./Feb. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cche.10010>. Acesso em: 06 fev. 2021.

SANTOS, J. P. dos; VILLANOVA, F. A; VANIER, N. L. Características físico-químicas, sensoriais e nutricionais de arroz parboilizado. **Labgrãos Magazine**, [Brazil], v. 1, n. 2, p. 24-26, 2017. Disponível em: <http://labgraos.com.br/downloads/magazine/Volume-1-Numero-2-Characterísticas%20físico-químicas-sensoriais-e-nutricionais-de-arroz-parboilizado.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2020.

SARANGAPANI, C. *et al.* Effect of low-pressure plasma on physico-chemical properties of parboiled rice. **LWT - Food Science and Technology**, [Amsterdam], v. 63, n. 1, p. 452-460, Sept. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643815001796> Acesso em: 12 fev. 2021.

SEN, S.; CHAKRABORTY, R.; KALITA, P. Rice - not just a staple food: a comprehensive review on its phytochemicals and therapeutic potential. **Trends in Food Science & Technology**, [London], v. 97, p. 265-285, Mar. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224419300548>. Acesso em: 22 jun. 2020.

SIVAKAMASUNDARI, S. K.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Effect of parboiling methods on the physicochemical characteristics and glycemic index of rice varieties. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [New York], v. 14, p. 3122–3137, July 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-020-00551-9>. Acesso em: 22 abr. 2021.

SOUZA, S. M. de. **Qualidade tecnológica de grãos de arroz biofortificados com minerais**. 2018. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

VAN RUITTEN, H. T. L. Rice milling and overview. *In*: JULIANO, B. O. (ed.). **Rice: chemistry and Technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985. p. 349-388.

VERGÜTZ, L. *et al.* Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. **Boletim da SCBS: A Biofortificação em debate**, Viçosa, v. 42, n. 2, p. 20–23, maio/ago. 2016. Disponível em: [https://www.sbc.org.br/wp-content/uploads/2016/10/vol42\\_n2.pdf](https://www.sbc.org.br/wp-content/uploads/2016/10/vol42_n2.pdf). Acesso em: 21 ago. 2019.

WAHENGBAM, E, D.; GREEN, B. D.; HAZARIKA, M. K. Fortification of zinc in a parboiled low amylose rice: effects of milling and cooking. **Journal of the Science Food and Agriculture**, [New York], v. 99, n. 7, p. 3434-3442, May 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30609045/>. Acesso em: 16 fev. 2021.

## **ARTIGO 2 - AVALIAÇÃO DA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA E DA PARBOILIZAÇÃO NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DE QUATRO GENÓTIPOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS**

Luíza Aparecida Carneiro Fernandes<sup>1</sup>, Luiz Roberto Guimarães Guilherme<sup>2</sup>, Ana Paula Branco Corguinha<sup>2</sup>, Flávia Barbosa Silva Botelho<sup>3</sup>, Fábio Aurélio Dias Martins<sup>4</sup>, Joelma Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, CP 3037, *Campus* UFLA, Lavras, MG, 37200-900, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Ciência dos Solos, Universidade Federal de Lavras, CP 3037, *Campus* UFLA, Lavras, MG, 37200-900, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, CP 3037, *Campus* UFLA, Lavras, MG, 37200-900, Brasil.

<sup>4</sup> Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Lavras, MG, 37200-900, Brasil.

### **RESUMO**

A deficiência de Zn está ligada à ocorrência de problemas intestinais, uma das principais causas de mortalidade entre crianças de zero a cinco anos, ao comprometimento do crescimento e má formação do feto em mulheres grávidas. A biofortificação agronômica do arroz pode auxiliar no incremento de Zn na dieta em função do alto consumo desse cereal. Este estudo teve o objetivo de avaliar a biofortificação agronômica de uma cultivar (BRS A501 CL) e três linhagens (CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15) de arroz de terras altas com Zn antes e depois do processo de parboilização. Além do teor de Zn, foram analisados a renda do benefício, o rendimento do grão, a classificação do arroz, as propriedades de cocção, a cor e o teor de cinzas. O maior teor de cinzas (1,14%) foi observado para linhagem CMG ERF 85-6 biofortificado com Zn foliar. Os teores de Zn no endosperma do grão variaram entre 16,48 mg/kg e 35,55 mg/kg, entretanto o farelo+gérmen apresentou a maior parte do Zn entre 134,60 mg/kg e 455,25 mg/kg. Com relação à parboilização, esse processo hidrotérmico aumentou o teor de Zn no endosperma para a cultivar BRS A501 CL tanto para o controle quanto para a biofortificação agronômica via solo. Entretanto as linhagens CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 apresentaram menor teor de Zn no endosperma quando parboilizadas.

**Palavras-chave:** Biofortificação com zinco. Beneficiamento do arroz. Cozimento do arroz.

## 1 INTRODUÇÃO

A deficiência de micronutrientes ou fome oculta pode acarretar diversos problemas de saúde (MAJUMDER; DATTA; DATTA, 2019). Para combatê-la, a biofortificação de alimentos visa aumentar a concentração e biodisponibilidade de vitaminas e minerais (SHAHZAD; ROUACHED; RAHKA, 2014). Zinco, ferro, vitamina A e ácido fólico são os principais nutrientes estudados em pesquisas de biofortificação (MAYER; PFEIFFER; BEYER, 2008).

O zinco é um micronutriente importante tanto para plantas quanto para humanos e sua carência pode ser relacionada à pobreza do solo e/ou ingestão de dietas pouco diversificadas (HEFFERON, 2019). Esse mineral está relacionado com o crescimento e funções do sistema reprodutivo e imune (GARIBZAHEDI; JAFARI, 2017; MAJUMDER; DATTA; DATTA, 2019). Além disso, o zinco atua como catalisador de reações enzimáticas importantes, como as que envolvem o DNA (LEVENSON; MORRIS, 2011). Entre os sintomas relacionados a quantidades insuficientes de zinco estão baixa estatura, diarreia e problemas no sistema imune (MAYER; PFEIFFER; BEYER, 2008; WHO, 2019).

O aumento do valor nutricional do arroz submetido à parboilização quando comparado com o não parboilizado tem sido reportado (BELLO *et al.*, 2015). A parboilização é composta do encharcamento, gelatinização e secagem dos grãos de arroz com casca (LII; MAUROMOSTAUKOS; WANG, 2018). Esse processo promove diversas alterações no grão, o que conseqüentemente influencia nas propriedades mecânicas e de cocção do grão (OLI *et al.*, 2014). O maior objetivo da parboilização é a migração de nutrientes da casca e do farelo para o endosperma e a etapa da gelatinização sela esses nutrientes no interior do grão de arroz.

O arroz (*Oryza sativa* L.), pertencente à família *Poaceae*, é um dos principais alimentos básicos da população mundial e seu consumo pode ocorrer por meio de grãos inteiros, farinha, bebidas e outros produtos (BUGGENHOUT *et al.*, 2013; OLI *et al.*, 2014). Em 2019, a área mundial colhida de arroz correspondia a 22% de toda área destinada à produção de cereais e, nesse mesmo ano, os principais produtores dessa cultura foram China, Índia e Indonésia (FAO, 2021a, 2021b). Pelo seu amplo consumo, a biofortificação do arroz com micronutrientes essenciais é uma ação importante no combate à fome oculta.

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência da biofortificação agrônômica, em 4 genótipos de arroz de terras altas, com aplicação de zinco tanto no solo quanto foliar. Além disso, também foram analisados a influência da parboilização na biofortificação e os efeitos nas propriedades do arroz.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

As amostras de arroz da cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 biofortificadas com zinco, foram cedidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e pelo Departamento de Ciências do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras.

A cultivar BRS A501 CL foi desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), juntamente com a BASF. Já as linhagens CMGF6LAM20-2, CMGERF85-6 e CMGERF 85-15 fazem parte do ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) do Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras, juntamente com a EPAMIG e a Embrapa Arroz e Feijão. Todas foram cultivadas na cidade de Lavras, Minas Gerais (21°14'S e 44° 59'W), na safra 2018/2019, em esquema de blocos casualizados (DBC) com 3 repetições, em parcelas de 10 m<sup>2</sup>.

As cultivares foram submetidas, no campo, à biofortificação descrita na Tabela 1.

Tabela 1 - Biofortificação com Zn aplicado à cultivar BRS A501 CL e às linhagens CMGF6LAM20-2, CMGERF85-6 e CMGERF85-15 no campo.

| Biofortificação | Descrição  |
|-----------------|--|
| Controle        | 250 kg/ha de NPK (08-28-16)  |
| Zn Solo         | 250 kg/ha do formulado NPK (08-28-16) + aplicação no solo de 50 kg de $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$   |
| Zn Foliar       | 250 kg/ha do formulado NPK (08-28-16) + 2 aplicações (fase de emborrachamento e fase de grão leitoso) de $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , com dose de 2,5kg/ha/aplicação e volume de calda de 500 mL/parcela em cada aplicação |

Fonte: Da autora (2021).

## 2.2 Isotermas de absorção de água e parboilização

Para a obtenção do tempo ótimo de encharcamento necessário para a parboilização, foram construídas isotermas de absorção de água (APÊNDICE E), de acordo metodologia adaptada de Elias (1998). As amostras foram colocadas em sacos de tecido de tule fino previamente identificados imersos em béqueres de vidro e acondicionados em banho-maria (marca FANEM, modelo 147, Brasil) a 65 °C, de acordo com a interpretação da análise de temperatura de gelatinização. O tempo de encharcamento dos grãos foi de 480 minutos e a cada 60 minutos, 2 g de amostras, para cada repetição, foram retirados do banho-maria, drenados do excesso de água e pesados em balança analítica (Precision, AA- 250, Brasil) e levados para secar em estufa (marca Datamed, modelo 320-SE, Brasil) a 105 °C/24h e pesadas novamente para o cálculo da umidade.

De posse dos valores de umidade e tempo foram confeccionadas isotermas de absorção de água, por meio das quais foi calculado o tempo ótimo de encharcamento para cada tratamento e cultivar, considerando a informação de Amato, Carvalho e Silveira Filho (2002) de que a umidade ideal para a parboilização está entre 30% e 32%.

Para o processo de parboilização, aproximadamente 115 gramas de arroz em casca de cada parcela do experimento foram colocados em sacos de tecido de tule fino previamente identificados e colocados em béqueres de vidro de 1L (marca Uniglass, Brasil) com proporção de arroz: água de 1:1,5 e deixadas em banho-maria a 65 °C  $\pm$  2 °C, pelo tempo ótimo de encharcamento. A temperatura do banho foi monitorada durante todo o experimento.

Ao final do encharcamento, depois de drenado o excesso de água, as amostras foram levadas para a autoclave (marca Soc. Fabbe Ltda, modelo 104cb, Brasil) sob as condições de 0,5 atm/121 °C/10 minutos. Depois de autoclavadas, as amostras foram dispostas em telas de *nylon* e secas naturalmente até atingirem aproximadamente 11% de umidade.

## 2.3 Análises

### 2.3.1 Temperatura de gelatinização

A temperatura de gelatinização (Tg) foi estimada seguindo metodologia proposta por Martínéz e Cuevas (1989), na qual as amostras de arroz, sem casca, de cada parcela foram submetidas a solução de KOH 1,7%, em Placas de Petri, por 23 horas a 30 °C e posteriormente analisadas em relação a uma escala de 7 graus. A classificação seguiu os seguintes critérios:

grau 1 a 3 (Tg alta – 74 °C a 80 °C); graus 4 e 5 (Tg intermediária – 69 °C a 73 °C) e graus 6 e 7 (Tg baixa – 63 °C a 68 °C), conforme mostrado no Apêndice D.

### 2.3.2 Beneficiamento, renda do benefício, rendimento do grão e classificação

O beneficiamento das amostras foi realizado por meio de engenho de provas (marca Suzuki, M-T 803-5 Brasil), previamente regulado, da Unidade de Beneficiamento de Sementes do Departamento de Agricultura (DAG) da UFLA, seguindo metodologia proposta por Van Ruitten (1985). O rendimento do grão (peso do arroz polido/peso do arroz em casca), a renda do benefício (peso dos grãos inteiros/peso dos grãos quebrados+inteiros) e a classificação do arroz foram realizados segundo a Instrução Normativa n° 6, de 29 de fevereiro de 2009. A análise de grãos não gelatinizados (GNG) (APÊNDICE F), necessária para classificação do arroz parboilizado, seguiu metodologia adaptada de Amato (1988).

As Tabelas 2 e 3 presentes na legislação e usadas para classificar o arroz foram:

Tabela 2 - Classificação do Arroz em Casca Natural - Limites máximos de tolerância expressos em %/peso.

| <b>Tipo</b> | <b>Ardidos</b> | <b>Picados ou Manchados</b> | <b>Gessados e Verdes</b> | <b>Rajados</b> | <b>Amarelos</b> |
|-------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|----------------|-----------------|
| 1           | 0,15           | 1,75                        | 2,00                     | 1,00           | 0,50            |
| 2           | 0,30           | 3,00                        | 4,00                     | 1,50           | 1,00            |
| 3           | 0,50           | 4,50                        | 6,00                     | 2,00           | 2,00            |
| 4           | 1,00           | 6,00                        | 8,00                     | 3,00           | 3,00            |
| 5           | 1,50           | 8,00                        | 10,00                    | 4,00           | 5,00            |

Fonte: Anexo II MAPA IN 06/2009 com alterações da IN MAPA 02/2012.



Tabela 3 - Classificação do Arroz em Casca Parboilizado - Limites máximos de tolerância expressos em %/peso.

| <b>Tipo</b> | <b>Ardidos e Enegrecidos</b> | <b>Não gelatinizados</b> | <b>Danificados</b> | <b>Rajados</b> | <b>Picados ou Manchados</b> |
|-------------|------------------------------|--------------------------|--------------------|----------------|-----------------------------|
| 1           | 0,20                         | 20,00                    | 0,50               | 1,00           | 1,75                        |
| 2           | 0,40                         | 25,00                    | 1,00               | 1,50           | 3,00                        |
| 3           | 0,60                         | 35,00                    | 1,50               | 2,00           | 4,50                        |
| 4           | 0,80                         | 45,00                    | 2,00               | 3,00           | 6,00                        |
| 5           | 1,00                         | 55,00                    | 3,00               | 4,00           | 8,00                        |

Observação: O limite máximo de tolerância admitido para grão não parboilizado é de 0,30 (zero vírgula trinta por cento) para todos os tipos. Acima desse limite o produto será considerado como Fora de Tipo.

Fonte: Anexo III MAPA IN 06/2009 com alterações da IN MAPA 02/2012.

### 2.3.3 Testes de cocção

Os testes de cocção realizados foram:

#### 2.3.3.1 Tempo ótimo de cozimento (CIACO; CHANG, 1986; HUMMEL, 1966):

10 g de arroz sem casca (grãos inteiros), de cada parcela do experimento, foram colocados em água destilada em ebulição por 15 minutos. Decorrido esse tempo, a cada minuto, três grãos foram retirados da água e comprimidos entre duas placas de vidro para verificar o cozimento. O arroz foi considerado cozido quando seu centro não apresentou mais opacidade.

#### 2.3.3.2 Coeficiente de expansão de volume (CIACCO; CHANG, 1986; DONNELLY, 1979):

Adicionaram-se 10 g de arroz sem casca, de cada parcela do experimento, em 100 mL de querosene, presentes numa proveta graduada com capacidade para 250 mL e foi anotado o volume deslocado. Posteriormente, 10 g de arroz cozidos pelo tempo ótimo de cozimento e drenados do excesso de água, foram novamente adicionados a 100 mL de querosene e anotou-se novamente o volume deslocado. O coeficiente de expansão do volume foi calculado como sendo a razão entre o volume deslocado pelo arroz cozido e o volume deslocado pelo arroz cru.

### 2.3.3.3 Índice de absorção de água (DONNELLY, 1979; HUMMEL, 1966):

10 g de arroz sem casca, de cada parcela do experimento, foram cozidos em água pelo tempo ótimo de cozimento. O índice de absorção de água foi obtido pela razão entre o peso do arroz cozido e o peso do arroz cru.

### 2.3.3.4 Perda de sólidos solúveis (CIACCO; CHANG, 1986; MARADINI FILHO, 1983):

10 g de arroz (grãos inteiros) sem casca, de cada parcela do experimento, foram cozidos em água destilada e depois do tempo ótimo de cozimento, drenou-se a água do arroz. O volume da água de cozimento foi medido e uma alíquota de 10 mL foi retirada e levada para estufa (95 °C/5 h) em placa de Petri previamente tarada. Depois de 5 horas, a placa foi retirada da estufa, resfriada em dessecador e pesada novamente. O teor de sólidos solúveis foi calculado através da seguinte fórmula 1:

$$\text{Perda de sólidos solúveis: } \frac{(\text{volume de água} \cdot \text{resíduo seco} \cdot 100)}{\frac{\text{alíquota}}{\text{peso do arroz cru}}} \quad (1)$$

### 2.3.4 Análise instrumental da cor

Para a análise instrumental da cor dos grãos de arroz foi usado um espectrofotômetro (marca Konica Minolta, modelo CM -5, Japão), com iluminante D<sub>65</sub>, e foram obtidos os parâmetros L\*, a, b, Chroma e °Hue.

### 2.3.5 Teor de cinzas

O teor de cinzas dos grãos de arroz foi determinado ao se incinerar as amostras em mufla a 550 °C, de acordo com o método 923.03 da *Association of Official Agricultural Chemists* (AOAC, 2016).

### 2.3.6 Teor de zinco

Os teores de Zn na casca, no farelo+gérmen e no endosperma dos grãos de arroz das amostras estudadas foram obtidos através de espectrofotometria de absorção atômica, precedida por digestão nitro-perclórica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

### 2.4 Delineamento experimental

As análises foram conduzidas em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial 12 tratamentos (TABELA 4) x 2 níveis de parboilização (com parboilização e sem parboilização), com três repetições, totalizando 72 amostras.

Tabela 4 - Tratamentos aplicados à cultivar BRS A501 CL e às linhagens CMGF6LAM20-2, CMGERF85-6 e CMGERF85-15 para o delineamento experimental.

| <b>Tratamento</b> | <b>Descrição</b>                   |
|-------------------|------------------------------------|
| 1                 | Controle cultivar BRS A501 CL      |
| 2                 | Zn Solo cultivar BRS A501 CL       |
| 3                 | Zn Foliar cultivar BRS A501 CL     |
| 4                 | Controle linhagem CMG F6 LAM 20-2  |
| 5                 | Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2   |
| 6                 | Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2 |
| 7                 | Controle linhagem CMG ERF 85-6     |
| 8                 | Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6      |
| 9                 | Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6    |
| 10                | Controle linhagem CMG ERF 85-15    |
| 11                | Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15     |
| 12                | Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15   |

Fonte: Da autora (2021).

### 2.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando as médias foram significativas, as mesmas foram comparadas pelo teste de Scott-Knott com 5% de

significância. O programa utilizado foi o Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

Além disso, o programa R versão 4.0.4 (R CORE TEAM, 2021) juntamente com os pacotes FactoMineR (LÊ; JOSSE; HUSSON, 2008) e Factoextra foram utilizados para aplicar a Análise de Componentes Principais (PCA) nos dados obtidos.

Mapas Auto-Organizáveis de Kohonen (KSOM), um tipo de Rede Neural Artificial (ANN), também foram aplicados nos dados obtidos de forma a agrupar as amostras de acordo com as similaridades em suas propriedades. O programa MATLABR2015a foi utilizado juntamente com o SOM Toolbox 2.1 (VATANEN *et al.*, 2015), em que a rede hexagonal 9 x 4 foi a escolhida baseada nos índices de Davies-Bouldin (DB), com valor igual a 0,502 e de Silhouette (S), com valor igual a 0,851. Além disso, a rede hexagonal 9 x 4 teve erro de quantização igual a 0,435, erro topográfico igual a 0 e erro combinado igual a 0,656.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela observação da Tabela 5 podemos ver o resultado da Análise de Variância para características fenotípicas de renda do benefício, rendimento do grão, teor de cinzas, tempo ótimo de cozimento, coeficiente de expansão de volume, índice de absorção de água, perda de sólidos solúveis, atributos de cor, teor de Zn na casca, teor de Zn no farelo + gérmen e teor de Zn no endosperma.

Tabela 5 - Resultado da Análise de Variância (ANOVA) para as características fenotípicas de renda do benefício, rendimento do grão, teor de cinzas, tempo ótimo de cozimento, coeficiente de expansão de volume, índice de absorção de água, perda de sólidos solúveis, L\*, a, b, Chroma, °Hue, teor de Zn na casca, teor de Zn no farelo + gérmen e teor de Zn no endosperma (Continua).

| Características<br>fenotípicas |      | Efeitos       |            |                              | CV<br>(%) | Média<br>Geral |
|--------------------------------|------|---------------|------------|------------------------------|-----------|----------------|
|                                |      | Parboilização | Tratamento | Parboilização*<br>Tratamento |           |                |
| Renda do<br>Benefício          | QM   | 89,2002       | 9,5599     | 5,3610                       | 1,45      | 74,74          |
|                                | Pr>F | <0,01         | <0,01      | <0,01                        |           |                |
| Rendimento do<br>grão          | QM   | 2114,1253     | 17,8605    | 7,5987                       | 2,08      | 89,98          |
|                                | Pr>F | <0,01         | <0,01      | 0,03                         |           |                |
| Cinzas                         | QM   | 0,5117        | 0,0334     | 0,0311                       | 4,20      | 0,74           |
|                                | Pr>F | <0,01         | <0,01      | <0,01                        |           |                |

Tabela 5 - Resultado da Análise de Variância (ANOVA) para as características fenotípicas de renda do benefício, rendimento do grão, teor de cinzas, tempo ótimo de cozimento, coeficiente de expansão de volume, índice de absorção de água, perda de sólidos solúveis, L\*, a, b, Chroma, °Hue, teor de Zn na casca, teor de Zn no farelo + gérmen e teor de Zn no endosperma (Continua).

| Características fenotípicas       | Efeitos       |            |                           | CV (%)    | Média Geral |        |
|-----------------------------------|---------------|------------|---------------------------|-----------|-------------|--------|
|                                   | Parboilização | Tratamento | Parboilização* Tratamento |           |             |        |
| Tempo de cozimento                | QM            | 86,6806    | 3,5290                    | 2,8018    | 4,72        | 18,01  |
|                                   | Pr>F          | <0,01      | <0,01                     | <0,01     |             |        |
| Coeficiente de expansão de volume | QM            | 30901,3943 | 4246,9935                 | 4537,9734 | 4,52        | 379,51 |
|                                   | Pr>F          | <0,01      | <0,01                     | <0,01     |             |        |
| Índice de absorção de água        | QM            | 14361,4527 | 1153,1679                 | 234,8396  | 1,69        | 261,31 |
|                                   | Pr>F          | <0,01      | <0,01                     | <0,01     |             |        |
| Perda de sólidos solúveis         | QM            | 117,3512   | 1,8101                    | 1,3492    | 12,24       | 6,80   |
|                                   | Pr>F          | <0,01      | <0,01                     | 0,06      |             |        |
| L*                                | QM            | 1581,2349  | 12,1618                   | 17,5940   | 1,61        | 68,10  |
|                                   | Pr>F          | <0,01      | <0,01                     | <0,01     |             |        |

Tabela 5 - Resultado da Análise de Variância (ANOVA) para as características fenotípicas de renda do benefício, rendimento do grão, teor de cinzas, tempo ótimo de cozimento, coeficiente de expansão de volume, índice de absorção de água, perda de sólidos solúveis, L\*, a, b, Chroma, °Hue, teor de Zn na casca, teor de Zn no farelo + gérmen e teor de Zn no endosperma (Conclusão).

| Características fenotípicas      | Efeitos       |            |                |            | CV (%) | Média Geral |
|----------------------------------|---------------|------------|----------------|------------|--------|-------------|
|                                  | Parboilização | Tratamento | Parboilização* | Tratamento |        |             |
| a                                | QM            | 159,5988   | 5,0966         | 1,6479     | 25,31  | 1,71        |
|                                  | Pr>F          | <0,01      | <0,01          | <0,01      |        |             |
| b                                | QM            | 1440,6218  | 0,8117         | 1,8896     | 2,11   | 20,51       |
|                                  | Pr>F          | <0,01      | <0,01          | <0,01      |        |             |
| Chroma                           | QM            | 1500,7381  | 1,0293         | 2,0899     | 2,32   | 20,61       |
|                                  | Pr>F          | <0,01      | <0,01          | <0,01      |        |             |
| °Hue                             | QM            | 738,0025   | 38,8223        | 12,1443    | 1,19   | 85,44       |
|                                  | Pr>F          | <0,01      | <0,01          | <0,01      |        |             |
| Teor de Zinco na Casca           | QM            | 2124,7377  | 7533,8112      | 176,2979   | 3,96   | 77,01       |
|                                  | Pr>F          | <0,01      | <0,01          | <0,01      |        |             |
| Teor de Zinco no Farelo + gérmen | QM            | 400288,713 | 11435,1940     | 10946,3813 | 5,05   | 268,35      |
|                                  | Pr>F          | <0,01      | <0,01          | <0,01      |        |             |
| Teor de Zinco no Endosperma      | QM            | 192,6063   | 133,5079       | 44,2027    | 6,68   | 25,28       |
|                                  | Pr>F          | <0,01      | <0,01          | <0,01      |        |             |

QM: Quadrado médio. C. V.: Coeficiente de variação.

Fonte: Da autora (2021).

### 3.1 Renda do benefício e rendimento do grão

Na Tabela 6 são apresentados os valores de renda do benefício e rendimento do grão para as linhagens e a cultivar de arroz biofortificadas com zinco estudadas.

Tabela 6 - Valores médios  $\pm$  desvios-padrão\* da renda do benefício e rendimento do grão da cultivar BRA A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 de arroz biofortificadas com zinco parboilizadas e biofortificadas não parboilizadas.

| Tratamentos** | Renda do benefício (%)         |                                | Rendimento de grãos inteiros em relação aos grãos polidos (%) |                                |
|---------------|--------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|
|               | Não parboilizadas              | Parboilizadas                  | Não parboilizadas   | Parboilizadas                  |
| 1             | 75,42 $\pm$ 1,03 <sup>aA</sup> | 76,83 $\pm$ 3,50 <sup>aA</sup> | 83,26 $\pm$ 1,29 <sup>cB</sup>                                | 93,03 $\pm$ 2,61 <sup>aA</sup> |
| 2             | 75,45 $\pm$ 0,86 <sup>aA</sup> | 73,74 $\pm$ 0,62 <sup>bA</sup> | 85,26 $\pm$ 0,86 <sup>bB</sup>                                | 95,36 $\pm$ 0,46 <sup>aA</sup> |
| 3             | 75,34 $\pm$ 0,12 <sup>aA</sup> | 74,32 $\pm$ 0,77 <sup>bA</sup> | 88,22 $\pm$ 1,23 <sup>aB</sup>                                | 95,76 $\pm$ 0,65 <sup>aA</sup> |
| 4             | 74,10 $\pm$ 1,17 <sup>aB</sup> | 77,30 $\pm$ 1,25 <sup>aA</sup> | 84,54 $\pm$ 2,00 <sup>bB</sup>                                | 95,79 $\pm$ 0,68 <sup>aA</sup> |
| 5             | 75,52 $\pm$ 0,91 <sup>aB</sup> | 77,28 $\pm$ 0,51 <sup>aA</sup> | 82,79 $\pm$ 2,77 <sup>cB</sup>                                | 95,83 $\pm$ 0,29 <sup>aA</sup> |
| 6             | 75,35 $\pm$ 0,99 <sup>aB</sup> | 78,49 $\pm$ 0,46 <sup>aA</sup> | 86,86 $\pm$ 0,96 <sup>bB</sup>                                | 95,80 $\pm$ 1,32 <sup>aA</sup> |
| 7             | 73,17 $\pm$ 0,95 <sup>bB</sup> | 75,13 $\pm$ 0,84 <sup>bA</sup> | 82,21 $\pm$ 1,90 <sup>cB</sup>                                | 95,10 $\pm$ 0,66 <sup>aA</sup> |
| 8             | 72,16 $\pm$ 1,08 <sup>bB</sup> | 75,65 $\pm$ 0,77 <sup>bA</sup> | 82,14 $\pm$ 2,58 <sup>cB</sup>                                | 94,61 $\pm$ 0,21 <sup>aA</sup> |
| 9             | 72,38 $\pm$ 0,19 <sup>bB</sup> | 75,15 $\pm$ 0,77 <sup>bA</sup> | 79,61 $\pm$ 5,88 <sup>cB</sup>                                | 94,45 $\pm$ 0,36 <sup>aA</sup> |
| 10            | 72,04 $\pm$ 0,61 <sup>bB</sup> | 75,88 $\pm$ 1,43 <sup>bA</sup> | 85,22 $\pm$ 2,17 <sup>bB</sup>                                | 97,22 $\pm$ 0,15 <sup>aA</sup> |
| 11            | 71,28 $\pm$ 0,11 <sup>bB</sup> | 75,50 $\pm$ 0,67 <sup>bA</sup> | 85,95 $\pm$ 1,21 <sup>bB</sup>                                | 94,88 $\pm$ 0,91 <sup>aA</sup> |
| 12            | 71,25 $\pm$ 0,96 <sup>bB</sup> | 74,91 $\pm$ 0,22 <sup>bA</sup> | 88,70 $\pm$ 2,29 <sup>aB</sup>                                | 96,98 $\pm$ 0,40 <sup>aA</sup> |

\* Médias  $\pm$  desvios padrão de três repetições, seguidas de mesmas letras minúsculas na mesma coluna e de mesmas letras maiúsculas na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott - Knott a 5% ( $p \geq 0,05$ ), para cada atributo estudado.

\*\* 1: Controle cultivar BRS A501 CL; 2: Zn Solo cultivar BRS A501 CL; 3: Zn Foliar cultivar BRS A501 CL; 4: Controle linhagem CMG F6 LAM 20-2; 5: Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2; 6: Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2; 7: Controle linhagem CMG ERF 85-6; 8: Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6; 9: Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6; 10: Controle linhagem CMG ERF 85-15; 11: Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15; 12: Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15.

Fonte: Da autora (2021).



Para as amostras sem parboilização, as rendas do benefício dos genótipos BRS A501 CL e CMG F6 LAM 20-2, não apresentaram diferença significativa entre si, mas foram maiores que as rendas obtidas para as linhagens CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 que, por sua vez, também não apresentaram diferença significativa entre si. Os maiores valores de renda para o arroz que passou pela parboilização foram observados nos tratamentos 1 (Controle cultivar BRS A501 CL), 4 (Controle linhagem CMG F6 LAM 20-2), 5 (Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2) e 6 (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2).

Quando comparadas a renda do benefício do arroz não parboilizado com a do arroz parboilizado, observou-se que a parboilização aumentou a renda do benefício para as linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15.

Ojediran *et al.* (2019) encontraram valores de renda do benefício para arroz nigeriano colorido parboilizado submetido a diferentes tempos de polimento entre 74,40% e 80,58%.

Em relação ao rendimento do grão, os maiores valores para amostras não parboilizadas ocorreram para os tratamentos 3 (Zn Foliar cultivar BRS A501 CL) e 12 (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15). Também foi observado que a parboilização aumentou em média 11,3% o rendimento do grão. Paraginski *et al.* (2014) obtiveram rendimento do grão de arroz parboilizado variando entre 71,54% e 72,21%.

Dessa forma, tanto os valores de renda do benefício quanto do rendimento do grão estão próximos dos valores descritos pela literatura, o que sugere que esses parâmetros não são afetados negativamente pela biofortificação nem pela parboilização.

O incremento provocado pelo processo de parboilização, tanto na renda do benefício quanto no rendimento do grão, pode ser relacionado ao aumento da dureza do grão, à selagem de pequenas fissuras durante a etapa de gelatinização, que promoveriam a quebra do grão durante o beneficiamento, e também à facilidade de descasque provocada pela maior aderência do endosperma, farelo e germe, deixando maior espaçamento entre essas partes do grão e a casca (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002; MIR *et al.*, 2015; ROCHA-VILLARREAL; SERNA-SALDIVAR; GARCÍA-LARA, 2018).

### 3.2 Classificação

De acordo com as instruções e limites de classificação de arroz presentes na Instrução Normativa n° 6, de 16 de fevereiro de 2009 (BRASIL, 2009), os arrozes estudados foram classificados como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação do arroz biofortificado com zinco, não parboilizado e parboilizado, conforme na Instrução Normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009.

| <b>Classificação do arroz biofortificado com Zn</b> |                         |                     |
|---|-------------------------|---------------------|
| <b>Tratamentos *</b>                                | <b>Não parboilizado</b> | <b>Parboilizado</b> |
| 1   | Tipo 4                  | Desclassificado     |
| 2   | Tipo 5                  | Desclassificado     |
| 3   | Tipo 4                  | Desclassificado     |
| 4   | Fora de tipo            | Desclassificado     |
| 5   | Fora de tipo            | Desclassificado     |
| 6   | Fora de tipo            | Desclassificado     |
| 7   | Fora de tipo            | Desclassificado     |
| 8   | Fora de tipo            | Desclassificado     |
| 9   | Fora de tipo            | Desclassificado     |
| 10  | Fora de tipo            | Desclassificado     |
| 11  | Desclassificado         | Desclassificado     |
| 12  | Desclassificado         | Desclassificado     |

\* **1:** Controle cultivar BRS A501 CL; **2:** Zn Solo cultivar BRS A501 CL; **3:** Zn Foliar cultivar BRS A501 CL; **4:** Controle linhagem CMG F6 LAM 20-2; **5:** Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2; **6:** Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2; **7:** Controle linhagem CMG ERF 85-6; **8:** Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6; **9:** Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6; **10:** Controle linhagem CMG ERF 85-15; **11:** Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15; **12:** Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15.

Fonte: Da autora (2021).

Para o arroz não parboilizado foram analisados os seguintes defeitos: ardidos, picados/manchados, gessados/verdes, rajados e amarelos, de acordo com a tabela presente no anexo II da IN 06/2009 (BRASIL, 2009).

Apenas o arroz da cultivar BRS A501 CL enquadrou-se em algum tipo. A razão para as outras três cultivares analisadas serem enquadradas como FORA DE TIPO foi a presença de um teor de grãos ardidos maior do que o permitido pela legislação vigente. Isso sugere que a cultivar BRS A501 CL apresentou maior resistência ao ataque de microrganismos que promovem a mudança de cor do grão através do processo de fermentação.

Para o arroz parboilizado foram avaliados os defeitos: grãos ardidos e enegrecidos, não gelatinizados, danificados, rajados e picados/manchados, de acordo com o proposto pelo anexo

III da IN 06/2009 (BRASIL, 2009). Como pode ser visto, todas as amostras parboilizadas foram entendidas como desclassificadas, em função da presença de um percentual de ardidos igual ou superior a 5%.

É importante salientar que essa classificação descrita neste trabalho foi feita para o arroz colhido que não passou por nenhum tipo de beneficiamento para melhoria do tipo. A legislação permite que os arrozes sejam rebeneficiados para que se enquadrem em algum tipo e possam ser comercializados.

### **3.3 Propriedades de cocção**

A Tabela 8 apresenta os valores de tempo ótimo de cozimento, coeficiente de expansão de volume, índice de absorção de água e perda de sólidos solúveis para a cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 biofortificadas não parboilizadas e biofortificadas parboilizadas.

Tabela 8 - Tempo ótimo de cozimento, coeficiente de expansão de volume, índice de absorção de água e perda de sólidos solúveis para a cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 biofortificadas com Zn não parboilizadas e biofortificadas com Zn parboilizadas\* (Continua).

| Tratamentos | Tempo ótimo de cozimento<br>(min) |                              | Coeficiente de expansão de<br>volume (%) |                                | Índice de absorção de Água<br>(%) |                               | Perda de sólidos solúveis<br>(%) |                             |
|-------------|-----------------------------------|------------------------------|--|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
|             | NP                                | P                            | NP                                       | P                              | NP                                | P                             | NP                               | P                           |
| 1           | 18,33±<br>0,58 <sup>bA</sup>      | 15,33±<br>0,58 <sup>bB</sup> | 377,78±<br>38,49 <sup>dA</sup>           | 366,67±<br>0,00 <sup>bA</sup>  | 245,51±<br>7,08 <sup>eA</sup>     | 239,87±<br>1,22 <sup>dB</sup> | 8,01±<br>0,62 <sup>bA</sup>      | 6,26±<br>1,48 <sup>aB</sup> |
| 2           | 20,00±<br>0,00 <sup>aA</sup>      | 18,67±<br>0,58 <sup>aA</sup> | 466,67±<br>33,33 <sup>aA</sup>           | 400,00±<br>0,00 <sup>aB</sup>  | 306,13±<br>3,75 <sup>aA</sup>     | 264,65±<br>0,54 <sup>aB</sup> | 8,46±<br>0,54 <sup>bA</sup>      | 5,98±<br>0,31 <sup>aB</sup> |
| 3           | 18,33±<br>0,58 <sup>bA</sup>      | 18,00±<br>0,00 <sup>aA</sup> | 383,33±<br>28,87 <sup>dA</sup>           | 325,00±<br>0,00 <sup>cB</sup>  | 302,79±<br>5,18 <sup>aA</sup>     | 268,03±<br>1,30 <sup>aB</sup> | 9,33±<br>1,44 <sup>aA</sup>      | 5,49±<br>0,29 <sup>aB</sup> |
| 4           | 18,33±<br>0,58 <sup>bA</sup>      | 17,00±<br>1,00 <sup>aA</sup> | 325,00±<br>0,00 <sup>eB</sup>            | 383,33±<br>16,67 <sup>aA</sup> | 279,01±<br>5,52 <sup>cA</sup>     | 247,09±<br>1,53 <sup>cB</sup> | 8,67±<br>0,51 <sup>aA</sup>      | 5,18±<br>0,19 <sup>aB</sup> |
| 5           | 18,33±<br>0,58 <sup>bA</sup>      | 17,67±<br>0,58 <sup>aA</sup> | 411,11±<br>19,25 <sup>cA</sup>           | 275,00±<br>0,00 <sup>dB</sup>  | 277,51±<br>0,06 <sup>cA</sup>     | 238,50±<br>0,64 <sup>dB</sup> | 7,61±<br>0,67 <sup>bA</sup>      | 4,96±<br>0,08 <sup>aB</sup> |

Tabela 8 - Tempo ótimo de cozimento, coeficiente de expansão de volume, índice de absorção de água e perda de sólidos solúveis para a cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 biofortificadas com Zn não parboilizadas e biofortificadas com Zn parboilizadas\* (Continua).

| Tratamentos | Tempo ótimo de cozimento<br>(min) |                              | Coeficiente de expansão de<br>volume (%) |                                | Índice de absorção de Água<br>(%) |                               | Perda de sólidos solúveis<br>(%) |                             |
|-------------|-----------------------------------|------------------------------|--|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
|             | NP                                | P                            | NP                                       | P                              | NP                                | P                             | NP                               | P                           |
| 6           | 17,33±<br>0,58 <sup>bA</sup>      | 16,33±<br>1,15 <sup>bA</sup> | 383,33±<br>16,67 <sup>dA</sup>           | 383,33±<br>16,67 <sup>aA</sup> | 260,41±<br>4,96 <sup>eA</sup>     | 237,17±<br>5,68 <sup>dB</sup> | 7,73±<br>1,02 <sup>bA</sup>      | 4,21±<br>1,44 <sup>aB</sup> |
| 7           | 19,67±<br>1,15 <sup>aA</sup>      | 17,00±<br>1,73 <sup>aB</sup> | 411,11±<br>19,25 <sup>cA</sup>           | 283,33±<br>14,43 <sup>dB</sup> | 267,56±<br>6,17 <sup>dA</sup>     | 238,01±<br>5,87 <sup>dB</sup> | 7,38±<br>1,10 <sup>bA</sup>      | 5,48±<br>0,19 <sup>aB</sup> |
| 8           | 19,33±<br>1,15 <sup>aA</sup>      | 17,67±<br>0,58 <sup>aB</sup> | 400,00±<br>0,00 <sup>cA</sup>            | 388,89±<br>19,25 <sup>aA</sup> | 261,94±<br>4,87 <sup>dA</sup>     | 240,94±<br>2,73 <sup>dB</sup> | 7,45±<br>1,05 <sup>bA</sup>      | 5,71±<br>0,48 <sup>aB</sup> |
| 9           | 19,33±<br>1,53 <sup>aA</sup>      | 16,67±<br>1,53 <sup>bB</sup> | 400,00±<br>0,00 <sup>cA</sup>            | 400,00±<br>0,00 <sup>aA</sup>  | 266,79±<br>2,46 <sup>dA</sup>     | 255,22±<br>3,23 <sup>bB</sup> | 7,46±<br>0,88 <sup>bA</sup>      | 6,24±<br>0,29 <sup>aB</sup> |
| 10          | 19,00±<br>0,00 <sup>bA</sup>      | 15,67±<br>0,58 <sup>bB</sup> | 400,00±<br>0,00 <sup>cA</sup>            | 366,67±<br>0,00 <sup>bB</sup>  | 260,18±<br>3,38 <sup>eA</sup>     | 228,82±<br>0,15 <sup>eB</sup> | 7,11±<br>0,48 <sup>bA</sup>      | 5,18±<br>0,69 <sup>aB</sup> |

Tabela 8 - Tempo ótimo de cozimento, coeficiente de expansão de volume, índice de absorção de água e perda de sólidos solúveis para a cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 biofortificadas com Zn não parboilizadas e biofortificadas com Zn parboilizadas\* (Conclusão).

| Tratamentos | Tempo ótimo de cozimento<br>(min) |                    | Coeficiente de expansão de<br>volume (%) |                    | Índice de absorção de Água<br>(%) |                    | Perda de sólidos solúveis<br>(%) |                    |
|-------------|-----------------------------------|--------------------|--|--------------------|-----------------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|
|             | NP                                | P                  | NP                                       | P                  | NP                                | P                  | NP                               | P                  |
| 11          | 20,67±                            | 17,33±             | 411,11±                                  | 366,67±            | 271,92±                           | 261,90±            | 7,86±                            | 5,82±              |
|             | 0,58 <sup>aA</sup>                | 0,58 <sup>aB</sup> | 19,25 <sup>cA</sup>                      | 0,00 <sup>bB</sup> | 8,15 <sup>cA</sup>                | 4,38 <sup>aB</sup> | 1,61 <sup>bA</sup>               | 0,41 <sup>aB</sup> |
| 12          | 20,67±                            | 15,67±             | 433,33±                                  | 366,67±            | 296,48±                           | 246,07±            | 9,87±                            | 5,79±              |
|             | 0,58 <sup>aA</sup>                | 0,58 <sup>bB</sup> | 33,33 <sup>bA</sup>                      | 0,00 <sup>bB</sup> | 7,30 <sup>bA</sup>                | 3,27 <sup>cB</sup> | 0,82 <sup>aA</sup>               | 0,29 <sup>aB</sup> |

NP: não parboilizado; P: parboilizado

\* Médias ± desvio padrão de três repetições, seguidas de mesmas letras minúsculas na mesma coluna e de mesmas letras maiúsculas na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott - Knott a 5% (p<0,05) para cada atributo.

\*\* **1:** Controle cultivar BRS A501 CL; **2:** Zn Solo cultivar BRS A501 CL; **3:** Zn Foliar cultivar BRS A501 CL; **4:** Controle linhagem CMG F6 LAM 20-2; **5:** Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2; **6:** Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2; **7:** Controle linhagem CMG ERF 85-6; **8:** Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6; **9:** Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6; **10:** Controle linhagem CMG ERF 85-15; **11:** Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15; **12:** Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15.

Fonte: Da autora (2021).

As maiores médias do tempo ótimo de cozimento, para amostras não parboilizadas foram apresentadas pelos tratamentos 2 (Zn Solo cultivar BRS A501 CL), 7 (Controle linhagem CMG ERF 85-6), 8 (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6), 9 (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6), 10 (Controle linhagem CMG ERF 85-15), 11 (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15) e 12 (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15). Depois da parboilização foi verificada diminuição no tempo ótimo de cozimento para os tratamentos 1 (Controle cultivar BRS A501 CL), 7 (Controle linhagem CMG ERF 85-6), 8 (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6), 9 (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6), 10 (Controle linhagem CMG ERF 85-15), 11 (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15) e 12 (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15).

A diminuição do tempo ótimo de cozimento ocorreu, principalmente, para as linhagens CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15. Sendo que estas linhagens não apresentaram umidade final de 32% (APÊNDICE E), uma vez que durante os testes de construção das isotermas de absorção foi observada a abertura das cascas dos grãos (antes de atingirem 32% de umidade), o que é indesejável uma vez que a abertura da casca pode promover a lixiviação de substâncias e a formação de grumos durante a gelatinização. Na gelatinização do amido, no processo de parboilização, o teor de água é fundamental e sabe-se que a completa gelatinização do amido representa um entrave à entrada de água no grão, já que restringe a presença de espaços vazios. Desse modo, sugere-se que a diminuição do tempo ótimo de cozimento esteja relacionada com a menor umidade na etapa de encharcamento, o que pode ter ocasionado uma gelatinização parcial e a maior presença de espaços vazios no grão, o que facilitou a entrada de água no cozimento.

O tempo de cozimento depende do grau de gelatinização (AHMAD *et al.*, 2017), do teor de amilose (SIVAKAMASUNDARI; MOSES; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2020), do teor de proteínas (BISWAS *et al.*, 2018), das condições de armazenamento, polimento e método usado na avaliação de cozimento (CHAKKARAVARTHI *et al.*, 2008).

Meresa *et al.* (2020) observaram incremento no tempo de cozimento de diferentes variedades de arroz após a parboilização e obtiveram resultados médios entre 17,46 minutos e 19,42 minutos. Ojediran *et al.* (2019) reportaram valores de tempo de cozimento entre 15 minutos e 19 minutos para arroz parboilizado polido. Tais valores se encontram próximos dos resultados expostos no presente trabalho.

O índice de absorção de água variou entre 260,18% - 306,13% para arroz não parboilizado e entre 228,82% - 268,03% para arroz parboilizado. A parboilização provocou redução desse índice. Essa diminuição pode estar relacionada com a gelatinização do amido, na parboilização, já que essa desorganização irreversível das moléculas de amido promove a

soldagem de pequenas fissuras e também reduz a presença de espaços vazios no endosperma. Meresa *et al.* (2020), estudando diferentes variedades de arroz parboilizados em condições variáveis, observaram uma faixa de índice de absorção de água entre 312% - 508%, enquanto que para arroz não parboilizado os autores obtiveram resultados entre 311% - 445%.

O maior valor de coeficiente de expansão de volume para o arroz não parboilizado foi de 466,67% para o tratamento 2 (Zn Solo cultivar BRS A501 CL), já o menor valor pertence ao tratamento 4 (Controle linhagem CMG F6 LAM 20-2). A parboilização promoveu redução do coeficiente de expansão de volume para alguns tratamentos, sendo a maior diminuição, de aproximadamente 33%, para o tratamento 5 (Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2). Isso pode ser justificado pelo fato dos grãos de arroz passarem por uma expansão durante os processos de maceração e de gelatinização e, como explicado anteriormente, a parboilização diminui a absorção de água do arroz durante o cozimento, o que, conseqüentemente, afeta seu volume.

Biswas *et al.* (2018) observaram uma expansão de volume entre 293% e 443% para arroz biofortificado com Zn, enquanto que as mesmas variedades não biofortificadas apresentaram faixa de valores entre 306% e 433%.

Em relação à perda de sólidos solúveis, a parboilização provocou diminuição média de aproximadamente 31%. Um alto teor de perda de sólidos pode ser relacionado com textura pegajosa e/ou grudenta do arroz (MIR *et al.*, 2015). A parboilização é capaz de tornar o endosperma do grão mais compacto (BALBINOTI *et al.*, 2018), o que dificulta a lixiviação de substâncias para água de cozimento. Além disso, a soldagem de orifícios e fissuras no endosperma do grão também previne a lixiviação de sólidos do endosperma para a água.

Ojediram *et al.* (2019) apresentaram valores de perda de sólidos entre 5,87% e 6,23% para variedades de arroz colorido parboilizado. Lii, Mauromoustakos e Wang (2018) apresentaram valores entre 6,7% e 9,1% para arroz envelhecido por seis meses parboilizado e de 9,2% a 10,2% para arroz não parboilizado. Os valores apresentados nos dois trabalhos estão próximos dos resultados do presente trabalho.

### **3.4 Cinzas**

Os valores de cinzas obtidos para a cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 biofortificadas não parboilizadas e biofortificadas parboilizadas estão representados na Tabela 9.



Tabela 9 – Valores médios  $\pm$  desvios-padrão\* do teor de cinzas (%) da cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 biofortificadas não parboilizadas e biofortificadas parboilizadas.

| Tratamentos** | Cinzas (%)                    |                               |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|
|               | Não parboilizado              | Parboilizado                  |
| 1             | 0,62 $\pm$ 0,01 <sup>bB</sup> | 0,70 $\pm$ 0,03 <sup>dA</sup> |
| 2             | 0,61 $\pm$ 0,01 <sup>bB</sup> | 0,74 $\pm$ 0,00 <sup>dA</sup> |
| 3             | 0,72 $\pm$ 0,02 <sup>aA</sup> | 0,71 $\pm$ 0,00 <sup>dA</sup> |
| 4             | 0,63 $\pm$ 0,00 <sup>bB</sup> | 0,86 $\pm$ 0,05 <sup>bA</sup> |
| 5             | 0,59 $\pm$ 0,00 <sup>bB</sup> | 0,84 $\pm$ 0,04 <sup>cA</sup> |
| 6             | 0,65 $\pm$ 0,01 <sup>bB</sup> | 0,74 $\pm$ 0,04 <sup>dA</sup> |
| 7             | 0,75 $\pm$ 0,07 <sup>aB</sup> | 0,81 $\pm$ 0,07 <sup>cA</sup> |
| 8             | 0,53 $\pm$ 0,00 <sup>cB</sup> | 0,90 $\pm$ 0,01 <sup>bA</sup> |
| 9             | 0,74 $\pm$ 0,00 <sup>aB</sup> | 1,14 $\pm$ 0,06 <sup>aA</sup> |
| 10            | 0,74 $\pm$ 0,02 <sup>aB</sup> | 0,85 $\pm$ 0,01 <sup>cA</sup> |
| 11            | 0,55 $\pm$ 0,01 <sup>cB</sup> | 0,88 $\pm$ 0,02 <sup>bA</sup> |
| 12            | 0,73 $\pm$ 0,05 <sup>aA</sup> | 0,71 $\pm$ 0,01 <sup>dA</sup> |

\* Médias  $\pm$  desvio padrão de três repetições, seguidas de mesmas letras minúsculas na mesma coluna e de mesmas letras maiúsculas na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott - Knott a 5% ( $p \geq 0,05$ ).

\*\* **1:** Controle cultivar BRS A501 CL; **2:** Zn Solo cultivar BRS A501 CL; **3:** Zn Foliar cultivar BRS A501 CL; **4:** Controle linhagem CMG F6 LAM 20-2; **5:** Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2; **6:** Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2; **7:** Controle linhagem CMG ERF 85-6; **8:** Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6; **9:** Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6; **10:** Controle linhagem CMG ERF 85-15; **11:** Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15; **12:** Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15.

Fonte: Da autora (2021).

As amostras não parboilizadas apresentaram maiores valores de cinzas quando submetidas a biofortificação com Zn via foliar, com exceção da linhagem CMG F6 LAM 20-2. Em relação ao arroz submetido ao processo de parboilização, o maior valor de cinzas, 1,14%,

foi obtido para o tratamento 9. Além disso, a parboilização aumentou o teor de minerais para alguns tratamentos quando comparados com amostras não parboilizadas.

O maior teor de cinzas observado para a aplicação de Zn foliar quando comparado ao controle e aplicação via solo, pode ser relacionado à lixiviação do Zn no solo, em função de fatores ambientais, como chuvas, por exemplo.

Souza (2018) estudando arroz de terras altas biofortificados com minerais (Zn, Se, I e Fe) encontrou o teor de cinzas variando entre 0,20% e 0,70%. Bello *et al.* (2015) observaram aumento de Ca e P no arroz parboilizado em relação ao arroz que não foi submetido a esse processo. De acordo com Rocha-Villarreal, Serna-Saldívar e García-Lara (2018), esse aumento pode ser explicado pela migração dos minerais contidos na casca e no farelo para o interior do grão.

### **3.5 Teor de zinco**

Os teores de Zn obtidos para a casca, farelo+gérmen e endosperma do grão são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Teor de Zn na casca, no farelo+gérmen e no endosperma da cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 biofortificadas não parboilizadas e biofortificadas parboilizadas\* (Continua).

| Tratamentos | Teor de zinco na casca<br>(mg/kg) |                           | Teor de zinco no farelo+gérmen<br>(mg/kg) |                            | Teor de zinco no endosperma<br>(mg/kg) |                          |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------|---|----------------------------|--|--------------------------|
|             | NP                                | P                         | NP  | P                          | NP                                     | P                        |
| 1           | 40,58±1,57 <sup>dB</sup>          | 69,56±7,83 <sup>eA</sup>  | 145,60±6,60 <sup>dB</sup>                 | 426,70±1,20 <sup>bA</sup>  | 16,71±1,12 <sup>dB</sup>               | 19,55±0,79 <sup>cA</sup> |
| 2           | 38,50±1,09 <sup>dB</sup>          | 52,11±3,53 <sup>fA</sup>  | 183,50±0,10 <sup>cB</sup>                 | 455,25±16,35 <sup>aA</sup> | 16,48±0,74 <sup>dB</sup>               | 21,16±1,35 <sup>bA</sup> |
| 3           | 107,50±0,30 <sup>bA</sup>         | 101,29±4,71 <sup>cB</sup> | 180,15±7,15 <sup>cB</sup>                 | 448,35±9,65 <sup>aA</sup>  | 28,33±2,46 <sup>bA</sup>               | 27,74±2,84 <sup>aA</sup> |
| 4           | 59,44±0,73 <sup>cB</sup>          | 70,15±2,01 <sup>dA</sup>  | 226,85±1,85 <sup>bB</sup>                 | 359,30±4,40 <sup>cA</sup>  | 19,80±1,78 <sup>cB</sup>               | 25,10±2,32 <sup>Ca</sup> |
| 5           | 55,51±2,48 <sup>cB</sup>          | 66,46±0,97 <sup>eA</sup>  | 324,00±39,40 <sup>aA</sup>                | 332,70±2,30 <sup>dA</sup>  | 32,08±1,39 <sup>aA</sup>               | 21,62±0,48 <sup>bB</sup> |
| 6           | 131,60±0,60 <sup>dB</sup>         | 151,45±1,35 <sup>aA</sup> | 239,50±13,20 <sup>bB</sup>                | 317,75±31,65 <sup>dA</sup> | 19,87±0,79 <sup>cA</sup>               | 18,86±1,57 <sup>cA</sup> |
| 7           | 38,93±1,28 <sup>dB</sup>          | 55,15±2,44 <sup>fA</sup>  | 131,55±3,85 <sup>dB</sup>                 | 252,40±1,00 <sup>eA</sup>  | 26,31±1,80 <sup>bA</sup>               | 21,54±0,97 <sup>bB</sup> |
| 8           | 56,44±5,73 <sup>cA</sup>          | 55,51±1,51 <sup>fA</sup>  | 157,90±24,40 <sup>cB</sup>                | 271,75±10,15 <sup>eA</sup> | 33,66±1,74 <sup>aA</sup>               | 27,97±3,95 <sup>aB</sup> |
| 9           | 103,83±5,77 <sup>bB</sup>         | 127,75±2,95 <sup>bA</sup> | 222,45±6,45 <sup>bB</sup>                 | 306,95±11,65 <sup>dA</sup> | 33,62±1,07 <sup>aA</sup>               | 27,64±1,41 <sup>aB</sup> |

Tabela 10 - Teor de Zn na casca, no farelo+gérmen e no endosperma da cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 biofortificadas não parboilizadas e biofortificadas parboilizadas\* (Conclusão).

| Tratamentos | Teor de zinco na casca<br>(mg/kg) |                           | Teor de zinco no farelo+gérmen<br>(mg/kg) |                            | Teor de zinco no endosperma<br>(mg/kg) |                          |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------|---|----------------------------|--|--------------------------|
|             | NP                                | P                         | NP  | P                          | NP                                     | P                        |
| 10          | 35,97±3,21 <sup>dB</sup>          | 48,34±2,77 <sup>gA</sup>  | 134,60±6,30 <sup>dB</sup>                 | 307,75±10,55 <sup>dA</sup> | 28,42±1,26 <sup>bA</sup>               | 22,95±0,53 <sup>bB</sup> |
| 11          | 59,87±2,27 <sup>bA</sup>          | 64,03±0,57 <sup>eA</sup>  | 212,15±10,15 <sup>bB</sup>                | 318,60±1,20 <sup>dA</sup>  | 35,55±0,84 <sup>aA</sup>               | 26,39±1,01 <sup>bB</sup> |
| 12          | 130,80±1,40 <sup>aA</sup>         | 127,55±0,15 <sup>bB</sup> | 167,25±4,75 <sup>cB</sup>                 | 317,50±4,40 <sup>dA</sup>  | 32,14±2,36 <sup>aA</sup>               | 23,38±1,10 <sup>bB</sup> |

NP: não parboilizado; P: parboilizado

\* Médias ± desvio padrão de três repetições, seguidas de mesmas letras minúsculas na mesma coluna e de mesmas letras maiúsculas na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott - Knott a 5% (p<0,05) para cada atributo.

\*\* 1: Controle cultivar BRS A501 CL; 2: Zn Solo cultivar BRS A501 CL; 3: Zn Foliar cultivar BRS A501 CL; 4: Controle linhagem CMG F6 LAM 20-2; 5: Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2; 6: Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2; 7: Controle linhagem CMG ERF 85-6; 8: Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6; 9: Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6; 10: Controle linhagem CMG ERF 85-15; 11: Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15; 12: Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15.

Fonte: Da autora (2021).

Ocorreu grande variação no teor de Zn presente na casca do arroz, tanto no parboilizado quanto no não parboilizado, sendo que, de maneira geral, os grãos que passaram pelo tratamento hidrotérmico apresentaram valores mais altos que aqueles que não passaram.

Para o farelo, o teor de Zn variou de 131,55 mg/kg a 324,00 mg/kg para o arroz não parboilizado, enquanto que para as amostras de arroz parboilizado esse valor oscilou entre 252,40 mg/kg e 455,25 mg/kg. Outro fator importante a ser destacado é que a parboilização foi capaz de promover aumento significativo de Zn no farelo+gérmen.

Esse aumento no teor de Zn, tanto da casca quanto do farelo+gérmen, indica que mesmo após a parboilização a concentração de Zn manteve-se predominantemente nas camadas mais externas do grão.

Ghasal *et al.* (2018), avaliando variedades de arroz basmati (Pusa basmati 1401, Pusa basmati 1460, Pusa basmati 1509, Pusa Rice Hybrid 10, Pusa basmati 1121 e Pusa sugandha 5) submetidas à biofortificação agrônômica com Zn via solo (5 kg ha<sup>-1</sup> na forma de ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O), cultivadas entre 2013-2014 em Nova Dehlí (clima semiárido), solo francoargiloso (50,2% de areia, 23,2% de silte e 26,6% de argila) com pH 7,8, encontraram resultados entre 37,57 mg/kg e 77,42 mg/kg para a concentração de Zn na casca do arroz. Já em relação ao farelo, os autores obtiveram faixa de valores entre 31,46 mg/kg a 50,88 mg/kg. Estes valores são menores que os apresentados no presente trabalho, o que sugere que as cultivares estudadas possuem maior capacidade de retenção de Zn na casca e no farelo do que as cultivares estudadas por Ghasal *et al.* (2018).

Em relação ao teor de Zn no endosperma, para o arroz não parboilizado o teor de Zn variou entre 16,48 mg/kg e 35,55 mg/kg e os maiores valores foram observados onde ocorreram biofortificação via aplicação foliar.

No que diz respeito ao endosperma dos grãos parboilizados, a faixa de concentração de Zn observada foi de 18,86 mg/kg até 27,79 mg/kg. Além disso, é possível observar que a parboilização provocou diminuição no teor de Zn nos tratamentos 7 (Controle linhagem CMG ERF 85-6), 8 (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6), 9 (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6), 10 (Controle linhagem CMG ERF 85-15), 11 (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15) e 12 (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15).

Essa diminuição pode ser justificada através da umidade final da etapa de encharcamento, como já discutido no tópico de propriedades de cocção. As linhagens CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 apresentaram umidade final menor que 32% (APÊNDICE E). Essa restrição de água pode não ter promovido a total gelatinização do amido do arroz dos

tratamentos descritos acima e sabe-se ainda que a gelatinização do amido, dependente do calor e umidade, é a responsável pela fixação dos micronutrientes no endosperma.

Prom-u-thai *et al.* (2020), analisando o teor de Zn, em arroz integral de diferentes variedades cultivadas em cinco países, encontraram, para biofortificação foliar, média de 28,1 mg/kg, enquanto que para arroz integral não biofortificado, o teor médio de Zn foi de 21,4 mg/kg, o que comprovou a eficiência da biofortificação agrônômica de Zn via foliar.

No presente estudo, a média do teor de Zn para o arroz biofortificado (via foliar) e não parboilizado foi de 28,49 mg/kg, enquanto que para os grãos não biofortificados e não parboilizados a média obtida foi de 22,81 mg/kg, o que indica incremento de Zn de quase 20%.

Taleon *et al.* (2020) observaram para arroz polido biofortificado parboilizado concentração de Zn entre 11,5 mg/kg e 24,9 mg/kg, enquanto que para o arroz biofortificado polido não parboilizado a faixa encontrada foi de 12,1 mg/kg a 33,8 mg/kg.

Diante dos trabalhos citados, é possível observar que os teores de Zn obtidos neste estudo estão próximos dos reportados por outros pesquisadores.

O consumo *per capita* diário de arroz no mundo é de 147,67 g (FAO/AMIS, 2020) e, de acordo com o Institute of Medicine Panel of Micronutrients (2001), a ingestão diária recomendada de Zn para grávidas é de 11 mg e para crianças de um a três anos é de 3 mg. Com base nesses dados e no teor de Zn no endosperma, a Tabela 11 traz a percentagem da RDA suprida pelo consumo dos arrozes analisados neste estudo.

Tabela 11 - Percentagem suprida da RDA de zinco para grávidas e crianças de um a três anos baseada no consumo dos arrozos biofortificados com Zn não parboilizados e parboilizados, da cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15.

| Tratamentos | Grávidas                                       |              | Crianças de um a três anos |              |
|-------------|--|--------------|----------------------------|--------------|
|             | % da RDA de Zn suprida pelos arrozos estudados |              |                            |              |
|             | Não parboilizado                               | Parboilizado | Não parboilizado           | Parboilizado |
| 1           | 22,43  | 26,27        | 82,3                       | 96,33        |
| 2           | 22,09  | 28,36        | 81,00                      | 104,00       |
| 3           | 38,00  | 37,27        | 139,33                     | 136,67       |
| 4           | 26,55  | 33,73        | 97,33                      | 123,67       |
| 5           | 43,00  | 29,00        | 157,66                     | 106,33       |
| 6           | 26,64  | 25,27        | 97,67                      | 92,67        |
| 7           | 35,27  | 28,91        | 129,33                     | 106,00       |
| 8           | 45,18  | 37,27        | 165,67                     | 136,67       |
| 9           | 45,09  | 37,09        | 165,33                     | 136,00       |
| 10          | 38,18  | 30,82        | 140,00                     | 113,00       |
| 11          | 47,73  | 35,45        | 175,00                     | 130,00       |
| 12          | 43,18  | 31,36        | 158,33                     | 115,00       |

\*\* **1:** Controle cultivar BRS A501 CL; **2:** Zn Solo cultivar BRS A501 CL; **3:** Zn Foliar cultivar BRS A501 CL; **4:** Controle linhagem CMG F6 LAM 20-2; **5:** Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2; **6:** Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2; **7:** Controle linhagem CMG ERF 85-6; **8:** Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6; **9:** Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6; **10:** Controle linhagem CMG ERF 85-15; **11:** Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15; **12:** Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15.

Fonte: Da autora (2021).

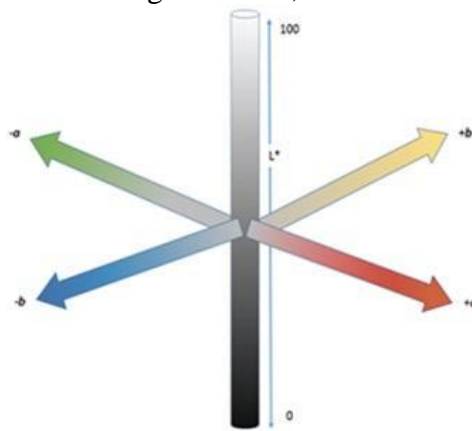
Para mulheres grávidas, as cultivares estudadas podem suprir de 22,09% até 47,73% das necessidades diárias de Zn, enquanto que para crianças entre um e três anos de idade esses

valores variam de 81% a 175%, comprovando que a biofortificação de arroz com Zn pode auxiliar no combate à fome oculta.

### 3.6 Atributos de cor

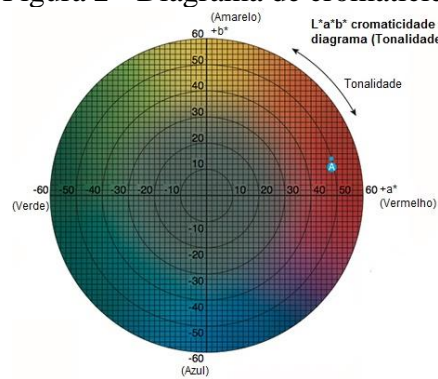
Os valores de  $L^*$ ,  $a$ ,  $b$ , Chroma e  $^\circ$ Hue são apresentados na Tabela 12, e as Figuras 1 e 2 exemplificam a localização dos atributos  $L^*$ ,  $a$ ,  $b$ , Chroma e  $^\circ$ Hue.

Figura 1 -  $L^*$ ,  $a$  e  $b$ .



Fonte: Ferreira e Spricigo (2017).

Figura 2 - Diagrama de cromaticidade  $a$  e  $b$ .



Fonte: Adaptado Konica Minolta (2021).



Tabela 12 - Parâmetros L\*, a, b, Chroma e °Hue da cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 biofortificadas com Zn não parboilizadas e biofortificadas com Zn parboilizadas (Continua).

| Tratamentos** | L*                           |                              | a                           |                             | b                            |                              | Chroma                       |                              | °Hue                         |                              |
|---------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|               | NP                           | P                            | NP                          | P                           | NP                           | P                            | NP                           | P                            | NP                           | P                            |
| 1             | 70,97±<br>0,12 <sup>bA</sup> | 64,04±<br>1,97 <sup>cB</sup> | 1,85±<br>0,13 <sup>aB</sup> | 3,21±<br>0,66 <sup>aA</sup> | 18,30±<br>0,19 <sup>aB</sup> | 23,43±<br>0,34 <sup>aA</sup> | 18,39±<br>0,20 <sup>aB</sup> | 23,66±<br>0,41 <sup>aA</sup> | 84,18±<br>0,41 <sup>dA</sup> | 82,22±<br>1,50 <sup>cB</sup> |
| 2             | 71,72±<br>0,49 <sup>bA</sup> | 64,94±<br>1,15 <sup>cB</sup> | 1,71±<br>0,19 <sup>aB</sup> | 2,96±<br>0,26 <sup>bA</sup> | 18,50±<br>0,24 <sup>aB</sup> | 22,89±<br>0,18 <sup>bA</sup> | 18,58±<br>0,26 <sup>aB</sup> | 23,08±<br>0,19 <sup>bA</sup> | 84,74±<br>0,52 <sup>dA</sup> | 82,63±<br>0,64 <sup>cB</sup> |
| 3             | 70,82±<br>0,23 <sup>bA</sup> | 65,16±<br>1,74 <sup>cB</sup> | 1,99±<br>0,12 <sup>aB</sup> | 3,12±<br>0,88 <sup>aA</sup> | 18,54±<br>0,33 <sup>aB</sup> | 22,67±<br>0,59 <sup>bA</sup> | 18,64±<br>0,34 <sup>aB</sup> | 22,89±<br>0,71 <sup>bA</sup> | 83,88±<br>0,28 <sup>dA</sup> | 82,21±<br>1,98 <sup>cB</sup> |
| 4             | 74,68±<br>0,92 <sup>aA</sup> | 64,42±<br>0,62 <sup>cB</sup> | 0,14±<br>0,26 <sup>cB</sup> | 3,33±<br>0,29 <sup>aA</sup> | 17,07±<br>0,41 <sup>cB</sup> | 23,77±<br>0,56 <sup>aA</sup> | 17,07±<br>0,41 <sup>cB</sup> | 24,01±<br>0,55 <sup>aA</sup> | 89,57±<br>0,86 <sup>aA</sup> | 82,03±<br>0,70 <sup>cB</sup> |
| 5             | 69,90±<br>0,32 <sup>cA</sup> | 65,44±<br>1,53 <sup>cB</sup> | 0,82±<br>0,16 <sup>bB</sup> | 2,36±<br>0,64 <sup>cA</sup> | 17,80±<br>0,33 <sup>bB</sup> | 22,52±<br>0,76 <sup>bA</sup> | 17,82±<br>0,33 <sup>bB</sup> | 22,65±<br>0,82 <sup>bA</sup> | 87,38±<br>0,45 <sup>cA</sup> | 84,07±<br>1,46 <sup>cB</sup> |
| 6             | 70,59±<br>0,93 <sup>bA</sup> | 65,58±<br>1,69 <sup>cB</sup> | 0,58±<br>0,32 <sup>bB</sup> | 2,92±<br>0,80 <sup>bA</sup> | 17,54±<br>0,38 <sup>bB</sup> | 22,82±<br>0,74 <sup>bA</sup> | 17,55±<br>0,39 <sup>bB</sup> | 23,01±<br>0,84 <sup>bA</sup> | 88,13±<br>1,02 <sup>cA</sup> | 82,77±<br>1,74 <sup>cB</sup> |
| 7             | 68,43±<br>1,13 <sup>dA</sup> | 64,92±<br>0,74 <sup>cB</sup> | 0,82±<br>0,41 <sup>bB</sup> | 2,50±<br>0,13 <sup>cA</sup> | 17,94±<br>0,57 <sup>bB</sup> | 23,43±<br>0,54 <sup>aA</sup> | 17,96±<br>0,58 <sup>bB</sup> | 23,57±<br>0,54 <sup>aA</sup> | 87,41±<br>1,24 <sup>cA</sup> | 83,91±<br>0,35 <sup>bB</sup> |
| 8             | 68,91±<br>0,05 <sup>dA</sup> | 65,98±<br>1,24 <sup>bB</sup> | 0,61±<br>0,16 <sup>bB</sup> | 2,70±<br>0,55 <sup>bA</sup> | 17,96±<br>0,22 <sup>bB</sup> | 23,19±<br>0,26 <sup>aA</sup> | 17,97±<br>0,22 <sup>bB</sup> | 23,36±<br>0,31 <sup>aA</sup> | 88,07±<br>0,47 <sup>cA</sup> | 83,38±<br>1,29 <sup>cB</sup> |

Tabela 11 - Parâmetros L\*, a, b, Chroma e °Hue da cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 biofortificadas com Zn não parboilizadas e biofortificadas com Zn parboilizadas (Conclusão).

| Tratamentos** | L*                           |                              | a                           |                             | b                            |                              | Chroma                       |                              | °Hue                         |                              |
|---------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|               | NP                           | P                            | NP                          | P                           | NP                           | P                            | NP                           | P                            | NP                           | P                            |
| 9             | 70,76±<br>0,41 <sup>bA</sup> | 66,56±<br>1,41 <sup>bB</sup> | 0,81±<br>0,09 <sup>bB</sup> | 2,07±<br>0,86 <sup>cA</sup> | 18,01±<br>0,26 <sup>bB</sup> | 23,13±<br>0,66 <sup>aA</sup> | 18,25±<br>0,70 <sup>aB</sup> | 23,26±<br>0,69 <sup>bA</sup> | 87,43±<br>0,27 <sup>cA</sup> | 84,09±<br>1,20 <sup>bB</sup> |
| 10            | 70,99±<br>1,04 <sup>bA</sup> | 64,70±<br>0,20 <sup>cB</sup> | 0,29±<br>0,22 <sup>cB</sup> | 2,34±<br>0,37 <sup>cA</sup> | 17,80±<br>0,31 <sup>bB</sup> | 23,44±<br>0,32 <sup>aA</sup> | 17,80±<br>0,31 <sup>bB</sup> | 23,56±<br>0,34 <sup>aA</sup> | 87,73±<br>1,15 <sup>bA</sup> | 84,30±<br>0,83 <sup>bB</sup> |
| 11            | 70,32±<br>0,46 <sup>bA</sup> | 65,49±<br>1,64 <sup>cB</sup> | 0,47±<br>0,19 <sup>cB</sup> | 2,01±<br>0,35 <sup>dA</sup> | 17,85±<br>0,27 <sup>bB</sup> | 22,89±<br>0,24 <sup>bA</sup> | 17,86±<br>0,28 <sup>bB</sup> | 22,98±<br>0,24 <sup>bA</sup> | 88,53±<br>0,61 <sup>bA</sup> | 84,97±<br>0,87 <sup>bB</sup> |
| 12            | 71,37±<br>0,82 <sup>bA</sup> | 67,48±<br>1,69 <sup>aB</sup> | 0,18±<br>0,28 <sup>cB</sup> | 1,37±<br>0,39 <sup>dA</sup> | 17,83±<br>0,56 <sup>bB</sup> | 22,95±<br>0,23 <sup>bA</sup> | 17,83±<br>0,57 <sup>bB</sup> | 22,99±<br>0,23 <sup>bA</sup> | 89,45±<br>0,89 <sup>aA</sup> | 86,57±<br>0,99 <sup>aB</sup> |

NP: não parboilizado; P: parboilizado

\* Médias ± desvio padrão de três repetições e de três replicatas cada, seguidas de mesmas letras minúsculas na mesma coluna e de mesmas letras maiúsculas na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott - Knott a 5% (p<0,05) para cada atributo.

\*\* **1:** Controle cultivar BRS A501 CL; **2:** Zn Solo cultivar BRS A501 CL; **3:** Zn Foliar cultivar BRS A501 CL; **4:** Controle linhagem CMG F6 LAM 20-2; **5:** Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2; **6:** Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2; **7:** Controle linhagem CMG ERF 85-6; **8:** Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6; **9:** Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6; **10:** Controle linhagem CMG ERF 85-15; **11:** Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15; **12:** Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15.

Fonte: Da autora (2021).

O valor do parâmetro  $L^*$  é relacionado à claridade do arroz. Os menores valores de  $L^*$  para o arroz não parboilizado foram obtidos para os tratamentos 7 (Controle linhagem CMG ERF 85-6) e 8 (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6), sendo que o tratamento 7 apresentou alto teor de cinzas, o que corrobora com a ideia de que o aumento no conteúdo de minerais pode escurecer as amostras provocando diminuição no valor de  $L^*$ . Todas as amostras parboilizadas apresentaram  $L^*$  menor que as amostras não parboilizadas.

Para o arroz não parboilizado a faixa de valores encontrada para o atributo  $a$  foi de 0,14 a 1,99. Já para os grãos parboilizados o valor de  $a$  variou entre 1,37 a 3,33, o que sugere que os grãos se tornaram mais avermelhados com o processo de parboilização. De acordo com Messia *et al.* (2012), o aumento observado pode ser devido à migração de pigmentos da casca para o endosperma, além disso, também por ocorrer as reações de escurecimento de Maillard e a caramelização (ROCHA-VILLARREAL; SERNA-SALDÍVAR; GARCÍA-LARA, 2018).

O valor de  $b$  aumentou com a realização da parboilização, o que indica que o arroz adquiriu uma tonalidade amarelada. De acordo com Balbinoti *et al.* (2018), a principal causa dessa mudança de cor é a ocorrência da reação de Maillard.

O valor de Chroma representa a saturação da cor do arroz. O cereal que não foi parboilizado apresentou valores de 17,07 a 18,64, enquanto que para os que passaram pela parboilização essa faixa compreende valores entre 22,65 a 24,01.

Os valores de  $^{\circ}$ Hue para o arroz não parboilizado variaram entre 83,88 a 89,57. Para os tratamentos 1 (Controle cultivar BRS A501 CL), 2 (Zn Solo cultivar BRS A501 CL) e 3 (Zn Foliar cultivar BRS A501 CL) não foi observada diferença significativa ao nível de 5% para o teste de Scott- Knott, o que sugere que a biofortificação não alterou o valor de  $^{\circ}$ Hue da cultivar e conseqüentemente não há diferença significativa na tonalidade nas amostras da cultivar BRS A501 CL. Essa observação também pode ser feita para a linhagem CMG ERF 85-6, em função dos tratamentos 7 (Controle linhagem CMG ERF 85-6), 8 (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6) e 9 (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6) também não terem apresentado diferença significativa entre si.

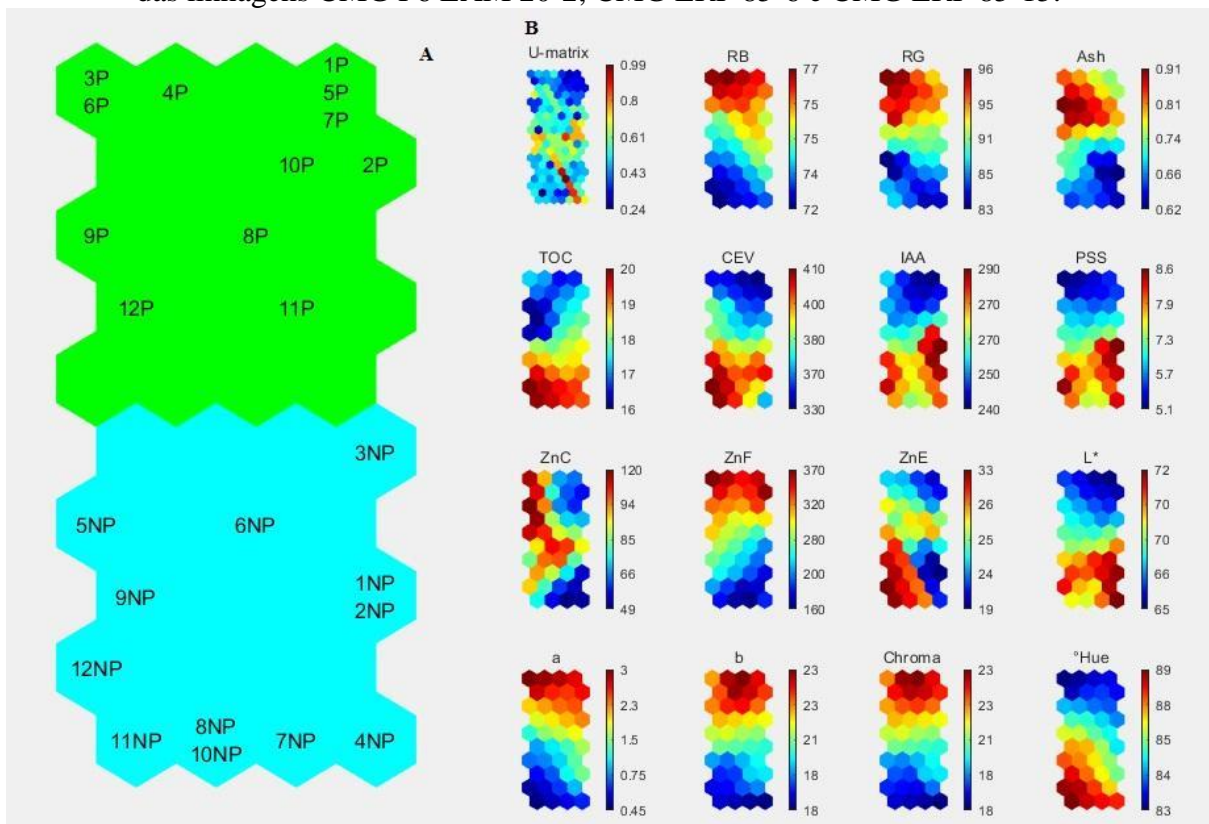
Para o arroz parboilizado, os resultados obtidos situaram-se entre 82,03 e 86,57. Para os grãos parboilizados os tratamentos 1 (Controle cultivar BRS A501 CL), 2 (Zn Solo cultivar BRS A501 CL), 3 (Zn Foliar cultivar BRS A501 CL), 4 (Controle linhagem CMG F6 LAM 20-2), 5 (Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2) e 6 (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2) não apresentaram diferença significativa entre si. Uma vez que todos os resultados obtidos estão próximos de  $90^{\circ}$  é possível observar que todas as amostras apresentaram tonalidade amarelada.

Wahengbam, Green e Hazarika (2019), estudando arroz polido fortificado com Zn durante a parboilização, encontraram as seguintes variações para os parâmetros  $L^* = 69,17 - 72,91$ ;  $a = 2,85 - 3,14$ ;  $b = 17,54 - 18,49$  e  $\text{Chroma} = 17,81 - 19,16$ . Já para arroz não parboilizado e sem adição de Zn, os autores reportaram as seguintes variações:  $L^* = 78,26 - 79,11$ ;  $b = 16,35 - 18,16$  e  $\text{Chroma} = 16,39 - 18,23$ .

### 3.7 Rede neural do tipo KSOM

Para analisar as amostras e suas similaridades e diferenças foi utilizada a rede neural tipo KSOM. Com base na rede neural geral (FIGURA 3A), é possível observar a formação de 2 grupos. O primeiro grupo, localizado na parte superior da figura, é composto pelas amostras de arroz que passaram por parboilização, sendo elas: **1P** (controle cultivar BRS A501 CL parboilizada), **2P** (Zn Solo cultivar BRS A501 CL parboilizada), **3P** (Zn Foliar cultivar BRS A501 CL parboilizada), **4P** (controle linhagem CMG F6 LAM 20-2 parboilizada), **5P** (Zn solo linhagem CMG F6 LAM 20-2 parboilizada), **6P** (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2 Zn parboilizada), **7P** (controle linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada), **8P** (Zn solo linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada), **9P** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada), **10P** (controle linhagem CMG ERF 85-15 parboilizada), **11P** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15 parboilizada) e **12P** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15 Zn parboilizada), enquanto que o segundo grupo é formado por: **1NP** (controle cultivar BRS A501 CL não parboilizada), **2NP** (Zn Solo cultivar BRS A501 CL não parboilizada), **3NP** (Zn foliar cultivar BRS A501 CL não parboilizada), **4NP** (controle linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada), **5NP** (Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada), **6NP** (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada), **7NP** (controle linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada), **8NP** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada), **9NP** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada), **10NP** (controle linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada), **11NP** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada) e **12NP** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada), provando que o processo de parboilização provocou diferença entre as amostras.

Figura 3 - Rede neural geral, matrix – U e mapas de análise de componentes das amostras de arroz biofortificados parboilizados e não parboilizados da cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15.



Legenda: **1P** (controle cultivar BRS A501 CL parboilizada); **2P** (Zn Solo cultivar BRS A501 CL parboilizada); **3P** (Zn Foliar cultivar BRS A501 CL parboilizada); **4P** (controle linhagem CMG F6 LAM 20-2 parboilizada); **5P** (Zn solo linhagem CMG F6 LAM 20-2 parboilizada); **6P** (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2 Zn parboilizada); **7P** (controle linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada); **8P** (Zn solo linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada); **9P** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada); **10P** (controle linhagem CMG ERF 85-15 parboilizada); **11P** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15 parboilizada); **12P** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15 Zn parboilizada); **1NP** (controle cultivar BRS A501 CL não parboilizada); **2NP** (Zn Solo cultivar BRS A501 CL não parboilizada); **3NP** (Zn foliar cultivar BRS A501 CL não parboilizada); **4NP** (controle linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada); **5NP** (Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada); **6NP** (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada); **7NP** (controle linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada); **8NP** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada); **9NP** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada); **10NP** (controle linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada); **11NP** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada); **12NP** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada); **RB**: renda do benefício; **RG**: rendimento do grão; **Ash**: teor de cinzas; **TOC**: tempo ótimo de cozimento; **CEV**: coeficiente de expansão de volume; **IAA**: índice de absorção de água; **PSS**: perda de sólidos solúveis; **ZnC**: teor de Zn na casca; **ZnF**: teor de Zn no farelo+gérmen; **ZnE**: teor de Zn no endosperma; **L\***; **a**, **b**; **Chroma**; **°Hue**.

Fonte: Da autora (2021).

Na Figura 3B também é mostrada a matriz-U e os mapas de componentes. A matriz-U representa a junção de todas as análises e a escala à direita está relacionada à distância entre os neurônios. Como pode ser observado na matriz-U, a região mais clara ao meio sugere a formação de 2 grupos, o que corrobora com a observação da rede geral. Além disso, a presença

de regiões de coloração azul mais intensa no canto superior direito da matriz U indica que as amostras que fazem parte dessa região apresentam uma grande similaridade entre si, cujas amostras em questão são: 1P (controle cultivar BRS A501 CL parboilizada), 2P (Zn Solo cultivar BRS A501 CL parboilizada), 4P (controle linhagem CMG F6 LAM 20-2 parboilizada), 5P (Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2 parboilizada), 7P (controle linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada), 8P (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada) e 10 P (controle linhagem CMG ERF 85-15 parboilizada).

Na parte inferior da matriz-U nota-se a presença de uma diagonal em cores mais avermelhadas, que também sugere a formação de dois subgrupos. O primeiro é formado pelas amostras 4NP (controle linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada), 5NP (Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada), 6NP (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada), 7NP (controle linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada), 8NP (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada), 9NP (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada), 10NP (controle linhagem CMG ERF 85-15 parboilizada), 11NP (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada) e 12NP (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15 Zn não parboilizada). Já o segundo grupo compreende as amostras 1NP (controle cultivar BRS A501 CL não parboilizada), 2NP (Zn Solo cultivar BRS A501 CL não parboilizada) e 3NP (Zn Foliar cultivar BRS A501 CL não parboilizada).

Os mapas de componentes, que são as redes neurais específicas para cada análise realizada, são: renda do benefício (RB), rendimento do grão (RG), teor de cinzas (ash), tempo ótimo de cozimento (TOC); coeficiente de expansão de volume (CEV); índice de absorção de água (IAA); perda de sólidos solúveis (PSS); teor de Zn na casca (ZnC); teor de Zn no farelo+gérmen (ZnF); teor de Zn no endosperma (ZnE); L\*; a; b; Chroma; e °Hue. Estes mapas também apresentam uma escala no lado direito a qual mostra a variação dos resultados obtidos durante as análises. Ao analisar os mapas de componente percebe-se que as análises de renda do benefício (RB), rendimento do grão (RG), teor de cinzas, teor de Zn no farelo (ZnF), a, b e Chroma contribuíram para a separação das amostras **1P** (controle cultivar BRS A501 CL parboilizada); **2P** (Zn Solo cultivar BRS A501 CL parboilizada); **3P** (Zn Foliar cultivar BRS A501 CL parboilizada); **4P** (controle linhagem CMG F6 LAM 20-2 parboilizada); **5P** (Zn solo linhagem CMG F6 LAM 20-2 parboilizada); **6P** (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2 Zn parboilizada); **7P** (controle linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada); **8P** (Zn solo linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada); **9P** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada); **10P** (controle linhagem CMG ERF 85-15 parboilizada); **11P** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15

parboilizada); e **12P** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15 Zn parboilizada), uma vez que essas amostras apresentaram os maiores resultados para essas análises.

Já para o tempo ótimo de cozimento (TOC), coeficiente de expansão de volume (CEV), índice de absorção de água (IAA), perda de sólidos solúveis (PSS), L\* e °Hue contribuíram para a diferenciação das amostras **1NP** (controle cultivar BRS A501 CL não parboilizada); **2NP** (Zn Solo cultivar BRS A501 CL não parboilizada); **3NP** (Zn foliar cultivar BRS A501 CL não parboilizada); **4NP** (controle linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada); **5NP** (Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada); **6NP** (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada); **7NP** (controle linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada); **8NP** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada); **9NP** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada); **10NP** (controle linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada); **11NP** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada) e **12NP** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada).

O teor de Zn na casca (ZnC) e o teor de Zn no endosperma (ZnE) não contribuíram para a separação das amostras.

### 3.8 Análise de Componentes Principais (PCA)

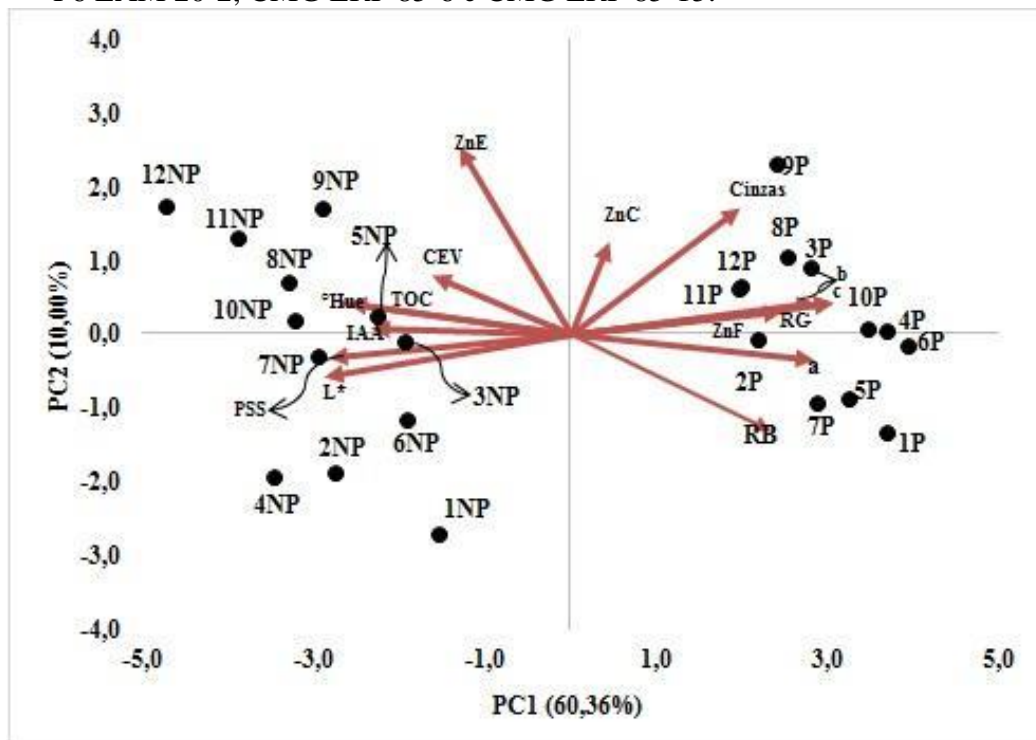
Foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA) para os dados de renda do benefício, rendimento do grão, teor de cinzas, tempo ótimo de cozimento, índice de absorção de água, perda de sólidos solúveis, coeficiente de expansão de volume, L\*, a, b, Chroma, teor de cinzas, teor de Zn na casca, teor de Zn no farelo+gérmen e teor de Zn no endosperma.

Como pode ser notado pela observação da Figura 4, o primeiro componente principal (PC1) explica 60,36% da variação dos dados e o segundo componente principal (PC2) explica 10,00% desta variação, o que totaliza 70,36% de explicação da variação dos dados. A figura ainda apresenta a formação de dois grupos. O primeiro é composto das amostras **1NP** (controle cultivar BRS A501 CL não parboilizada); **2NP** (Zn Solo cultivar BRS A501 CL não parboilizada); **3NP** (Zn foliar cultivar BRS A501 CL não parboilizada); **4NP** (controle linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada); **5NP** (Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada); **6NP** (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada); **7NP** (controle linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada); **8NP** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada); **9NP** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada); **10NP** (controle linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada); **11NP** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada) e **12NP** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada), que

apresentam os maiores valores de coeficiente de expansão de volume, (CEV), tempo ótimo de cozimento (TOC), índice de absorção de água, IAA, perda de sólidos solúveis (PSS), L\* e °Hue. O outro grupo compreende as amostras **1P** (controle cultivar BRS A501 CL parboilizada); **2P** (Zn Solo cultivar BRS A501 CL parboilizada); **3P** (Zn Foliar cultivar BRS A501 CL parboilizada); **4P** (controle linhagem CMG F6 LAM 20-2 parboilizada); **5P** (Zn solo linhagem CMG F6 LAM 20-2 parboilizada); **6P** (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2 Zn parboilizada); **7P** (controle linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada); **8P** (Zn solo linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada); **9P** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada); **10P** (controle linhagem CMG ERF 85-15 parboilizada); **11P** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15 parboilizada); **12P** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15 Zn parboilizada), que apresentaram os maiores resultados de rendimento do grão (RG), renda do benefício (RB), teor de cinzas, teor de Zn no farelo+gérmen(ZnF), a, b e Chroma.



Figura 4 - Análise de Componentes Principais (PCA) para amostras de arroz biofortificados parboilizados e não parboilizados da cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15.



Legenda: **1P** (controle cultivar BRS A501 CL parboilizada); **2P** (Zn Solo cultivar BRS A501 CL parboilizada); **3P** (Zn Foliar cultivar BRS A501 CL parboilizada); **4P** (controle linhagem CMG F6 LAM 20-2 parboilizada); **5P** (Zn solo linhagem CMG F6 LAM 20-2 parboilizada); **6P** (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2 Zn parboilizada); **7P** (controle linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada); **8P** (Zn solo linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada); **9P** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6 parboilizada); **10P** (controle linhagem CMG ERF 85-15 parboilizada); **11P** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15 parboilizada); **12P** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15 Zn parboilizada); **1NP** (controle cultivar BRS A501 CL não parboilizada); **2NP** (Zn Solo cultivar BRS A501 CL não parboilizada); **3NP** ( Zn foliar cultivar BRS A501 CL não parboilizada); **4NP** (controle linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada); **5NP** (Zn Solo linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada); **6NP** (Zn Foliar linhagem CMG F6 LAM 20-2 não parboilizada); **7NP** (controle linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada); **8NP** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada); **9NP** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-6 não parboilizada); **10NP** (controle linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada); **11NP** (Zn Solo linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada); **12NP** (Zn Foliar linhagem CMG ERF 85-15 não parboilizada); **RB**: renda do benefício; **RG**: rendimento do grão; teor de cinzas; **TOC**: tempo ótimo de cozimento; **CEV**: coeficiente de expansão de volume; **IAA**: índice de absorção de água; **PSS**: perda de sólidos solúveis, **ZnC**: teor de Zn na casca; **ZnF**: teor de Zn no farelo+gérmen; **ZnE**: teor de Zn no endosperma; **L\***; **a**, **b**; **Chroma**; **°Hue**.

Fonte: Da autora (2021).

Observando a Tabela 13, é possível verificar que apenas o teor de zinco no endosperma, o teor de zinco na casca e o coeficiente de expansão de volume não contribuíram para a distinção das amostras em PC1. Em relação a PC2, apenas o teor de zinco no endosperma corroborou para a separação das amostras.

Tabela 13 - *Loadings* das variáveis, variância e variância acumulada para amostras de arroz biofortificados parboilizados e não parboilizados da cultivar BRS A501 CL e das linhagens CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15.

| Variáveis*                         | <i>Loadings</i> |        |        |
|------------------------------------|-----------------|--------|--------|
|                                    | PC1             | PC2    | PC3    |
| Renda do benefício                 | 0,745           | -0,411 | 0,303  |
| Rendimento do grão                 | 0,895           | 0,140  | 0,085  |
| Teor de cinzas                     | 0,624           | 0,543  | 0,051  |
| Tempo ótimo de cozimento           | -0,823          | 0,140  | -0,088 |
| Índice de absorção de água         | -0,738          | 0,026  | 0,443  |
| Perda de sólidos solúveis          | -0,896          | -0,095 | 0,261  |
| Teor de Zn no farelo+gérmen        | 0,779           | 0,104  | 0,110  |
| L*                                 | -0,911          | -0,173 | 0,174  |
| a                                  | 0,896           | -0,106 | 0,135  |
| b                                  | 0,969           | 0,140  | -0,031 |
| Chroma                             | 0,971           | 0,140  | -0,026 |
| °Hue                               | -0,842          | 0,141  | -0,193 |
| Teor de Zn no endosperma           | -0,409          | 0,807  | -0,235 |
| Teor de Zn na casca                | 0,142           | 0,400  | 0,685  |
| Coefficiente de expansão de volume | -0,515          | 0,254  | 0,374  |
| Variância (%)                      | 60,36           | 10,00  | 7,59   |
| Variância Acumulada (%)            | 60,36           | 70,36  | 77,94  |

Fonte: Da autora (2021).

#### 4 CONCLUSÃO

Nas condições experimentais, os teores de Zn observados para o endosperma do grão de arroz biofortificados agronomicamente são capazes de suprir até 47,73% da ingestão diária recomendada para grávidas e até 175% do que é recomendado para crianças de um a três anos.

A parboilização, nas condições do experimento, promove aumento da renda do benefício, do rendimento do grão, dos valores de b e Chroma e diminuição dos valores obtidos para os testes de cocção (índice de absorção de água, coeficiente de expansão de volume e teor de sólidos solúveis) e para o valor de L\*.

De acordo com os resultados obtidos para as condições aplicadas neste estudo, sugere-se que as linhagens CMG ERF 85-6 e CMG ERF 85-15 talvez não sejam indicadas para o processo de parboilização por abrirem a casca durante a etapa de encharcamento. Entretanto, é importante salientar que essas linhagens apresentam alto teor de Zn no endosperma quando não parboilizadas. Estudos mais aprofundados envolvendo diferentes tempos e temperaturas de encharcamento devem ser conduzidos de forma a verificar a condição de abertura da casca observada neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, U. *et al.* Influence of milling intensity and storage temperature on the quality of Catahoula rice (*Oryza sativa* L.). **LWT - Food Science and Technology**, [Amsterdam], v. 75, p. 386-392, 2017. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/globalhealth/abstract/20163389897>. Acesso em: 11 fev. 2021.
- AMATO, G. W.; CARVALHO, J. L. V.; SILVEIRA FILHO, S. **Arroz parboilizado: tecnologia limpa, produto nobre**. Porto Alegre: Ricardo Lenz, 2002. 240 p.
- AMATO, G. W. **Grãos não-gelatinizados – GNG em arroz parboilizado: avaliação de método**. Porto Alegre: CIENTEC, 1988. 49 p. (Boletim Técnico, 15).
- AOAC - Association of Official Agricultural Chemists. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists**. 20th ed. Rockville: AOAC, 2016.
- BALBINOTI, T. C. V. *et al.* Parboiling rice and parboiling process. **Food Engineering Reviews**, [New York], v. 10, p. 165–185, May 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12393-018-9177-y>. Acesso em: 01 fev. 2021.
- BELLO, M. O. *et al.* Hydrothermal treatment of rough rice: effect of processing conditions on product attributes. **Journal of Food Science and Technology**, [New Delhi], v. 52, n. 8, p. 5156-5163, Aug. 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4519442/>. Acesso em: 16 fev. 2021.
- BISWAS, J. C. *et al.* Zinc fortification: effect of polishing on parboiled and unparboiled rice. **Current Plant Biology**, [Netherlands], v. 16, n. 4, p. 22-26, Nov. 2018. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900433868>. Acesso em: 06 fev. 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 6, de 29 de fevereiro de 2009**. Regulamento Técnico do Arroz. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPort alMapa&chave=1687046295>. Acesso em: 01 ago. 2019.
- BUGGENHOUT, J. *et al.* The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: a review. **Journal of Food Engineering**, [Oxford], v. 117, n. 3, p. 304-315, Aug. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877413001222>. Acesso em: 03 fev. 2021.
- CHAKKARAVARTHI, A. *et al.* Kinetics of cooking unsoaked and presoaked rice. **Journal of Food Engineering**, [Oxford], v. 84, n. 2, p. 181-186, Jan. 2008. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300813822>. Acesso em: 12 mar. 2021.
- CIACCO, C. F.; CHANG, Y. K. **Como fazer massas**. Campinas: UNICAMP, 1986. 127 p. (Coleção Ciência e Tecnologia ao Alcance de Todos - Série Tecnologia de Alimentos).

DONNELLY, B. J. Pasta products: raw material, technology, evaluation. **Macaroni Journal**, v. 61, n. 1, p. 6-18, 1979.

ELIAS, M. C. **Tempo de espera para secagem e qualidade de arroz para semente e indústria**. 1998. 132 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1998.

FAO/AMIS. **Agricultural Management Information Systems Statistics**. 2020. Disponível em: <http://statistics.amis-outlook.org/data/index.html#COMPARE>. Acesso em: 19 fev. 2021.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. FAOSTAT. **Crops**. 2021a. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 23 fev. 2021.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. FAOSTAT. **Crops**. 2021b. Disponível em: [fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize](http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize). Acesso em: 25 fev. 2021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiplex comparison. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, Mar./Apr. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yyWQQVwqNcH6kzf9qT9Jdhv/?lang=en>. Acesso em: 28 abr. 2021.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. *In*: FERREIRA, M. D. (ed.). **Instrumentação pós colheita em frutas e hortaliças**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. p. 209-220.

GHARIBZAHEDI, S. M. T.; JAFARI, S. M. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. **Trends in Food Science & Technology**, [London], v. 62, p. 119-132, Apr. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224416306203>. Acesso em: 10 fev. 2021.

GHASAL, P. C. *et al.* Zinc partitioning in basmati rice varieties as influenced by Zn fertilization. **The Crop Journal**, [China], v. 6, n. 2, p. 136-147, Apr. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214514117300831>. Acesso em: 11 fev. 2021.

HEFFERON, K. Biotechnological approaches for generating zinc - enriched crops to combat malnutrition. **Nutrients**, [Basel], v. 11, n. 2, p. 253, Jan. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30678136/>. Acesso em: 05 fev. 2021.

HUMMEL, C. **Macaroni products, manufacture, processing and packing**. 2nd ed. London: Food Trade Press, 1966. 287 p.

INSTITUTE OF MEDICINE (US) PANEL ON MICRONUTRIENTS. **Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc**. Washington: National Academies Press, 2001. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222317/>. Acesso em: 19 fev. 2021.

KÔNICA MINOLTA. **Entendendo o espaço de cor L\* a\* b\***. 2021. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>. Acesso em: 28 jul. 2021.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, [Los Angeles], v. 25, n. 1, p. 1-18, Mar. 2008. Disponível em: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v025i01>. Acesso em: 27 abr. 2021.

LEVENSON, C. W.; MORRIS, D. Zinc and neurogenesis: making new neurons from development to adulthood. **Advances in Nutrition**, [Oxford], v. 2, n. 2, p. 96-100, Mar. 2011. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3065768/>. Acesso em: 06 fev. 2021.

LII, E.; MAUROMOUSTAKOS, A.; WANG, Y.-J. Effects of cultivar and aging on parboiled rice properties. **Cereal Chemistry**, [United States], v. 95, n. 5, p. 689–698, Sept./Oct. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cche.10082>. Acesso em: 24 mar. 2021.

MAJUMDER, S.; DATTA, K.; DATTA, S. K. Rice biofortification: high iron, zinc, and vitamin-A to fight against “Hidden Hunger”. **Agronomy**, [Basel], v. 9, n. 12, p. 803, Nov. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/12/803>. Acesso em: 03 fev. 2021.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

MARADINI FILHO, A. M. **Influência das condições de secagem e do uso de triticale na qualidade do macarrão**. 1983. 89 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Viçosa, Viçosa, 1983.

MARTINÉZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz: guía de estudio para ser usada como complemento de la unidade auditorial sobre el mismo tema**. 3. ed. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1989. 73 p.

MAYER, J. E.; PFEIFFER, W. H.; BEYER, P. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. **Current Opinion on Plant Biology**, [London], v. 11, n. 2, p. 166-170, Apr. 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18314378/>. Acesso em: 05 fev. 2021.

MERESA, A. *et al.* Effect of parboiling conditions on physical and cooking quality of selected rice varieties. **International Journal of Food Science**, [England], v. 2020, n. 8810553, Sept. 2020. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ijfs/2020/8810553/>. Acesso em: 02 mar. 2021.

MESSIA, M. C.; IAFELICE, G.; MARCONI, E. Effect of parboiling and chemical characteristics and non-enzymatic browning of emmer (*Triticum dicoccon* Shrank). **Journal of Cereal Science**, [London], v. 56, n. 2, p. 147-152, Sept. 2012. Disponível em: <https://dokumen.tips/documents/effect-of-parboiling-on-physical-and-chemical-characteristics-and-non-enzymatic.html>. Acesso em: 06 fev. 2021.

MIR, S. A. *et al.* Rice: parboiling and milling properties. **International Journal of Food Engineering**, [Berkeley], v. 11, n. 6, p. 777–787, Oct. 2015. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201600114741>. Acesso em: 21 fev. 2021.

OJEDIRAN, J. O. *et al.* Effect of polishing duration on physical, milling, cooking, and sensory properties of a novel mix-colored Nigerian parboiled rice. **Cereal Chemistry**, [United States], v. 97, n. 6, p. 1172–1182, Nov. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cche.10337>. Acesso em: 16 fev. 2021.

OLI, P. *et al.* Parboiled rice: understanding from a materials science approach. **Journal of Food Engineering**, [Oxford], v. 124, p. 173-183, Mar. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877413004718>. Acesso em: 14 fev. 2021.

PARAGINSKI, R. T. *et al.* Technological properties and cooking of rice grains conditioned at different temperatures before parboiling. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 146-153, Apr./June 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/WKKjBQ5NqLLsTkWv9j63GpJ/?lang=pt>. Acesso em: 16 abr. 2020.

PROM-U-THAI, C. *et al.* Simultaneous biofortification of rice with zinc, iodine, iron and selenium through foliar treatment of a micronutrient cocktail in five countries. **Frontiers in Plant Science**, [Lausanne], v. 11, n. 589835, Nov. 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.589835/full>. Acesso em: 06 fev. 2021.

R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2021.

ROCHA-VILLARREAL, V.; SERNA-SALDIVAR, S.O.; GARCÍA-LARA, S. Effects of parboiling and other hydrothermal treatments on the physical, functional, and nutritional properties of rice and other cereal. **Cereal Chemistry**, [United States], v. 95, n. 1, p. 79-91, Jan./Feb. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cche.10010>. Acesso em: 06 fev. 2021.

SHAHAD, Z.; ROUACHED, H.; RAKHA, A. Combating Mineral malnutrition through Iron and Zinc biofortification of cereals. **Comprehensive Reviews in Food Science Safety**, [Malden], v. 13, n. 3, p. 329-346, May 2014. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12063>. Acesso em: 24 fev. 2021.

SIVAKAMASUNDARI, S. K.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Effect of parboiling methods on the physicochemical characteristics and glycemic index of rice varieties. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [New York], v. 14, p. 3122–3137, July 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-020-00551-9>. Acesso em: 22 abr. 2021.

SOUZA, S. M. de. **Qualidade tecnológica de grãos de arroz biofortificados com minerais**. 2018. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

TALEON, V. *et al.* Retention of Zn, Fe e phytic acid in parboiled biofortified and non - biofortified rice. **Food Chemistry**: X, [Oxford], v. 8, Dec. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157520300298>. Acesso em: 06 fev. 2021.

VAN RUITTEN, H. T. L. Rice milling and overview. *In*: JULIANO, B. O (ed.) **Rice: chemistry and Technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985. p. 349-388.

VANTANEN, T. *et al.* Self -organization and missing values in SOM and GTM. **Neurocomputing**, [Amsterdam], v. 147, n. 1, p. 60-70, Jan. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925231214007127?via%3Dihub>. Acesso em: 26 abr. 2021.

WAHENGAM, E. D.; GREEN, B. D.; HAZARIKA, M. K. Fortification of zinc in a partboiled low-amylose rice: effects of milling and cooking. **Journal of the Science Food of the Food Agriculture**, [Chichester], v. 99, n. 7, p. 3434-3442, May 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30609045/>. Acesso em: 16 fev. 2021.

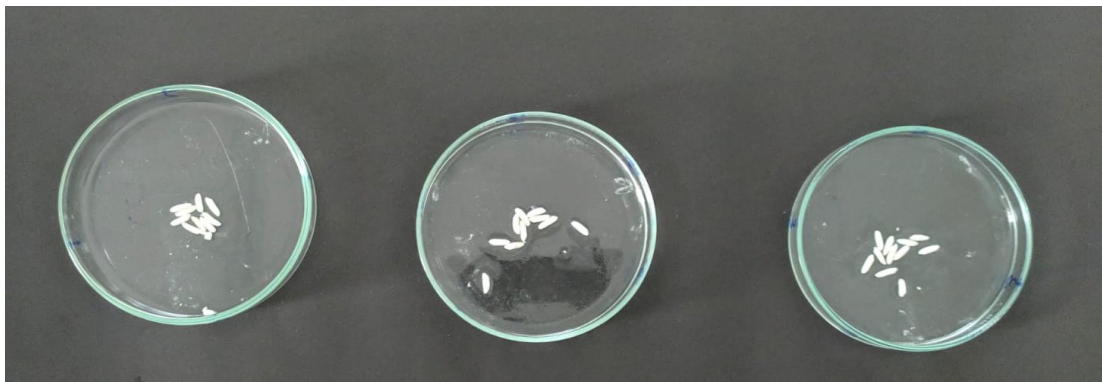
WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Zinc supplementation in the management of diarrhoea**. 2019. Disponível em: [https://www.who.int/elena/titles/zinc\\_diarrhoea/en/](https://www.who.int/elena/titles/zinc_diarrhoea/en/). Acesso em: 30 nov. 2019.



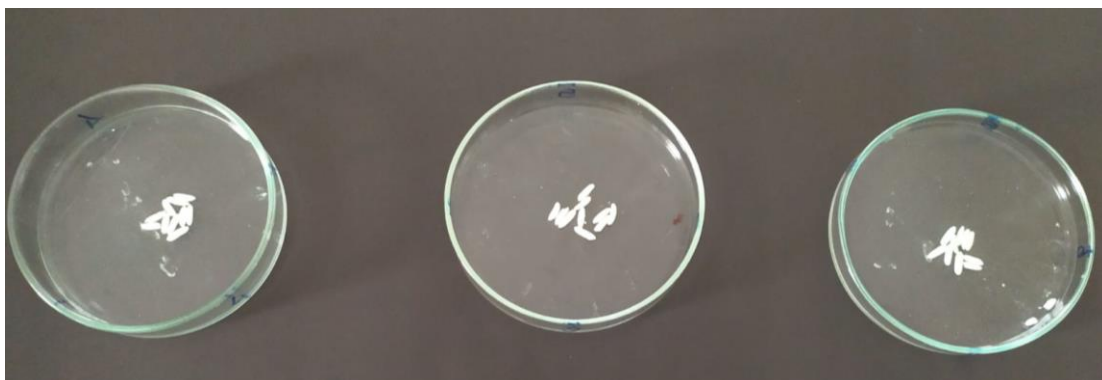
## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Temperatura de gelatinização

TRATAMENTO 1 - Controle.



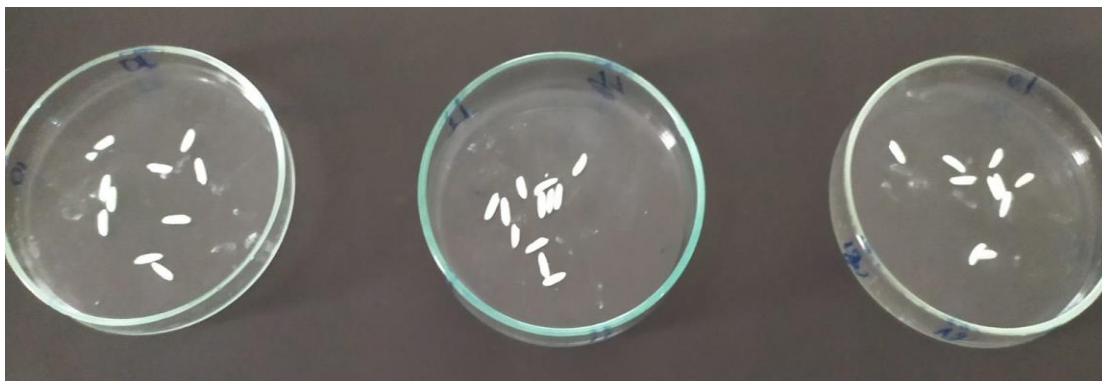
TRATAMENTO 2 - 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo).



TRATAMENTO 3 - 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar).



TRATAMENTO 4 - 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar).



TRATAMENTO 5 - 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar).



TRATAMENTO 6 - 46 kg de N/ha.



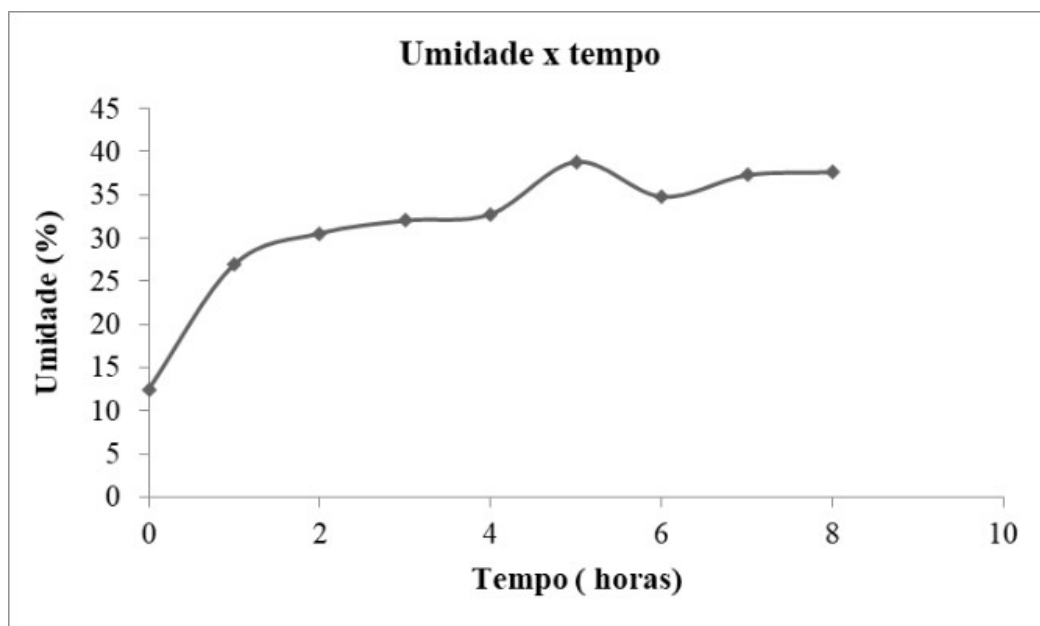
TRATAMENTO 7 - 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha.



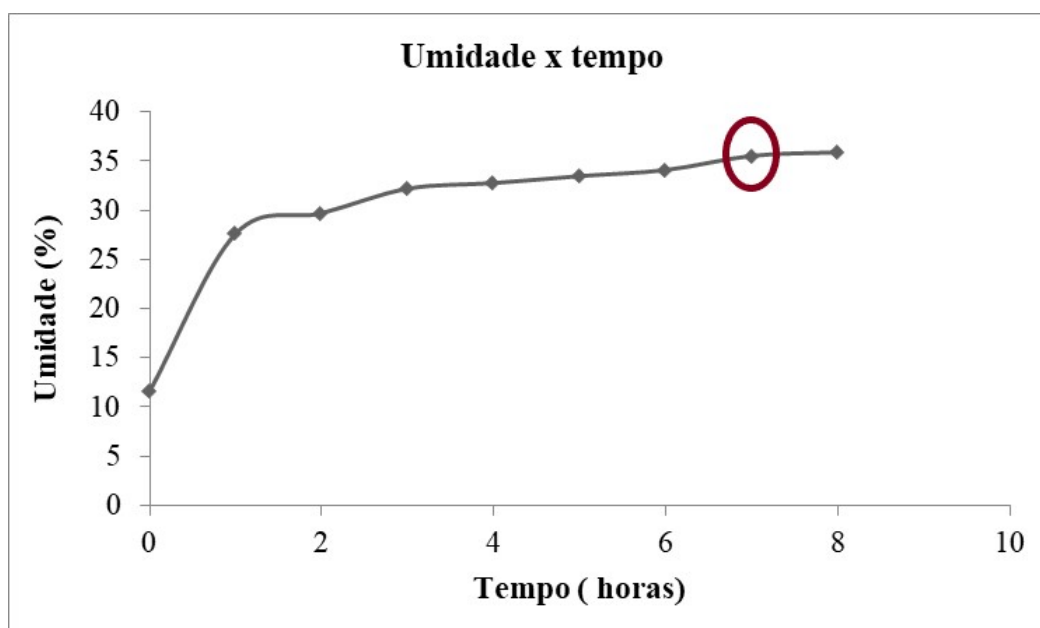
**APÊNDICE B - Isotermas de absorção de água**

O círculo vermelho indica o tempo e a umidade no qual foi observada a abertura da casca.

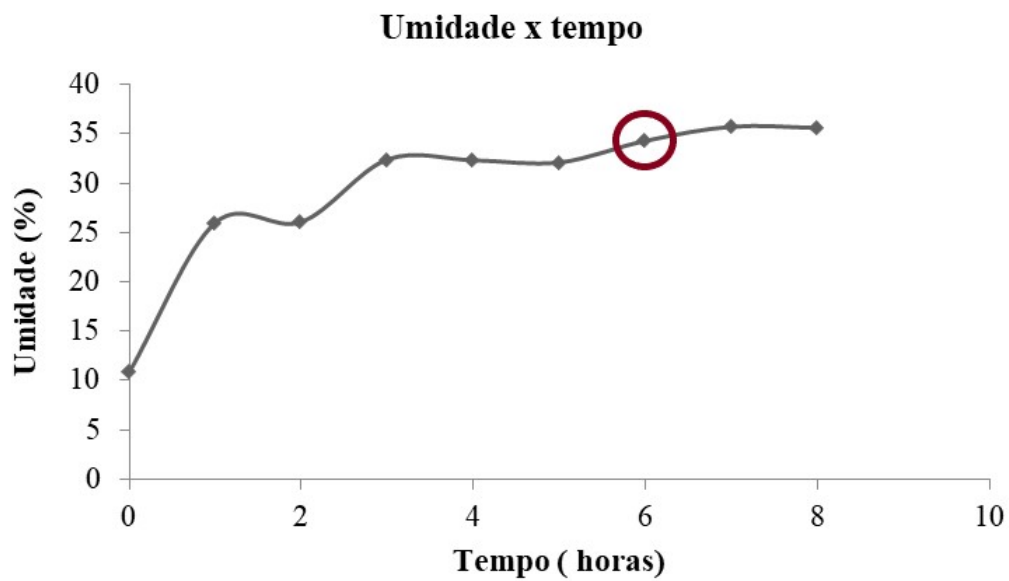
TRATAMENTO 1 - Controle.



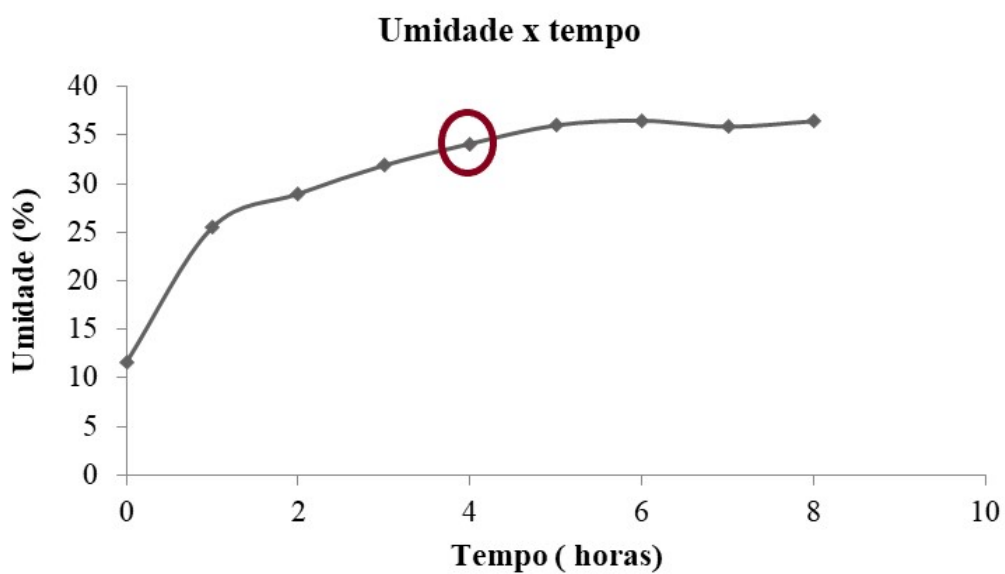
TRATAMENTO 2 - 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo).



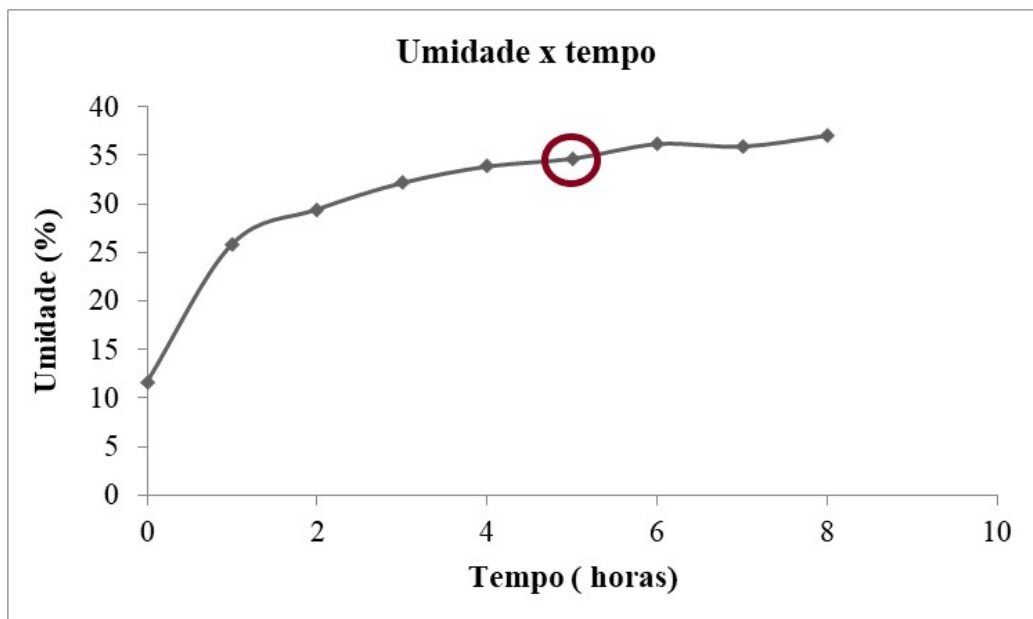
TRATAMENTO 3 - 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar).



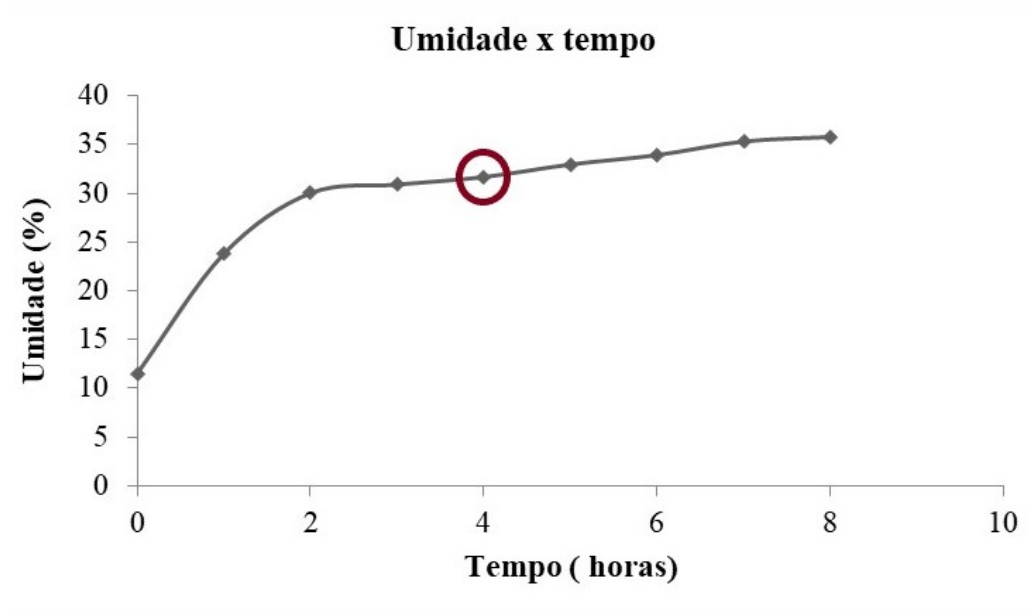
TRATAMENTO 4 - 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar).



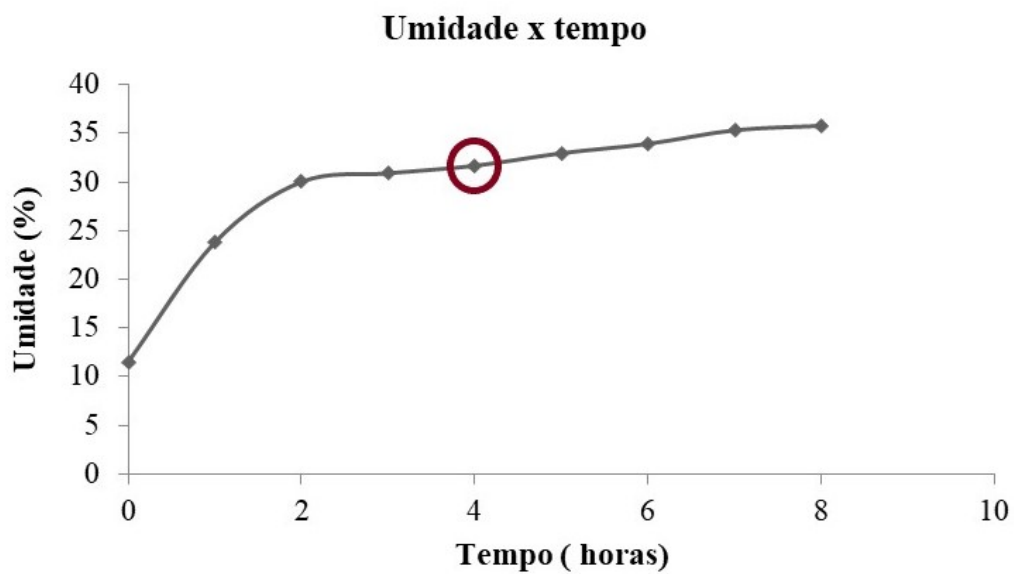
TRATAMENTO 5 - 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar).



TRATAMENTO 6 - 46 kg de N/ha.



TRATAMENTO 7 - 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha.



**APÊNDICE C - Análise de grãos não gelatinizados**

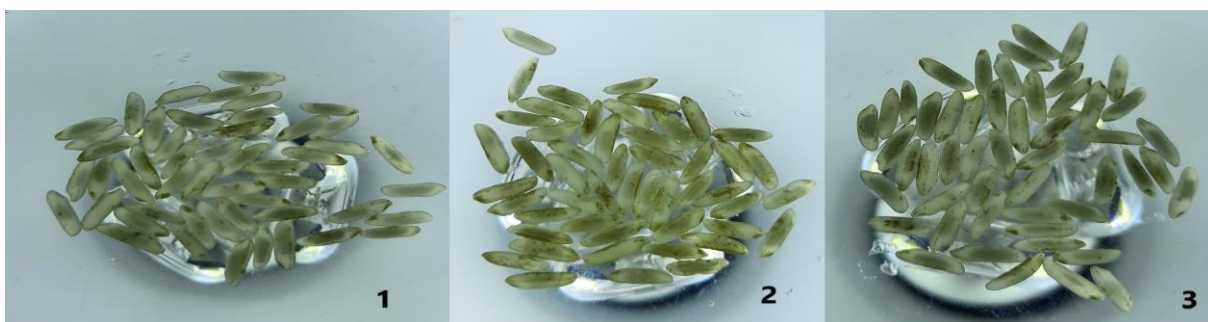
TRATAMENTO 1 - Controle.



TRATAMENTO 2 - 10 kg de Zn/ha (aplicação no solo).



TRATAMENTO 3 - 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar).



TRATAMENTO 4 - 5 kg de Zn/ha (aplicação foliar).

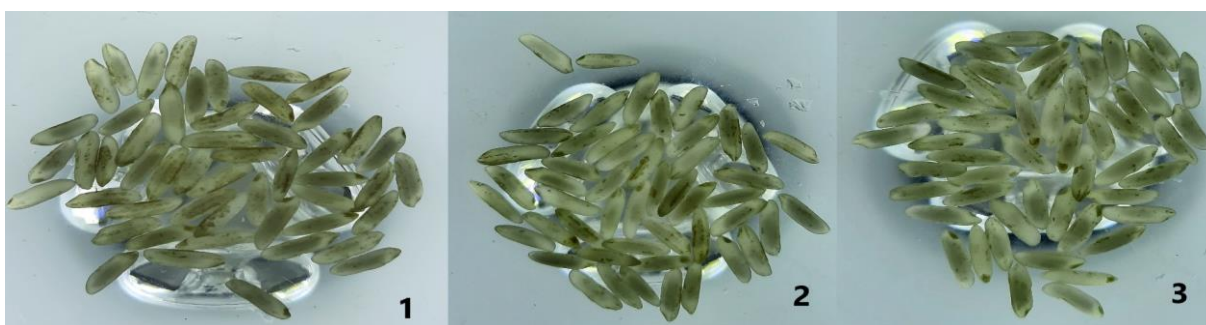




TRATAMENTO 5 - 5 kg de Zn/ha + 6,9 kg de N/ha (aplicação foliar).



TRATAMENTO 6 - 46 kg de N/ha.

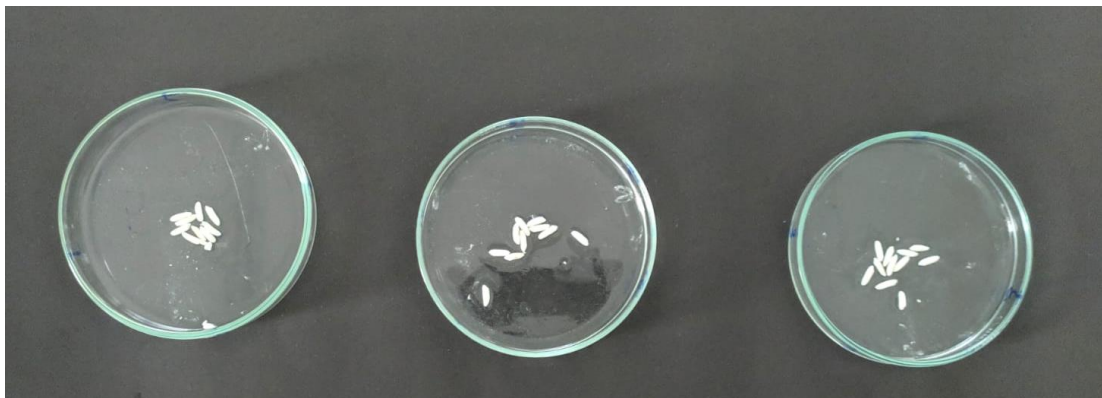


TRATAMENTO 7 - 1 kg de Zn/ha (aplicação foliar) + 46 kg de N/ha.



**APÊNDICE D - Temperatura de gelatinização**

Cultivar BRS A501 CL - Controle



Cultivar BRS A501 CL - Zn Solo.



Cultivar BRS A501 CL - Zn Foliar.



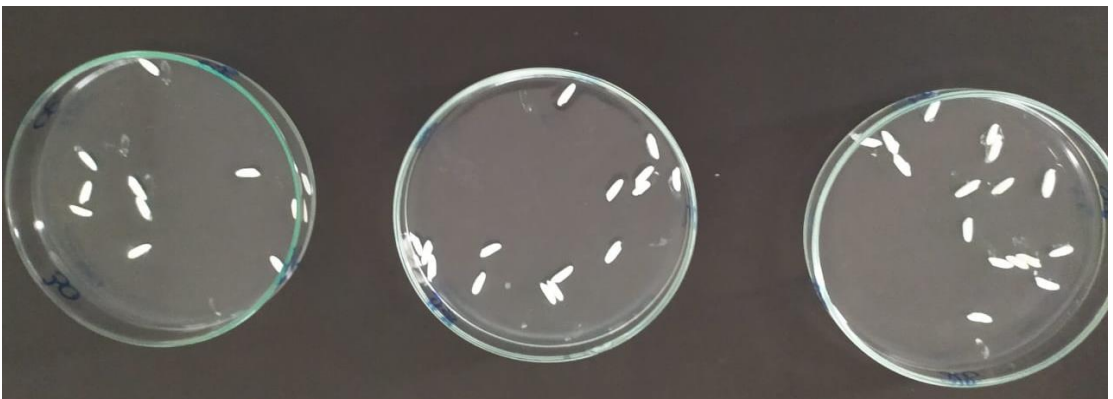
Linhagem CMG F6 LAM 20-2 - Controle



Linhagem CMG F6 LAM 20-2 - Zn Solo.



Linhagem CMG F6 LAM 20-2 - Zn Foliar.



Linhagem CMG ERF 85-6 - Controle



Linhagem CMG ERF 85-6 - Zn Solo.



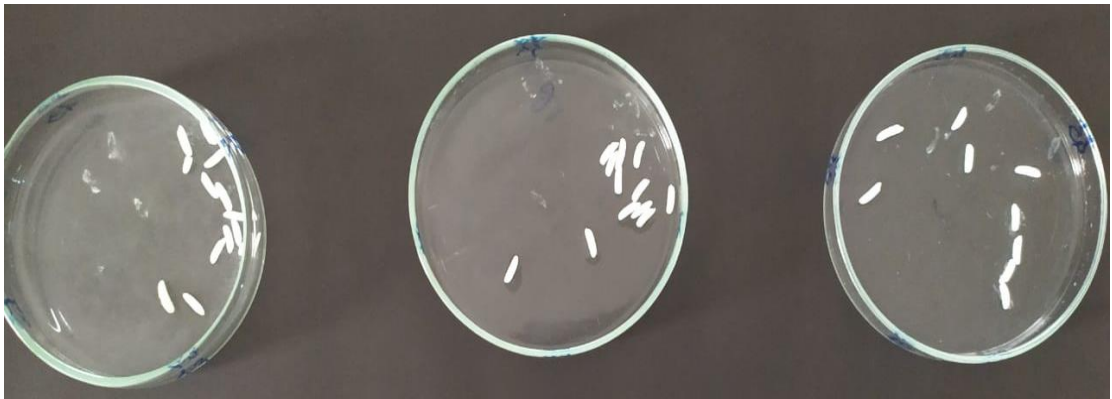
Linhagem CMG ERF 85-6 - Zn Foliar.



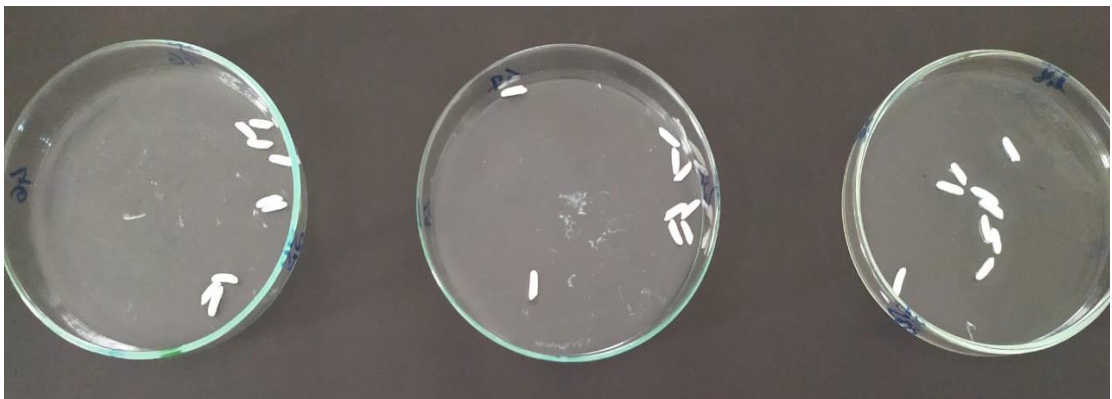
Linhagem CMG ERF 85-15 - Controle



Linhagem CMG ERF 85-15 - Zn Solo.



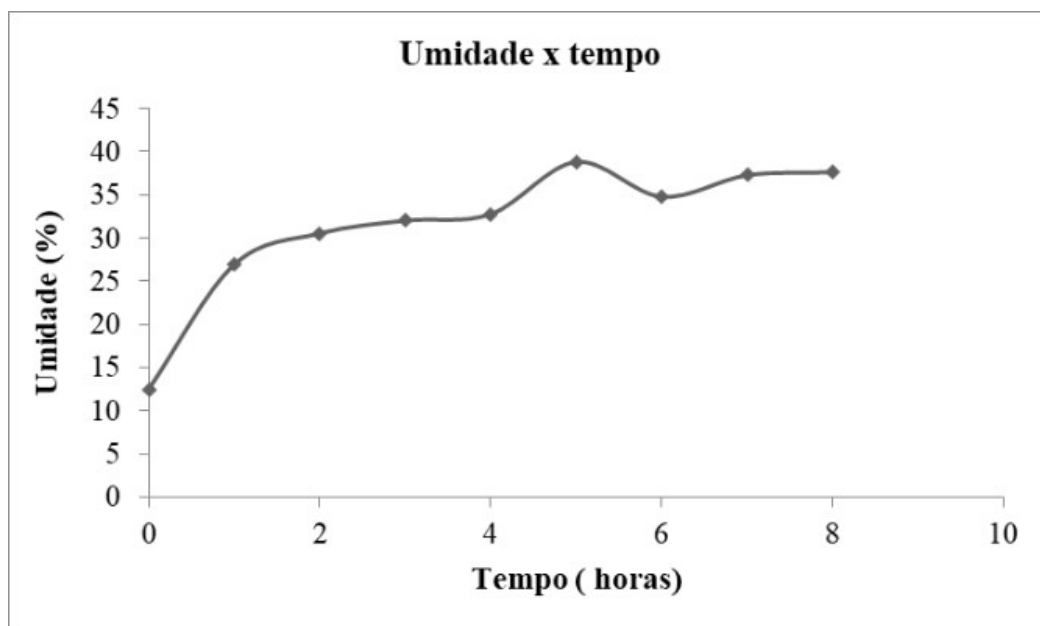
Linhagem CMG ERF 85-15 - Zn Foliar.



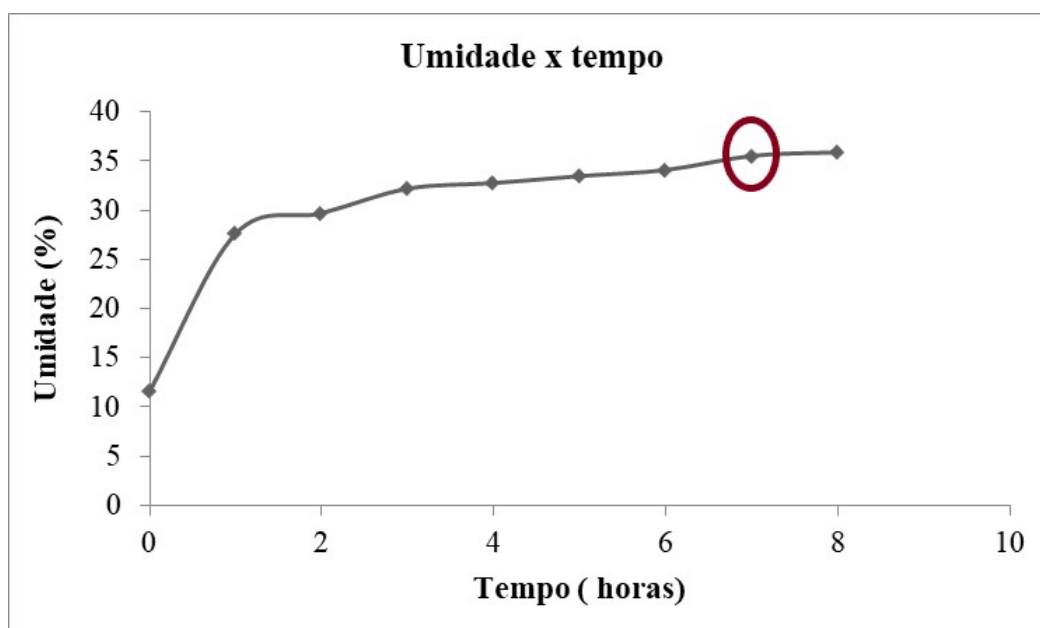
## APÊNDICE E - Isotermas de absorção de água

O círculo vermelho indica o tempo e a umidade no qual foi observada a abertura da casca.

Cultivar BRS A501 CL - Controle.

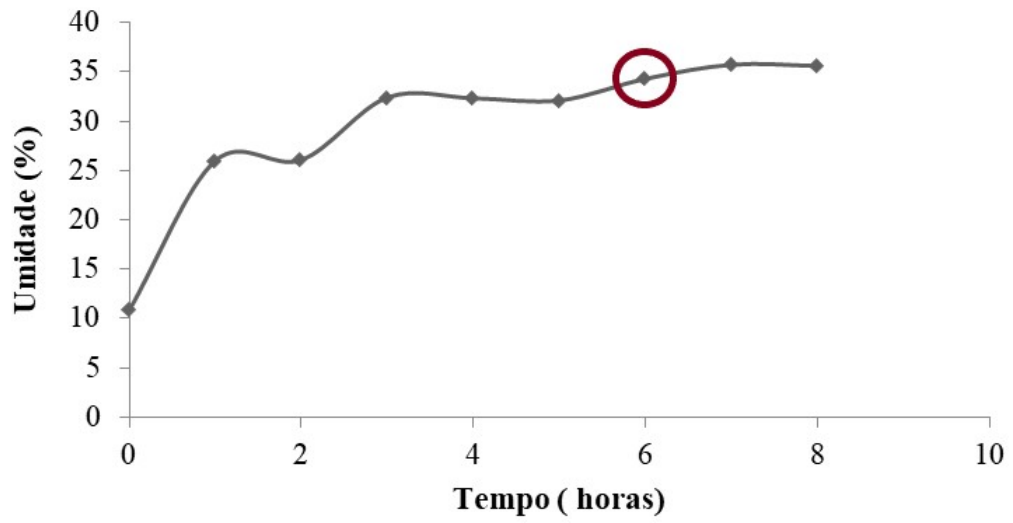


Cultivar BRS A501 CL - Zn Solo.



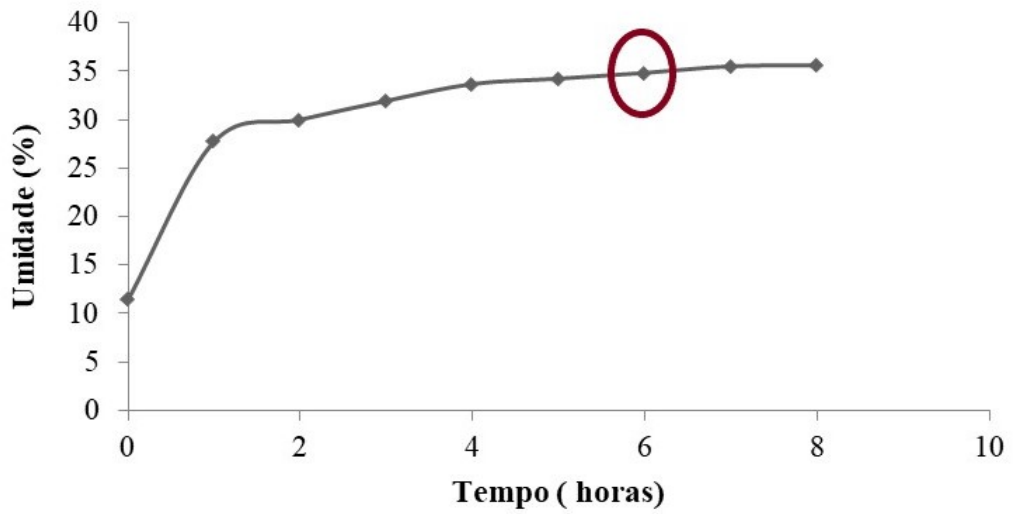
Cultivar BRS A501 CL - Zn Foliar.

### Umidade x tempo

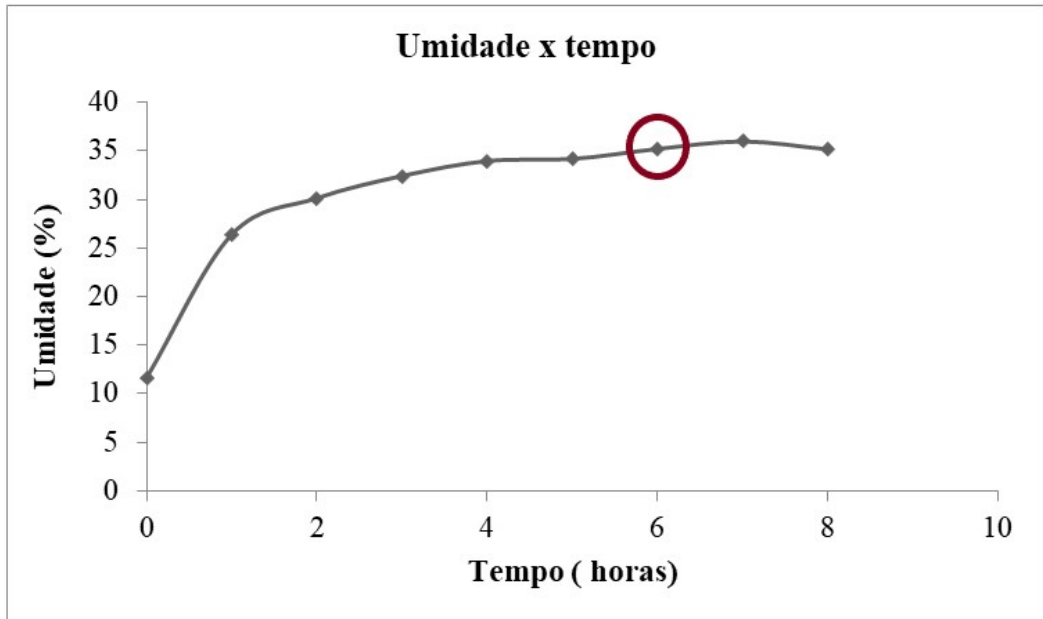


Linhagem CMG F6 LAM 20-2 – Controle.

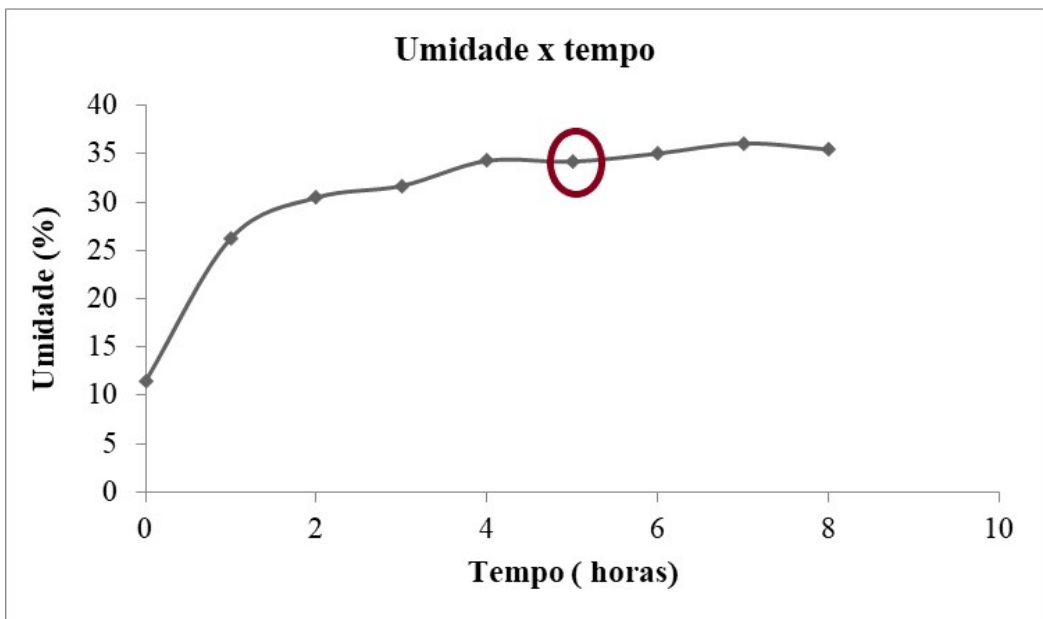
### Umidade x tempo



Linhagem CMG F6 LAM 20-2 - Zn Solo.

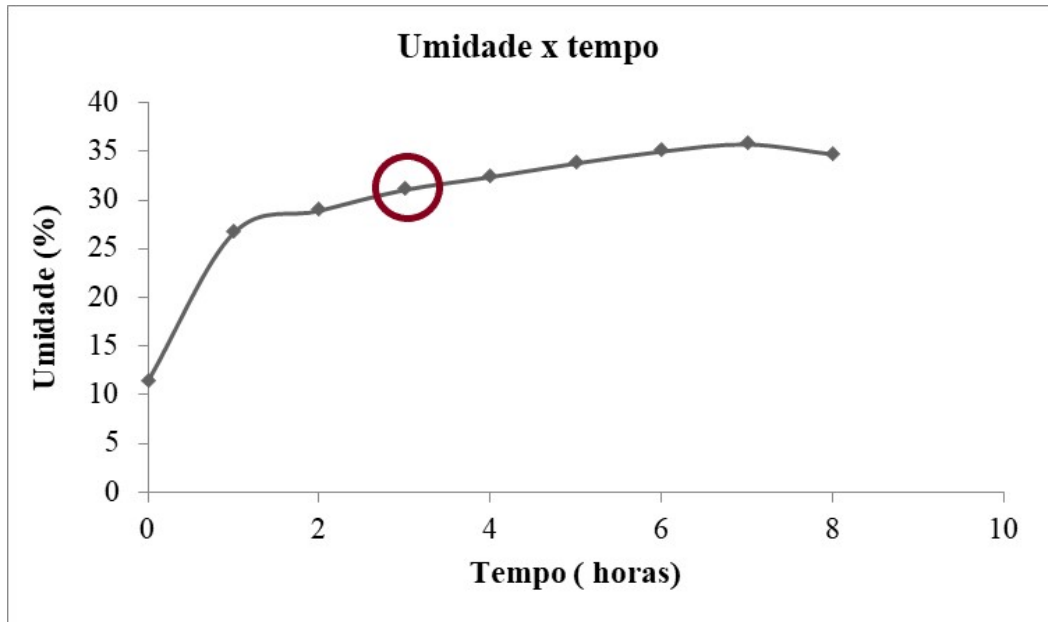


Linhagem CMG F6 LAM 20-2 - Zn Foliar.

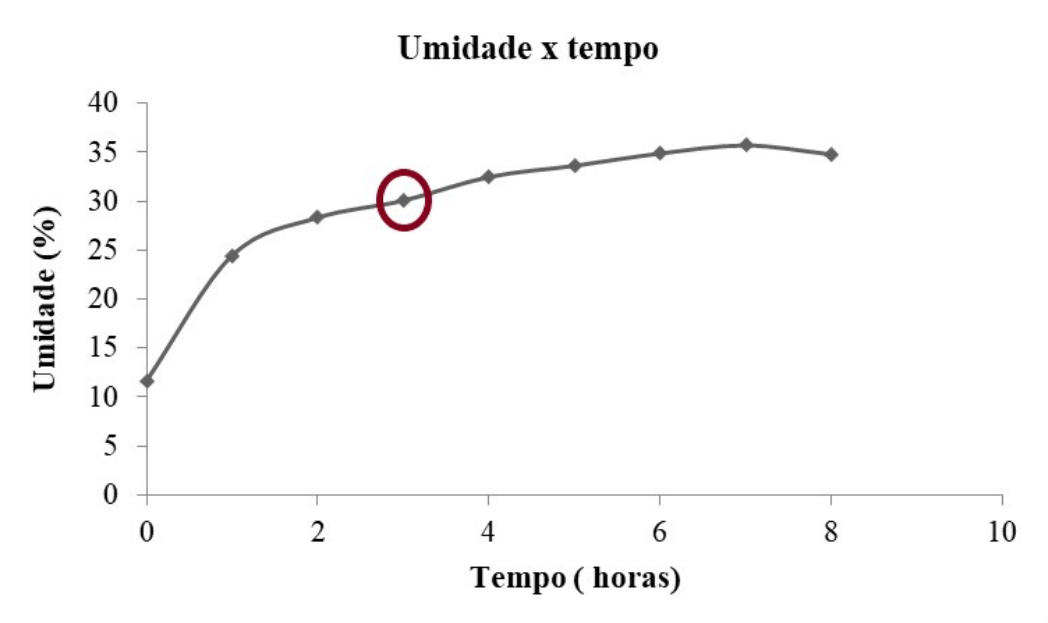




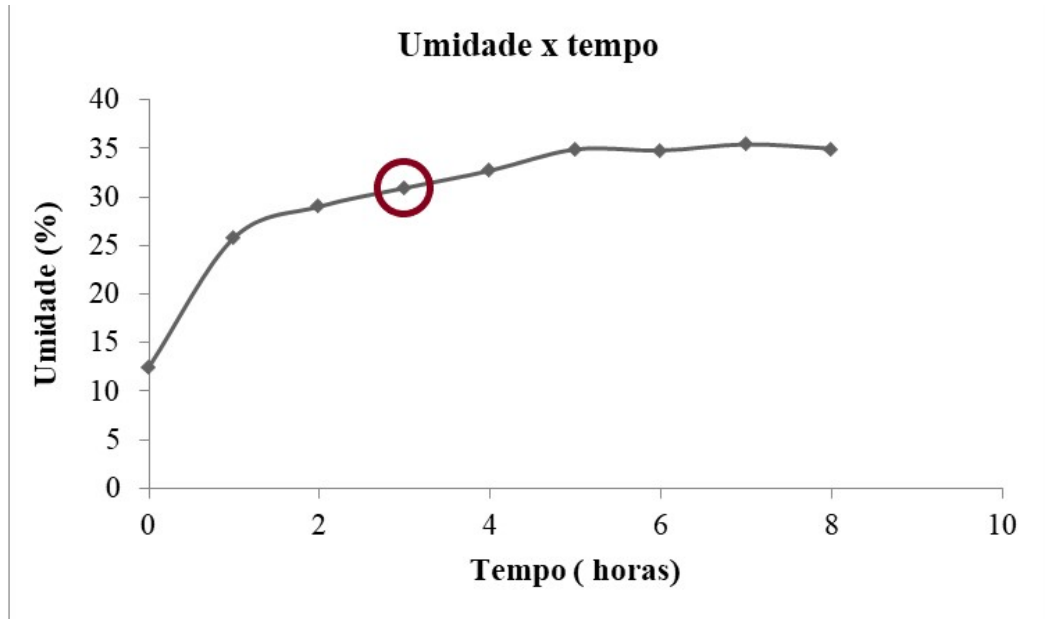
Linhagem CMG ERF 85-6 – Controle.



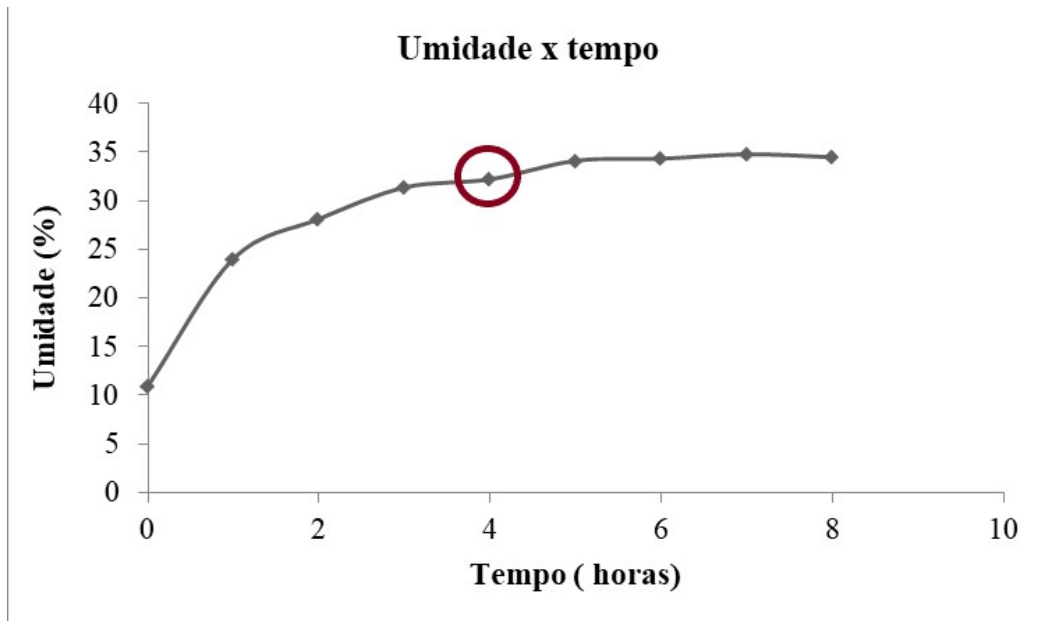
Linhagem CMG ERF 85-6 - Zn Solo.



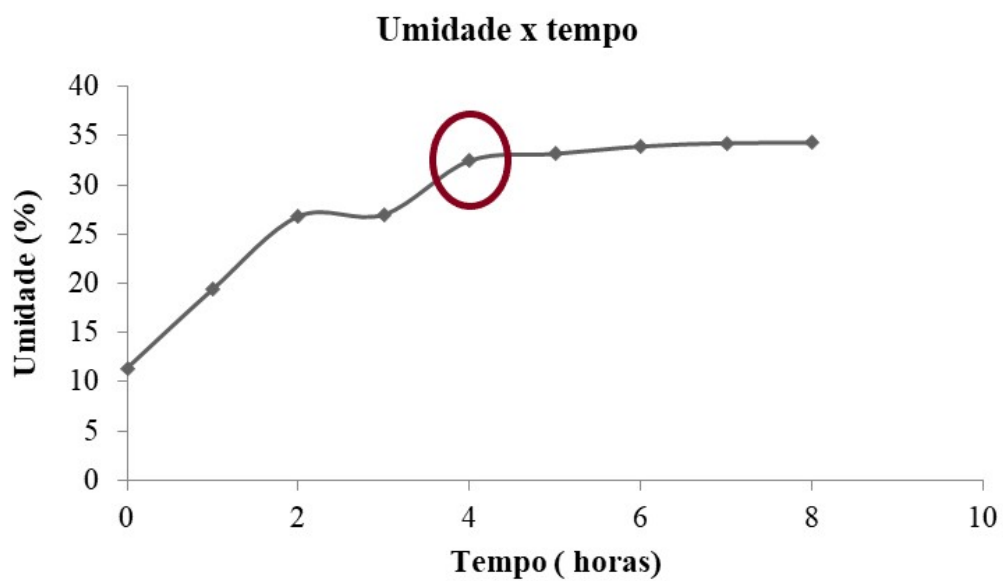
Linhagem CMG ERF 85-6 - Zn Foliar.



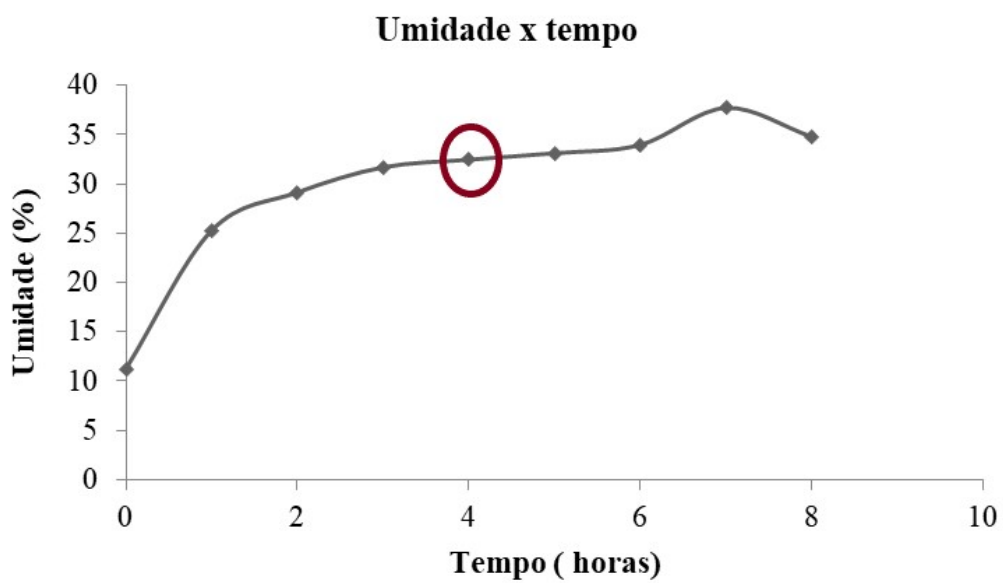
Linhagem CMG ERF 85-15 - Controle.



Cultivar CMG ERF 85-15 - Zn Solo.



Cultivar CMG ERF 85-15 - Zn Foliar.



**APÊNDICE F - Análise de grãos não gelatinizados**

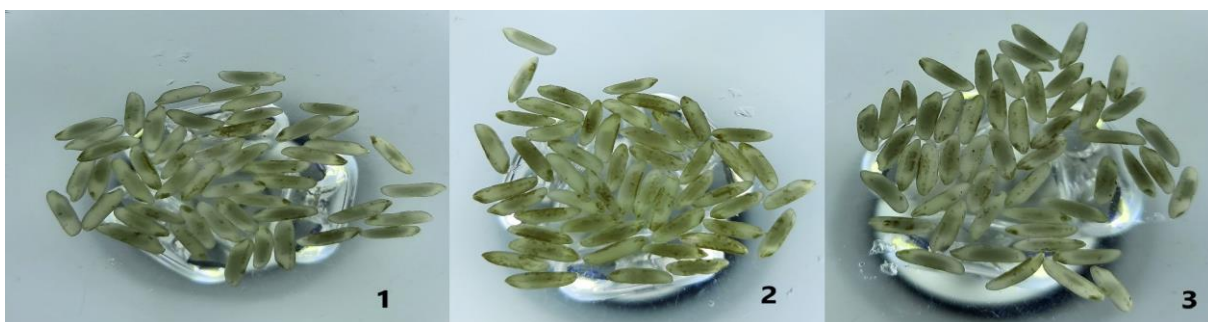
Cultivar BRS A501 CL - Controle.



Cultivar BRS A501 CL - Zn Solo.



Cultivar BRS A501 CL - Zn Foliar.



Linhagem CMG F6 LAM 20-2 - Controle.



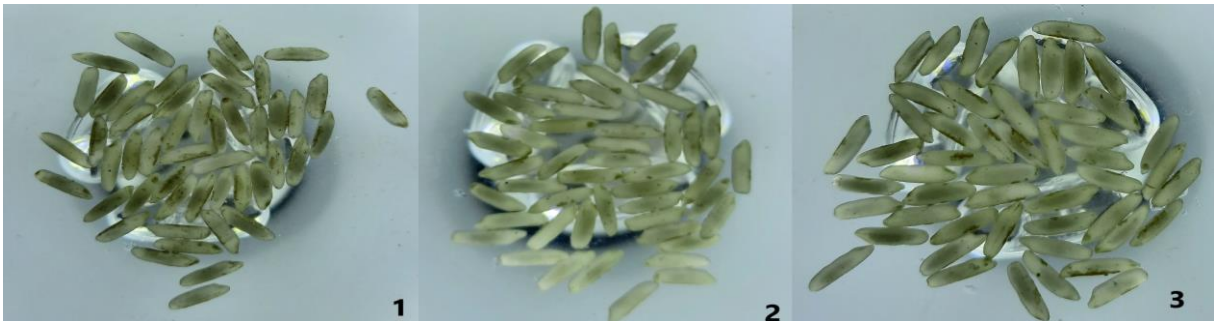
Linhagem CMG F6 LAM 20-2 - Zn Solo.



Linhagem CMG F6 LAM 20-2 - Zn Foliar.



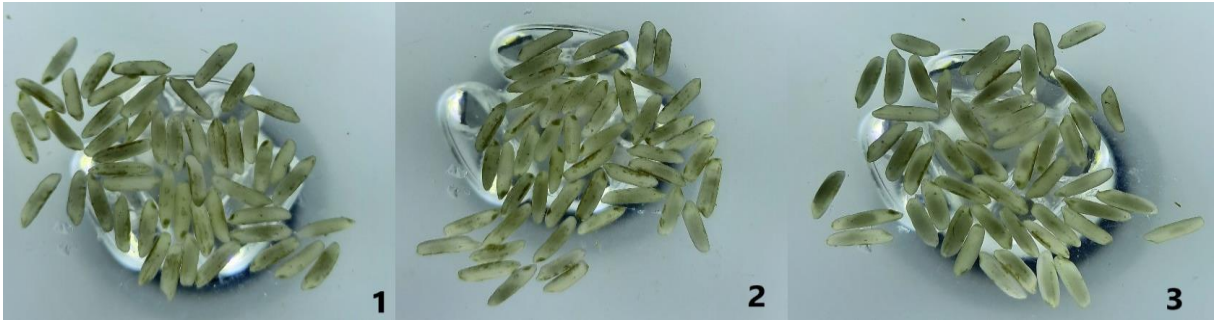
Linhagem CMG ERF 85-6 - Controle.



Linhagem CMG ERF 85-6 - Zn Solo.



Linhagem CMG ERF 85-6 - Zn Foliar.



Linhagem CMG ERF 85-15 - Controle.



Linhagem CMG ERF 85-15 - Zn Solo.



Linhagem CMG ERF 85-15 - Zn Foliar.

