



JAYANNE ALVES AZEVEDO ROZEIRA

**TRIGO BIOFORTIFICADO COM ZINCO:
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE CULTIVARES**

LAVRAS – MG

2020

JAYANNE ALVES AZEVEDO ROZEIRA

**TRIGO BIOFORTIFICADO COM ZINCO: CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE
CULTIVARES**

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 Mestre.

Prof^ª. Dr^ª. Joelma Pereira

Orientadora

Dr^ª. Aurinelza Batista Teixeira Condé

Coorientadora

LAVRAS – MG

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

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

Rozeira, Jayanne Alves Azevedo.

Trigo biofortificado com zinco: Caracterização tecnológica de
cultivares / Jayanne Alves Azevedo Rozeira. - 2020.

72 p. : il.

Orientador(a): Joelma Pereira.

Coorientador(a): Aurinelza Batista Teixeira Condé.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Biofortificação Agronômica. 2. Segurança Alimentar. 3.
Farinha de Trigo. I. Pereira, Joelma. II. Condé, Aurinelza Batista
Teixeira. III. Título.

JAYANNE ALVES AZEVEDO ROZEIRA

**TRIGO BIOFORTIFICADO COM ZINCO: CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA
DE CULTIVARES**

**BIOFORTIFIED WHEAT WITH ZINC: TECHNOLOGICAL
CHARACTERIZATION OF CULTIVARS**

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 Mestre.

APROVADA em 27 de novembro de 2020.

Dra. Aurinelza Teixeira Condé EPAMIG

Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho EMBRAPA

Prof^ª. Dr^ª. Joelma Pereira
Orientadora

LAVRAS – MG

2020

À valorização da ciência.

Dedico.

AGRADECIMENTO

A Deus, por me guiar, abençoar e me proporcionar saúde e discernimento na realização do meu projeto.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos pela oportunidade.

Aos professores e profissionais do Departamento de Ciência dos Alimentos por compartilharem o conhecimento e contribuírem com a pesquisa.

Ao CNPq, CAPES e FAPEMIG pela concessão de bolsa de mestrado e apoio financeiro à pesquisa.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Agroindústria de Alimentos) e à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig Sul) por concederem material de pesquisa e infraestrutura sem os quais não seriam possível a conclusão deste trabalho.

À professora Dra. Joelma pela orientação, ensinamentos, incentivo e paciência durante todo o mestrado e por confiar em mim na realização deste projeto.

A todos do Laboratório de Grãos, Raízes e Tubérculos parceria e aos amigos da UFLA, especialmente Larissa, Bruna, Eduardo, Ana Cristina e Dandara, que sempre dispuseram tanto de apoio científico quanto emocional. Vocês tornaram os dias mais leves e a caminhada mais valiosa.

À Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé, ao Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho e ao Dr. José Luiz Viana de Carvalho por todo ensinamento e orientação e por se comprometerem com a viabilidade da execução do projeto.

À Adriana Minguita, pelo aprendizado, companheirismo e comprometimento com o experimento.

Aos meus pais, minha irmã e meu namorado, por serem exemplos de amor e os principais incentivadores da minha trajetória. Por compartilharem e entenderem os bons e os maus momentos e por impulsionarem constantemente as minhas conquistas.

Muito obrigada!

RESUMO

A deficiência de micronutrientes essenciais para o organismo humano, como vitamina A, ferro, iodo e zinco afeta bilhões de pessoas no mundo, principalmente nos países em desenvolvimento e normalmente é causada por dietas com pouca variedade de alimentos, seja pela falta de acesso ou pelo consumo excessivo de industrializados e alimentos pobres nutricionalmente. O presente trabalho teve como objetivo quantificar o teor de Zn em cultivares de trigo biofortificadas, nas suas farinhas, farelos e tortilha de trigo, além de classificar os grãos de acordo com a legislação vigente e avaliar os parâmetros de qualidade desses produtos. As cultivares BRS 264, BRS 394 e BRS 404 da EMBRAPA e MGS 1 Aliança e MGS Brilhante da EPAMIG foram estudadas nos tratamentos controle, biofortificação com Zn via solo e biofortificação via foliar, sendo moídas para obtenção das farinhas de trigo. Posteriormente determinou-se o rendimento de moagem, a caracterização físico-química (umidade, proteínas, cinzas, granulometria e acidez graxa), o glúten úmido e índice, o número de queda, bem como as propriedades de alveografia e farinografia das farinhas de trigo. Os grãos foram classificados e tortilhas de trigo foram elaboradas e caracterizadas quanto a umidade, cor, peso, volume específico e textura. Os grãos, farelos, farinhas e tortilhas de trigo tiveram a concentração de Zn determinada. Os resultados indicaram maior conteúdo de Zn nos grãos e farelos da cultivar BRS 264 e nas farinhas da BRS 394, sendo que a biofortificação via foliar aumenta o teor de Zn nos farelos. As cultivares possuem características panificáveis diferentes e a biofortificação dos grãos de trigo influencia na capacidade de absorção de água, atividade enzimática e no conteúdo de glúten úmido das farinhas. A cultivar BRS 264 é classificada como trigo doméstico, MGS 1 Aliança e MGS Brilhante são classificadas como trigo pão, enquanto que BRS 394 e BRS 404 são consideradas trigos melhoradores. As tortilhas de trigo apresentam teor de Zn cerca de 5 vezes maior que o convencional. Portanto, o trigo mostra-se como cereal importante no estudo da biofortificação como alternativa para aumentar a ingestão de Zn, porém mais estudos são necessários para que as melhores estratégias sejam estabelecidas no combate à deficiência de micronutrientes.

Palavras-chave: Fome Oculta. Biofortificação Agronômica. Segurança Alimentar. Farinha de Trigo. Panificação.

ABSTRACT

The essential micronutrients deficiency in human organism, such as vitamin A, iron, iodine and zinc affects billions of people all over the world, mainly in developing countries and it is usually caused by the poor food variety diets, either due to lack of access or excessive amount consumption of industrialized and nutritionally poor food diet. The goal of this study was to quantify the Zn content in biofortified wheat grain cultivars in their flours, bran and wheat tortilla, in addition to that, classify the grains according to current legislation and evaluating the quality parameters of these products. The cultivars BRS 264, BRS 394 and BRS 404 from EMBRAPA and MGS 1 Aliança and MGS Brilhante from EPAMIG were studied in the control treatments, biofortification with Zn via soil and biofortification via foliar application, being milled to obtain wheat flour. Then, the milling yield, the physico-chemical characterization (moisture, proteins, ash, granulometry and fatty acidity), the wet and index gluten, the falling number, as well as the alveography and farinography properties of wheat flour were determined. The grains were classified and the wheat tortillas were elaborated and characterized in terms of moisture, color, weight, specific volume and texture. The grains, bran, flours and wheat tortillas had their Zn concentration determined. The results indicate a higher Zn content in the wheat grains and wheat brans of the cultivar BRS 264 and in the wheat flours of the cultivar BRS 394 and biofortification via foliar application increases the content of Zn in wheat brans. The cultivars have different breadmaking characteristics and the biofortification of wheat grains influences the water absorption capacity, enzymatic activity and the wet gluten content of the wheat flours. The cultivar BRS 264 is classified as domestic wheat, MGS 1 Aliança and MGS Brilhante are classified as bread wheat, while BRS 394 and BRS 404 are considered breeding wheat. Wheat tortillas have a Zn content about 5 times higher than conventional. Therefore, wheat is shown to be an important cereal in the study of biofortification as an alternative to increase Zn intake, however more studies are needed to establish the best strategies to combat micronutrient deficiency.

Keywords: Hidden Hunger. Agronomic Biofortification. Food Security. Wheat flour. Bakery products.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da biofortificação agronômica.....	19
Figura 2 – Estrutura do grão de trigo.....	23
Figura 3 - Reconhecimento de padrões de farinhas proveniente de trigo biofortificado com zinco: (a) PCA, (b) HCA. Concentração de zinco na farinha (ZnF), tenacidade (P), extensibilidade (L), relação tenacidade e extensibilidade (P/L), força do glúten (W), absorção de água (ABS), estabilidade (EST), tempo de desenvolvimento da massa (TDM), índice de tolerância à mistura (ITM), número de queda (FN), glúten seco (GU), índice de glúten (IG).	57
Figura 4 - Representação dos gráficos de alveografia (P x L) do controle (Sem Zn) de cada cultivar estudada: (A) BRS 264, (B) BRS 394, (C) BRS 404, (D) MGS 1 Aliança, (E) MGS Brilhante..	57
Figura 5 - Tortilhas de trigo elaboradas a partir de farinhas de trigo das cultivares BRS 404 e MGS 1 Aliança.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos de qualidade da farinha de trigo para pão francês, biscoitos e bolos e pastas alimentícias ¹	26
Tabela 2 – Valores médios ¹ de teor de zinco por cultivar e por tipo de biofortificação dos grãos, farinhas e farelos de trigo.	42
Tabela 3 – Valores médios do peso hectolitro + desvio padrão e rendimento de extração total e das frações das farinhas de trigo obtidas das cultivares de trigo estudadas.	44
Tabela 4 - Conteúdo médio de umidade, proteína, cinzas, acidez graxa (calculados sobre a matéria integral) e granulometria das farinhas de trigo estudadas.	46
Tabela 5 - Valores médios ¹ dos parâmetros P (tenacidade), L (extensibilidade), P/L e W (força de glúten) referentes à análise reológica de alveografia das farinhas das variedades de trigo estudadas.....	48
Tabela 6 - Valores dos atributos farinográficos absorção de água – ABS (%), estabilidade – EST, tempo de desenvolvimento da massa – TDM e índice de tolerância à mistura – ITM (minutos) das farinhas de trigo estudadas.	51
Tabela 7 – Valores médios e desvio padrão de <i>falling number</i> (número de queda) - FN, em segundos (s), e percentagens (%) de glúten úmido (GU) e de glúten index (GI).....	53
Tabela 8 - Classificação dos trigos conforme Anexo III da Instrução Normativa 38 do MAPA (Brasil, 2010).	55
Tabela 9 - Análise de componente principal.	58
Tabela 10 - Valores médios de umidade ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$), diâmetro (cm), peso (g), espessura (mm) e volume específico ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$) das tortilhas elaboradas a partir das farinhas de trigo estudadas.	61
Tabela 11 - Valores médios de força, distância e cor (atributos L^* , a^* e b^*) das tortilhas de trigo elaboradas a partir das farinhas de trigo estudadas.....	63

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	12
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 A fome oculta: desnutrição humana	15
3.1.1 Funções e efeitos do zinco na nutrição humana	16
3.2 Biofortificação	17
3.2.1 Biofortificação agronômica com zinco	19
3.2.1.1 Aplicação via solo <i>versus</i> aplicação foliar	20
3.3 A importância da cultura do trigo	21
3.3.1 Estrutura e composição do grão de trigo	22
3.3.2 Aspectos de qualidade	23
3.3.2.1 Fatores inerentes ao grão de trigo	24
3.3.2.2 Fatores inerentes à farinha de trigo	25
3.3.2.3 Fatores inerentes aos produtos de panificação	26
3.4 Tortilha de trigo	28
4 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES GERAIS	28
REFERÊNCIAS	30
SEGUNDA PARTE – ARTIGO	34
1 INTRODUÇÃO	35
2 MATERIAL E MÉTODOS	36
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4 CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS	66

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de toda a história a fome foi e continua sendo um dos problemas mais persistentes e devastadores enfrentados pela humanidade. É considerada causa e consequência do subdesenvolvimento de regiões, levando à pobreza e associando-se a conflitos armados, disponibilidade inconstante de alimentos e desnutrição. Esta, por sua vez, se manifesta de diversas formas, variando da fome à obesidade e pode ser definida em termos de subnutrição, supernutrição e deficiência de micronutrientes (NGO; SERRA-MAJEM, 2018).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a deficiência de micronutrientes, principalmente vitamina A, iodo, ferro e zinco, afeta mais de dois bilhões de pessoas no mundo (FAO; WHO, 2014). No entanto, os sintomas deste tipo de desnutrição são pouco evidentes e muitas vezes passam despercebidos pela comunidade, fazendo com que a deficiência de micronutrientes no organismo seja também conhecida como “fome oculta” (KENNEDY; NANTEL; SHETTY, 2003). As ingestões inadequadas de vitaminas e elementos minerais, a baixa qualidade nutricional dos alimentos ou a má absorção de nutrientes podem causar a fome oculta (GREGORY et al., 2017), sendo que as crianças e mulheres em idade reprodutiva que vivem em países em desenvolvimento são os grupos mais vulneráveis (BOUIS et al., 2011; VELU et al., 2014).

No caso do zinco (Zn), a sua deficiência no organismo afeta o crescimento e desenvolvimento infantil, o sistema imunológico e contribui para o desenvolvimento de doenças infecciosas como diarreia e pneumonia (ACKLAND; MICHALCZYK, 2016). Sendo assim, a nutrição adequada do mineral é essencial para a saúde humana por desempenhar funções estruturais e funcionais em diversos sistemas enzimáticos que estão envolvidos na expressão gênica, divisão e crescimento celular e funções imunológicas e reprodutivas (HESS et al., 2009). Com isso, dentre as formas de aumentar a ingestão de micronutrientes, destaca-se a biofortificação.

De modo geral, a biofortificação é uma estratégia utilizada para aumentar as concentrações e/ou biodisponibilidade de elementos minerais em alimentos (WHITE; BROADLEY, 2009). Desta forma, o desenvolvimento de culturas com concentrações aumentadas de um nutriente específico, ou com concentração diminuída de moléculas que inibem a absorção dos minerais, pode ser feito por meio de melhoramento genético (biofortificação genética) ou com a utilização de fertilizantes (biofortificação agrônômica)

(GREGORY et al., 2017). A biofortificação agronômica pode ser dividida em aplicação de fertilizantes via solo, no momento do plantio, ou aplicação foliar, através de pulverização nas folhas das plantas (DE VALENÇA et al., 2017).

O programa de pesquisa em biofortificação HarvestPlus estuda e aplica globalmente ambas estratégias, com o intuito de reduzir a fome oculta nas populações mais carentes do mundo por meio da distribuição de sementes de culturas alimentares biofortificadas com micronutrientes, que sejam aceitas tanto pelos agricultores quanto pelos consumidores.

Segundo Cakmak & Kutman (2018) a biofortificação com fertilizantes de Zn, principalmente as aplicações foliares, demonstram resultados significativamente positivos para cereais, em especial para o trigo. Sendo assim, este cereal apresenta uma alternativa viável para combater a deficiência de minerais, já que representa uma cultura básica, consumida mundialmente e de fácil acesso para populações afetadas pela deficiência de micronutrientes.

Contudo, faz-se necessário avaliar a resposta do grão de trigo quando submetido à biofortificação agronômica com Zn em diferentes regiões, condições de cultivo, climas e solos. Além disso, é importante estudar a influência da biofortificação na qualidade da farinha de trigo e dos seus produtos derivados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar o efeito da biofortificação agronômica foliar e via solo na qualidade tecnológica e no teor de zinco nos grãos, nas farinhas e nas tortilhas de trigo.

2.2 Objetivos específicos

- Obter o valor do rendimento de moagem dos grãos de trigo;
- Determinar características físico-químicas e reológicas das farinhas de trigo;
- Classificar as farinhas de trigo obtidas conforme legislação brasileira vigente;
- Elaborar um produto alimentício a partir das farinhas de trigo obtidas;
- Quantificar o teor de zinco dos grãos de trigo, das farinhas de trigo (endosperma e farelo + gérmen) e das tortilhas de trigo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A fome oculta: desnutrição humana

A fome é um problema que afeta milhões de pessoas no mundo, especialmente em países pobres e/ou em conflito. Como forma de solucionar o problema, muitos desses países adotaram o uso de políticas públicas com o intuito de aumentar a produção de alimentos básicos, como milho, arroz e trigo. No entanto, apesar desses alimentos oferecerem ótimas fontes de energia, são pobres em termos nutricionais, apresentando baixos teores e/ou biodisponibilidade de vitaminas e minerais, o que causa problemas de desnutrição, como a fome oculta (VERGÜTZ et al., 2016).

A desnutrição geralmente é associada à fome causada pela falta de alimentos disponíveis, entretanto, ela se manifesta de muitas formas, desde a fome à obesidade, que está presente de alguma forma em quase todos os países, tendo em vista a existência de uma pandemia global de sobrepeso e obesidade (NGO; SERRA-MAJEM, 2018). Ainda segundo Ngo e Serra-Majem (2018), a desnutrição pode ser definida em termos de subnutrição, supernutrição ou deficiência de micronutrientes e ocorre quando o consumo de alimentos é insuficiente, quando há ingestão excessiva de alimentos ricos em gorduras saturadas e açúcares ou quando existe uma utilização inadequada de nutrientes fornecidos pelos alimentos ingeridos.

As deficiências de micronutrientes no organismo também têm sido referidas como “fome oculta”, que é caracterizada pela deficiência de vitaminas e minerais essenciais exigidos pelos seres humanos para estimular o crescimento e o metabolismo celular (KENNEDY; NANTEL; SHETTY, 2003). Como o termo indica, na “fome oculta” os sinais de desnutrição são menos evidentes nos que são afetados por ela (MUTHAYYA et al., 2013) e globalmente, estima-se que mais de dois bilhões de pessoas apresentem deficiências de micronutrientes, principalmente vitamina A, iodo, ferro e zinco (FAO; WHO, 2014).

As principais causas da fome oculta são basicamente dietas pobres, com pouca variedade de alimentos, e a baixa qualidade nutricional dos alimentos (VERGÜTZ et al., 2016). Nesse sentido, quando não é possível balancear dietas com quantidades adequadas de frutas, vegetais ou alimentos de origem animal que contêm grandes quantidades de micronutrientes, as deficiências são inevitáveis, podendo existir mesmo em uma população com consumo adequado de alimentos no que diz respeito às necessidades energéticas (KENNEDY; NANTEL; SHETTY, 2003). Crianças e mulheres em idade reprodutiva que vivem em países de baixa

renda são as mais vulneráveis e conseqüentemente sofrem os maiores efeitos das deficiências de micronutrientes (MUTHAYYA et al., 2013; RUEL-BERGERON et al., 2015).

O Índice da Fome Oculta (HHI – *Hidden Hunger Index*), que se trata de uma análise realizada para avaliar a variação da fome oculta entre os anos de 1995 e 2011 foi calculado com base em dados de deficiência de ferro, deficiência de vitamina A e prevalência de baixa estatura (indicador de deficiência de zinco) entre crianças menores de cinco anos de 138 países. (RUEL-BERGERON et al., 2015). O resultado varia de 0 (melhor) a 100 (pior). De acordo com o estudo, houve redução global no HHI, sendo que dos países estudados, 100 reduziram o índice e 38 apresentaram aumento. Além disso, o melhor desempenho no HHI foi do Chile (10,2 e 7,2 em 1995 e 2011, respectivamente) e a Etiópia teve a maior pontuação tanto em 1995 (44,0) quanto em 2011 (45,0). O Brasil passou de um índice moderado em 1995 (16,0) para leve em 2011 (11,0) (RUEL-BERGERON et al., 2015).

Em suma, a importância das deficiências coexistentes de micronutrientes nos países em desenvolvimento está ganhando reconhecimento e há uma ênfase crescente em abordagens baseadas em alimentos como forma de lidar com a fome oculta: fortificação, diversificação e modificação da dieta e biofortificação (SHETTY, 2011; BOUIS et al., 2011; SALTZMAN, 2014).

3.1.1 Funções e efeitos do zinco na nutrição humana

O zinco (Zn) é um oligoelemento essencial para os organismos vivos que desempenha importantes papéis na fisiologia humana. O micronutriente é um cofator para mais de 300 enzimas necessárias para o reparo da membrana celular, proliferação celular, crescimento e função do sistema imunológico (PERES; KOURY, 2006; LIN et al., 2018), além de atuar como componente estrutural e regulador da expressão gênica (KING et al., 2016).

As principais fontes alimentares de zinco são carne, em especial carnes de órgãos e moluscos, além de ovos e laticínios. Entretanto, em cereais, leguminosas, nozes e sementes a biodisponibilidade do zinco pode ser reduzida pela presença de ácido fítico, composto que se une ao mineral, impedindo sua absorção pelo organismo (HUNT, 2003; MAFRA; COZZOLINO, 2004). Com isso, pessoas cuja dieta apresenta pequena ou nenhuma quantidade de alimentos de origem animal e grande quantidade de grãos e leguminosas, tendem a ter maior risco de deficiência de zinco (KENNEDY; NANTEL; SHETTY, 2003).

O organismo não é capaz de armazenar zinco e, portanto, é essencial que esse elemento seja consumido frequentemente na dieta (SANNA et al., 2018). Segundo a Organização

Mundial da Saúde (OMS), a recomendação de ingestão diária de zinco para adultos, considerando uma dieta com biodisponibilidade moderada do mineral, é de 4,9 mg/dia para as mulheres e de 7,0 mg/dia para os homens (WHO, 2004). No entanto, dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009 (POF 2008-2009) mostraram que no Brasil, há uma prevalência de inadequação do consumo de zinco em adultos equivalente a 24,4% para os homens e 21,6% para mulheres (IBGE, 2011).

Os efeitos patológicos da deficiência de zinco incluem a ocorrência de lesões na pele, retardo do crescimento físico, comprometimento da função imunológica, comprometimento da cicatrização, comprometimento da função reprodutiva e do desenvolvimento neurocomportamental (KING et al., 2016; LIN et al., 2018). A deficiência prolongada também pode causar anorexia, retardo no crescimento e defeito no crescimento fetal, intolerância à glicose, restrição da utilização de vitamina A, diarreia, desordens de comportamento, aprendizado e memória (MAFRA; COZZOLINO, 2004).

Contudo, apesar de décadas de pesquisas destacando os efeitos negativos da deficiência de zinco sobre a saúde humana e em particular a infantil, as informações a este respeito ainda são escassas e pouco precisas, portanto sendo ainda uma preocupação global, (HESS et al., 2009; SANNA et al., 2018).

3.2 Biofortificação

A partir do contexto de que mais de 40% das pessoas no mundo estão em risco de desnutrição causada pela deficiência de Fe, Zn e proteína em sua alimentação, várias estratégias vêm sendo adotadas por cientistas, agricultores e indústrias de alimentos para minimizar o problema. Dentre elas, a biofortificação tornou-se um método bem-sucedido para aumentar o teor de micronutrientes nas plantas cultivadas (KHAN et al., 2017).

As estratégias agrícolas podem ser divididas em biofortificação genética, que é baseada no melhoramento genético clássico e engenharia genética para aumentar as concentrações de nutrientes nas plantas, e a biofortificação agrônômica, que é baseada em aplicações otimizadas de fertilizantes com o mesmo objetivo (CAKMAK; KUTMAN, 2018).

Independentemente do método utilizado, a biofortificação oferece um meio viável de atingir, primeiramente, populações rurais desnutridas que podem ter acesso limitado a diversas dietas, suplementos e alimentos comercialmente fortificados, nos quais chegam com mais facilidade nos centros urbanos. Esta estratégia visa inserir a característica do alto teor de

micronutrientes em variedades que já têm características agronômicas e de consumo preferidas, bem como alta produtividade (BOUIS et al., 2011; SALTZMAN et al., 2013).

Além disso, os produtos biofortificados tendem a reduzir a incidência de diversas doenças na população, como a deficiência de micronutrientes e consequentemente reduzir gastos com a saúde pública (INOCENCIO, 2014). O programa de abrangência mundial HarvestPlus (www.harvestplus.org) utiliza estratégias de biofortificação para reduzir a fome oculta nas populações mais vulneráveis do mundo.

O HarvestPlus faz parte do Grupo Consultivo de Pesquisa Agrícola Internacional (CGIAR) e é coordenado pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) e o Instituto Internacional de Pesquisa em Políticas Alimentares (IFPRI). O Programa conta com especialistas em agricultura, nutrição, saúde pública e *marketing* para desenvolverem culturas biofortificadas, principalmente em ferro, zinco e vitamina A, que sejam aceitáveis tanto para os agricultores quanto para os consumidores. Até 2018, segundo o programa, mais de 290 variedades biofortificadas de 12 culturas básicas já foram liberadas e outras centenas estão sendo testadas em mais de 60 países ao redor do mundo, sendo que o objetivo é atingir um bilhão de pessoas com alimentos biofortificados até 2030 (HARVESTPLUS, 2018).

No Brasil, o HarvestPlus atua em parceria com a Rede BioFORT, um conjunto de projetos responsáveis pela biofortificação de alimentos, que visa diminuir a desnutrição e garantir maior segurança alimentar por meio do aumento dos teores de ferro, zinco e vitamina A na dieta da população mais carente (EMBRAPA, 2018). Coordenada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), na BioFORT a biofortificação consiste em melhoramento genético convencional, e concentra esforços nas áreas mais pobres do Nordeste do Brasil por meio de programas de alimentação escolar (EMBRAPA, 2018).

Além disso, desenvolvido pelo HarvestPlus, o HarvestZinc é um projeto com o objetivo de explorar e testar fertilizantes contendo Zn ou iodo para melhorar as concentrações desses minerais em trigo e arroz cultivados na China, Índia, Tailândia, Paquistão, África do Sul e Brasil. A instituição colaboradora do projeto no Brasil é a Universidade Federal de Lavras (UFLA), sob coordenação do professor doutor Luiz Roberto Guimarães Guilherme (HARVESTZINC, 2018).

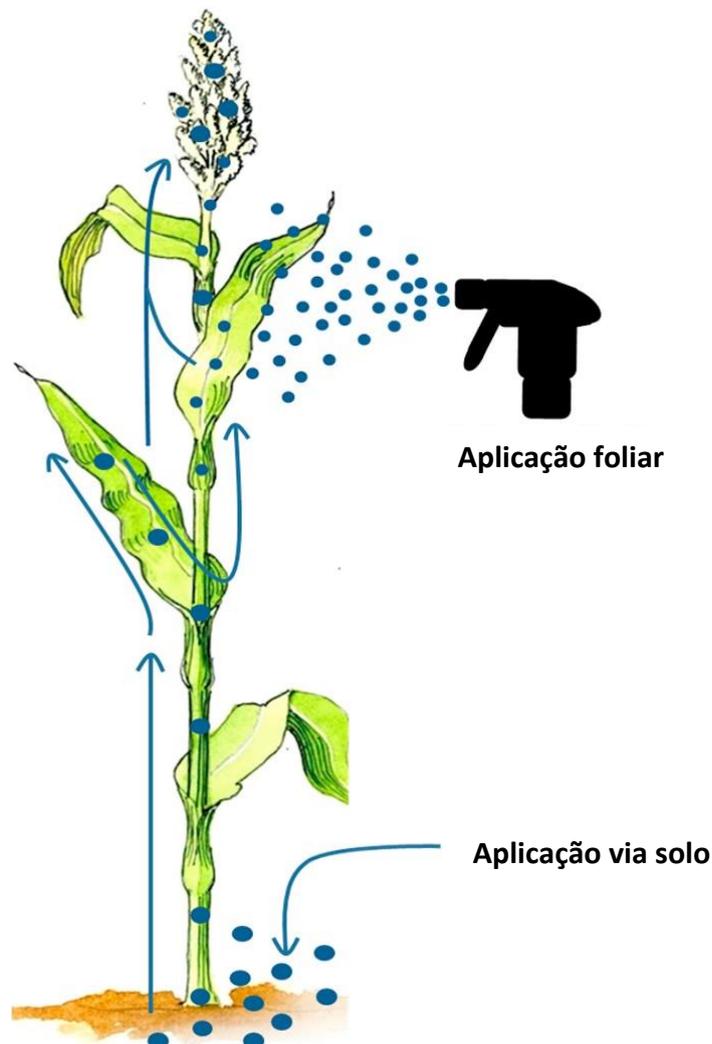
Tratando-se do zinco, estudos sugerem que a biofortificação agronômica, com fertilizantes, particularmente aplicações foliares, funciona bem para trigo e outros cereais, além de fornecer uma opção prática e econômica para combater o problema global de deficiência de zinco (CAKMAK; KUTMAN, 2018).

3.2.1 Biofortificação agronômica com Zn

O aumento da concentração de zinco nos grãos de cereais é um desafio global para aliviar os problemas de saúde relacionados à deficiência de Zn em seres humanos, causados pela baixa ingestão do mineral na dieta (KUTMAN et al., 2010). Dentre as estratégias utilizadas para aumentar a concentração de minerais em cereais, a biofortificação agronômica com Zn oferece uma abordagem econômica e sustentável para superar esse problema a curto prazo (SAHA et al., 2015).

A biofortificação agronômica dá-se via solo ou via foliar (Figura 1). As aplicações de Zn ao solo garantem a disponibilidade suficiente de Zn para a absorção das raízes e as aplicações foliares enriquecem os tecidos vegetativos e, assim, aumentam a remobilização de Zn nos grãos (CAKMAK; KUTMAN, 2018).

Figura 1 – Esquema da biofortificação agronômica.



Fonte: Adaptado de Valença et al. (2017).

Segundo Cakmak (2008), a estratégia de biofortificação agrônômica parece ser essencial para manter uma quantidade suficiente de Zn disponível na solução do solo e manter o transporte adequado de Zn para as sementes durante o crescimento reprodutivo. Ademais, a estratégia do fertilizante com Zn tem importantes efeitos sinérgicos nas abordagens de melhoramento de plantas clássicas e moleculares (CAKMAK; KUTMAN, 2018).

No caso do trigo, os resultados também são positivos e a fertilização com Zn é uma ferramenta agrônômica eficaz para sua biofortificação com o objetivo de superar a deficiência de Zn na alimentação humana. No entanto, a biofortificação com Zn ainda precisa ser avaliada em locais com diferentes práticas de manejo e cultivares de trigo, uma vez que as concentrações de Zn nos grãos podem ser significativamente afetadas por locais, cultivares e manejo (ZOU et al., 2012).

3.2.1.1 Aplicação de Zn via solo *versus* aplicação foliar

A aplicação de Zn no solo é a estratégia mais comum para lidar com a deficiência do mineral, principalmente para aumentar a produtividade das culturas. No trigo, a aplicação de Zn através do solo aumenta a sua concentração no grão integral, embrião, aleurona e endosperma. No entanto, entre os desafios para o sucesso deste método, destaca-se a falta de informações sobre o estado do Zn no solo e na planta, a falta de conhecimento dos agricultores sobre a fertilização com Zn, as maiores quantidades de fertilizantes aplicadas e ao consequente aumento do custo de produção, a disponibilidade de fertilizantes adequados e as distribuições uniformes no solo. (CAKMAK, 2012; REHMAN et al., 2018).

Já a pulverização foliar de fertilizantes com Zn é altamente eficaz no aumento das concentrações do micronutriente nos grãos de cereais (CAKMAK, 2012). No entanto, deve-se atentar ao período de aplicação do Zn foliar, pois estudos com trigo demonstraram que o aumento da concentração do mineral no grão é mais pronunciado quando o fertilizante é pulverizado nos estágios finais de crescimento da planta, quando comparado com estágios iniciais (CAKMAK et al., 2010).

Estudos com trigo demonstram que a aplicação foliar de Zn aumenta a concentração de Zn no grão de forma mais efetiva que a aplicação de Zn no solo. Além disso, a aplicação foliar aumenta a biodisponibilidade do mineral, já que reduz a proporção [ácido fítico]/[Zn] nos grãos, aumentando a absorção estimada de Zn em comparação com a aplicação de Zn no solo (ZHAO et al., 2014; REHMAN et al., 2018).

3.3 A importância da cultura do trigo

O trigo (*Triticum aestivum*) é uma das principais culturas alimentares, dominante nos países de clima temperado, que constitui parte significativa da dieta da maioria da população mundial e é usado tanto para alimentação humana, quanto para ração animal (SHEWRY, 2009; GRUNDAS; WRIGLEY, 2016).

Os registros mais antigos do cultivo domesticado de trigo são de 7.600 a.C., em uma região do Oriente Médio que compreende os vales dos rios Tigre, Eufrates e Nilo (BARTABURU, 2016). A cultura se espalhou pelo mundo através da China e da Europa e no século XVI foi trazida ao Brasil pelos europeus durante as grandes navegações, porém só a partir da década de 1940 o plantio se expandiu pelo Rio Grande do Sul e Paraná, sendo este o principal estado produtor (CAFÉ et al., 2003; ABITRIGO, 2018).

O grão deste cereal é a matéria-prima para obtenção da farinha de trigo, na qual é amplamente utilizada na indústria de alimentos como ingrediente principal de produtos alimentícios como pães, bolos, biscoitos e macarrão, consumidos globalmente. Sendo assim, o trigo representa um importante papel no aspecto econômico e nutricional da população (COSTA et al., 2008).

Além de ser fonte de energia por apresentar um alto teor de amido (60 % a 70 % no grão integral e 65 % a 75 % na farinha branca), o trigo também contribui nutricionalmente com aminoácidos essenciais, minerais e vitaminas, além de fitoquímicos e componentes de fibra dietética benéficos para a dieta humana, sendo estes particularmente presentes em grandes concentrações em produtos integrais (SHEWRY, 2009).

Segundo a Organização das Nações Unidas Para Agricultura e Alimentação (FAO), a produção mundial de trigo em 2019 foi de cerca de 762 milhões de toneladas e a previsão para 2020 é de 758 milhões, 0,5 % a menos comparado ao ano anterior (FAO, 2020). No Brasil, o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), estimou que a produção nacional foi de cerca de 5,2 milhões de toneladas de trigo em 2019, sendo que mais de 87 % foi referente à região Sul do país, seguido do Sudeste (9,7 %), Centro-oeste (2,5 %) e Nordeste (0,6 %). Em setembro, a previsão foi de que em 2020 serão produzidas cerca de 6,8 milhões de toneladas do cereal (IBGE, 2020). No entanto, o Brasil não é autossuficiente na produção de trigo e em 2019 importou cerca de 7 milhões de toneladas, principalmente da Argentina, Estados Unidos, Paraguai, Uruguai e Canadá (CONAB, 2020).

Ainda assim, estima-se que até 2050 a produção de trigo deva dobrar para facilitar a garantia global de alimentos e juntamente com o aumento da produção de trigo, a melhoria do

valor nutricional das variedades é outro desafio crucial enfrentado pelos produtores (KHAN et al., 2017). Tratando-se de uma cultura básica, o trigo e seus derivados se apresentam como uma alternativa importante para reduzir os índices de fome oculta por meio da biofortificação agrônômica com zinco, pois a estratégia funciona como uma abordagem rápida, relevante e prática para enriquecer os grãos (CAKMAK, 2012).

3.3.1 Estrutura e composição do grão de trigo

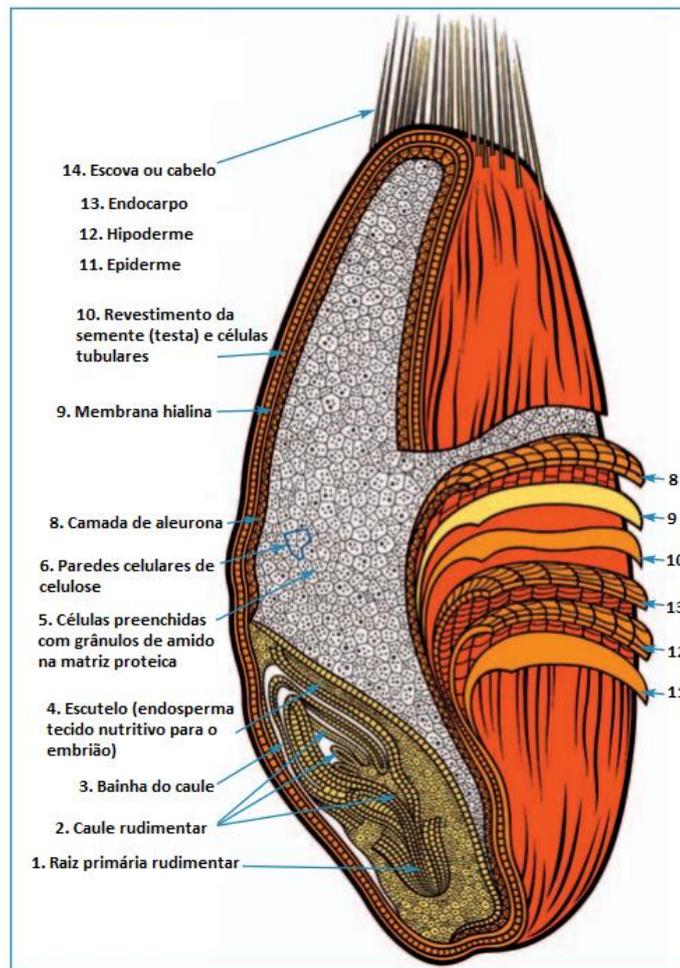
O trigo, como os demais cereais, é uma espécie de gramínea da família *Poaceae*, na qual o "fruto" das plantas é chamado, botanicamente, de cariopse e geralmente é referido como grão (MORRIS, 2016). Os grãos das diferentes variedades de trigo podem ser ovais, elípticos, alongados ou truncados (curtos) (GRUNDAS; WRIGLEY, 2016) e são compostos de farelo (pericarpo + camada de aleurona), endosperma e gérmen (Figura 2) (GWIRTZ; WILLYARD; MCFALL, 2007).

O grão de trigo é constituído principalmente de endosperma amiláceo (74,9 % a 86,5 % do peso do grão), que contém uma matriz proteica (entre 7 % e 15 %), além de vitaminas, minerais e uma gama diversificada de lipídeos. O conteúdo proteico compõe-se de proteínas de armazenamento (gliadinas e gluteninas, que quando misturadas com água formam uma estrutura viscoelástica chamada de glúten), estruturais (albumina e globulina) e metabólicas (amilases). O amido do cereal é composto por amilose e amilopectina, que apresentam proporções variáveis entre si e influenciam na textura de alimentos (MANDARINO, 1994; GWIRTZ; WILLYARD; MCFALL, 2007; SOLAH; FENTON; CROSBIE, 2015).

O gérmen do grão é composto pelo eixo embrionário (formado pela raiz e folhas rudimentares) e pelo escutelo (que funciona como um órgão de armazenamento, digestivo e de absorção), compõe cerca de 2 % a 3 % do peso do grão e é normalmente removido no processo de moagem da farinha branca porque contém lipídios que limitam a qualidade de conservação da farinha (GWIRTZ; WILLYARD; MCFALL, 2007).

Por fim, o farelo (cerca de 17 % do peso do grão) trata-se de diversas camadas distintas que envolvem o endosperma atuando como uma capa protetora, e é representado pelo pericarpo e a aleurona. Botanicamente, a aleurona é a parte mais externa do endosperma, entretanto, do ponto de vista tecnológico, ela faz parte do farelo no processo de moagem (GERMANI, 2008). O farelo é o principal componente fibroso dos grãos, e é relativamente alto em teor de lipídios (GWIRTZ; WILLYARD; MCFALL, 2007; SOLAH; FENTON; CROSBIE, 2015; GRUNDAS; WRIGLEY, 2016).

Figura 2 – Estrutura do grão de trigo.



Fonte: Adaptado de Kansas State University (1960)

3.3.2 Aspectos de qualidade

De acordo com Rossi e Neves (2004) o conceito de qualidade do trigo é relativo e depende dos atributos de interesse para cada setor dos diferentes “elos da cadeia” produtiva. Tratando-se do produtor rural, o trigo de melhor qualidade é aquele que possui boas características agronômicas, como resistência a doenças e pragas, alto potencial de produção e elevado peso do hectolitro. Para os moinhos, a qualidade é avaliada pela uniformidade de tamanho e forma dos grãos, alto peso específico, alto rendimento em farinhas e baixos teores de cinzas. O panificador, por sua vez, busca farinha de boa qualidade, com alta capacidade de absorção de água, boa tolerância ao amassamento, glúten de força média e forte e alto teor de proteína.

Sendo assim, para atender a qualidade exigida em todos os “elos da cadeia”, todos os atributos devem ser considerados a fim de oferecer as características desejadas pelos consumidores (MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009).

3.3.2.1 Fatores inerentes ao grão de trigo

A qualidade do grão de trigo é influenciada pelo resultado da combinação do potencial genético da cultivar e das condições de cultivo, como solo, clima, manejo da cultura, incidência de pragas e doenças, assim como das operações de colheita, secagem, armazenamento e moagem (GUTKOSKI; NETO, 2002; ROSSI; NEVES, 2004; COSTA et al., 2008; SHEWRY, 2009; COSTA, 2013; OLIVEIRA NETO; SANTOS, 2017). Além disso, o trigo como matéria-prima pode ser considerado como responsável pela qualidade da sua farinha (COSTA et al., 2008), que é definida em função dos parâmetros exigidos por cada produto.

No Brasil, os parâmetros de identidade e qualidade do trigo são estabelecidos pela Instrução Normativa nº 38 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. O documento classifica o trigo em grupos (Grupo I: trigo destinado diretamente à alimentação humana e Grupo II: trigo destinado à moagem e a outras finalidades), classes e tipos. O trigo do Grupo I é classificado em tipos (tipo 1, 2, 3 e fora de tipo) de acordo com os limites máximos de tolerância de matérias estranhas, impurezas e de defeitos; e o do Grupo II é classificado em classes (melhorador, pão, doméstico, básico e outros usos) de acordo com dois destes três atributos: a força de glúten, a estabilidade e o número de queda (BRASIL, 2010).

Com isso, o trigo básico é indicado para a fabricação de bolachas, biscoitos, bolos e outros produtos que necessitam de baixa força de glúten. O doméstico é ideal para farinhas vendidas em pacotes de 1 kg e 5 kg, normalmente utilizadas em preparações caseiras que exigem média força de glúten. O trigo pão é recomendado para a fabricação de pães e o melhorador, indicado para mesclas ou fabricação de massas alimentícias, biscoitos tipo crackers e alguns tipos de pães (GUARIENTI et al., 2013).

Nos grãos, a análise da qualidade dá-se por testes físico-químicos como peso do hectolitro, peso de mil grãos, dureza de grãos, umidade, teor de proteínas, cinzas ou resíduo mineral fixo e número de queda (GUTKOSKI; NETO, 2002; MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009).

3.3.2.2 Fatores inerentes à farinha de trigo

A farinha é obtida através de um processo relativamente complexo, denominado moagem do trigo, que pode ser resumido em duas etapas. A primeira, consiste em separar do endosperma o farelo e o gérmen. A segunda, compreende a moagem das partículas do endosperma para produção da farinha, composta de partículas com granulometria ainda mais reduzidas (MANDARINO, 1994).

A qualidade da farinha de trigo está relacionada com a sua capacidade de produzir uniformemente um produto final atrativo com um custo competitivo, após condições impostas pelas unidades manufadoras do produto final. Além disso, ela depende diretamente do tipo de trigo do qual ela é proveniente, do processo de moagem ao qual os grãos de trigo foram submetidos, e varia de acordo com os usos distintos nos produtos (PEREIRA, 2006).

Em geral, a farinha de trigo é composta de amido (70 % a 75 %), água (12 % a 14 %), proteínas (8 % a 16 %) e constituintes menores, como fibras (2 % a 3 %), lipídios (2 %) e minerais (1 %). A composição química do grão de trigo afeta as características funcionais tecnológicas e, juntamente com as propriedades estruturais, definem a qualidade da farinha (SCHEUER et al., 2011).

Dentre os parâmetros de qualidade da farinha de trigo, destaca-se a quantidade e a qualidade da proteína, o teor da enzima alfa-amilase e o conteúdo de amido danificado, sendo que a qualidade da proteína é medida em termos das propriedades de mistura e de extensão da massa (GERMANI, 2008), através de análises reológicas como farinografia, alveografia, análise de glúten e *falling number* (número de queda). Estas proteínas que formam o glúten (gliadinas e gluteninas), definidas como proteínas de reserva são as principais responsáveis pela funcionalidade do trigo, já que definem as propriedades viscoelásticas da massa e exercem papel fundamental na panificação, permitindo que a massa seja processada em pão, macarrão, bolo, biscoito e outros produtos alimentícios. (SCHEUER et al., 2011).

De modo geral, a força da farinha tem sido sinônimo de sua qualidade (PEREIRA, 2006), entretanto, como pode ser observado na Tabela 1, a farinha considerada ideal para a produção de pão não terá as mesmas características daquela necessária à produção de biscoitos. O fato de uma farinha ser considerada "forte" ou "fraca" não significa que uma seja melhor que a outra, mas que ambas devem ser utilizadas em processos que necessitem daquelas características específicas que cada uma apresenta (GERMANI, 2008).

Contudo, nota-se que farinhas provenientes de trigos com alto teor de proteína apresentam boa qualidade para a produção de pães e, por sua vez, as farinhas provenientes de

trigos com baixo teor proteico apresentam boa qualidade para a produção de biscoitos e bolos (PEREIRA, 2006). Sendo assim, cada tipo de produto requer farinha com características tecnológicas específicas para a sua elaboração (MONTENEGRO; ORMENESE, 2008) e o estudo desses parâmetros tecnológicos é de extrema importância para a indústria de panificação caracterizar o comportamento do trigo antes da elaboração dos produtos (SCHEUER et al., 2011).

Tabela 1 - Requisitos de qualidade da farinha de trigo para pão francês, biscoitos e bolos e pastas alimentícias¹.

	Pão francês ²	Biscoitos e bolos	Pastas alimentícias
Tipos de trigo	Pão	Brando	Melhorador
QUANTIDADE DE PROTEÍNA (%)	12,0-15,5	7,5-9,5	> 12,0
QUALIDADE DE PROTEÍNA			
Absorção de água (%)	63-68	48-52	-
Tempo de desenvolvimento (min)	7-9	1-3	3
Estabilidade (min)	> 9	1-3	alta
Relação P/L (mmH ₂ O/mm)	0,6-2,0	0,3-1,0	> 2
Força do Glúten – W (x10 ⁻⁴ J)	180-300	< 180	200-400
Extensibilidade (mm)	Média-alta	Baixa	Baixa
Resistência à extensão (U. E.)	Alta	Baixa	Alta
CONTEÚDO DE ALFA-AMILASE			
Amilografia (U. A.)	400-600	700-800	300-700
<i>Falling number</i> (s)	250-280	300-350	200-300
AMIDO DANIFICADO (%)	7-8,5	< 4	< 4

Fonte: Adaptado de Germani (2008).

(1) Farinha com 14% de umidade.

(2) Feito pelo método convencional.

3.3.2.3 Fatores inerentes aos produtos de panificação

A legislação brasileira, por meio da RDC n° 263 de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), aprova o Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos, na qual define, entre outros, produtos de cereais, massas alimentícias, pão, biscoitos ou bolachas e cereais processados. De acordo com a resolução, as massas alimentícias são obtidas da farinha de trigo e ou derivados de trigo durum e ou derivados de outros cereais, leguminosas, raízes e ou tubérculos, resultantes do processo de empasto e amassamento mecânico, sem fermentação. Os pães, no entanto, tratam-se de produtos obtidos da farinha de trigo e ou outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes do processo de

fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes e apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos. Já os biscoitos ou bolachas são os produtos obtidos pela mistura de farinha(s), amido(s) e ou fécula(s) com outros ingredientes, submetidos a processos de amassamento e cocção, fermentados ou não. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (BRASIL, 2005).

Segundo Wrigley (2015) a panificação pode envolver uma simples combinação de farinha, água, sal e fermento, com a massa misturada sendo deixada para ação de levedura para produzir bolhas de dióxido de carbono antes do cozimento. Entretanto, durante todas estas etapas da panificação ocorrem complexas transformações químicas, bioquímicas e físicas, que afetam e são afetadas pelos vários constituintes da farinha (GOESAERT et al., 2005).

Cada tipo de produto de panificação exige uma formulação específica para alcançar o padrão de qualidade desejado, sendo que o pão é constituído basicamente de farinha, água, fermento e sal, podendo utilizar também outros ingredientes como açúcar, gordura e leite. Além disso, para melhorar a qualidade do pão em seus aspectos nutritivo, de sabor e aroma, volume, cor, maciez ou vida de prateleira, são empregados aditivos e/ou coadjuvantes (GERMANI, 2008).

Quanto à função dos ingredientes do pão, de acordo com Germani (2008), a água é importante para a hidratação das proteínas e o desenvolvimento do glúten; para hidratação e gelatinização do amido; para a interação entre os ingredientes; e para transportar nutrientes para o crescimento do fermento. A levedura (*Saccharomyces cerevisiae*), por sua vez, usando o seu sistema enzimático, consome os açúcares da massa transformando-os em dióxido de carbono (CO₂) e álcool (etanol). A produção de gás faz com que a massa seja expandida e se torne mais leve e aerada. Já o sal (NaCl) é utilizado em panificação com objetivo de contribuir para o sabor, diminuir a taxa de fermentação quando desejado e fortalecer a rede de glúten.

O fortalecimento da rede de glúten é importante uma vez que apresenta as propriedades viscosas e elásticas essenciais para a qualidade dos produtos. Essas propriedades permitem ao glúten formar uma membrana contínua, que pode reter os gases produzidos nas massas fermentadas. A retenção destes gases diminui grandemente a densidade das massas e, após a cozedura, esta estrutura leve e arejada é fixada. Um modelo simples descreve uma "espuma" de massa transformada em uma "esponja" (MORRIS, 2016).

Da mesma forma, além dos ingredientes, a qualidade dos produtos finais também pode ser influenciada pelas etapas de processamento como a mistura, a fermentação e a cocção (GERMANI, 2008; SCHEUER et al., 2011).

3.4 Tortilha de trigo

Os pães achatados, que possuem forma e estrutura características, feitos de massa semelhante a um pão comum, podem ser fermentados ou não. Estes produtos tendem a ser assados no forno ou em superfícies muito quentes, geralmente por poucos minutos em temperatura muito alta (CAUVAIN; YOUNG, 2006). Devido à geometria e estrutura, *chapati*, *roti*, *pita*, *barabri*, crosta de pizza, *muffins* ingleses, *crumpets*, *pretzels* e tortilhas são considerados pães achatados e são amplamente consumidos em todo o mundo, especialmente no Oriente Médio, Norte da África, Índia, Turquia, América Central e América do Sul (MORRIS, 2016; SOLAH; FENTON; CROSBIE, 2015), regiões que comumente são alvos prioritários dos programas de biofortificação do HarvestPlus.

Segundo Morris (2016), as tortillas são pães achatados tradicionalmente feitos de farinha de trigo ou milho, e são de origem indígena do México, América Central e sudoeste dos Estados Unidos.

Tecnologicamente, as características da farinha de trigo são essenciais para determinar a qualidade da tortilha produzida. Deve-se levar em consideração o seu conteúdo de proteína, os parâmetros farinográficos, os danos do amido, a cor e a distribuição do tamanho das partículas, sendo que esses critérios variam em função do processo de fabricação utilizado, o tipo de tratamento térmico e da matéria-prima (farinha de trigo branca ou integral) (ROONEY; SERNA-SALDIVAR, 2015).

Ainda segundo Rooney e Serna-Saldivar (2015), as tortilhas de farinha de trigo possuem farinha, água, gordura e sal como ingredientes básicos, sendo que outros ingredientes podem ser adicionados de acordo com as características que se deseja obter no produto final. Além disso, as tortilhas são normalmente usadas como substitutos do pão e ambos possuem atributos nutricionais semelhantes.

Desta forma, o fato de a tortilha de trigo ser um produto simples, elaborado com poucos ingredientes, ter características nutricionais e de consumo semelhantes ao pão de mesa e ser amplamente consumida em várias regiões do mundo junto com outros pães achatados, faz dela um produto de potencial relevante para o aumento da ingestão de zinco através de cultivares de trigo biofortificadas.

4 CONCLUSÃO

A biofortificação agronômica de micronutrientes aplicada em cultivos populares, especificamente do zinco no trigo, tem-se apresentado como uma alternativa viável e importante para aumentar a ingestão de vitaminas e minerais por parte de pessoas que vivem em regiões sem acesso à diversidade de alimentos e conseqüentemente às fontes nutricionais variáveis. Neste contexto, o consumo de alimentos biofortificados proporciona a redução da fome oculta, caracterizada pela deficiência de micronutrientes no organismo dos indivíduos em situação de vulnerabilidade.

Por conseguinte, considerando o amplo consumo mundial de trigo, a biofortificação deste cultivo converte os seus derivados em ferramentas essenciais no combate à fome oculta. Contudo, faz-se importante avaliar as características nutricionais e tecnológicas das farinhas de trigo e dos produtos provenientes da mesma.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO TRIGO. **História do Trigo**. 2018. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/conhecimento/historia-do-trigo/>>. Acesso em: 30 fev. 2018.
- ACKLAND, M. L.; MICHALCZYK, A. A. Zinc and infant nutrition. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 611, p. 51–57, dez. 2016.
- BARTABURU, X. **Do grão ao pão - farinha de trigo: história da moagem no Brasil**. São Paulo: Editora Origem, 2016. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br/cloud/Livro_ABITRIGO.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2019.
- BOUIS, H. E. et al. Biofortification: A new tool to reduce micronutrient malnutrition. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 32, n. 1, p. 31–40, 2011.
- BRASIL. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 set. 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. Regulamento Técnico do Trigo. **Diário Oficial União**, Brasília, 01 dez. 2010.
- CAFÉ, S. L. et al. **Cadeia produtiva do trigo**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 18, p. 193–219, set. 2003.
- CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, v. 302, n. 1–2, p. 1–17, 2008.
- CAKMAK, I. et al. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 16, p. 9092–9102, 2010.
- CAKMAK, I. HarvestPlus Zinc Fertilizer Project: HarvestZinc. **Better Crops**, v. 96, n. 2, p. 17–19, 2012.
- CAKMAK, I.; KUTMAN, U. B. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. **European Journal of Soil Science**, v. 69, n. 1, p. 172–180, jan. 2018.
- CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. Baked products: Science, technology and practice. **Blackwell, UK**, v. 132, n. 1, p. 78-91, 2006.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Análise mensal - Trigo**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo>>. Acesso em: 21 out. 2020.
- COSTA, M. G. et al. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 220–225, 2008.
- COSTA, M.S. **Avaliação da qualidade industrial de linhagens de trigo por meio de métodos físico-químicos, reológicos e de panificação**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/88423>>. Acesso em: 23 nov. 2018.
- DE VALENÇA, A. W. et al. Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in

sub-Saharan Africa. **Global Food Security**, v. 12, p. 8–14, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Rede BioFORT**. 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/biofort>>. Acesso em: 22 out. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Second international conference on nutrition**. Rome: FAO, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets: June 2020**. Rome, 2020.

GERMANI, R. Características dos grãos e farinhas de trigo e avaliações de suas qualidades. **Embrapa Agroindústria de Alimentos**, Rio de Janeiro. 56p, 2008.

GOESAERT, H. et al. Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v. 16, n. 1–3, p. 12–30, 2005.

GREGORY, P. J. et al. Approaches to reduce zinc and iron deficits in food systems. **Global Food Security**, v. 15, p. 1–10, 2017.

GRUNDAS, S.; WRIGLEY, C. W. Ultrastructure of the Wheat Grain, Flour, and Dough. *In*: WRIGLEY, C. W. et al. **Encyclopedia of Food Grains**. v. 3, p. 284-295, 2. ed., Oxford: Ed. Elsevier, 2016.

GUARIENTI, E. M. et al. Quality wheat: technological aspects and health. **Informe Agropecuario**, v. 34, n. 274, p. 72-82, 2013.

GUTKOSKI, L. C.; NETO, R. J. Procedimento para teste laboratorial de panificação: pão tipo forma. **Ciência Rural**, v. 32, n. 5, p. 873–879, 2002.

GWIRTZ, J. A.; WILLYARD, M. R.; MCFALL, K. L. Wheat: More than just a Plant. *In*: POPPER, L.; SCHÄFER, W.; FREUND, W. **Future of flour: a compendium of flour improvement**. Bergen: Ed. Agrimedia, 2006.

HARVESTZINC. **The 4th Phase of the Project Started**. 2018. Disponível em: <http://www.harvestzinc.org/harvestzinc-fertilizer-project/harvestzinc-fertilizer-project>. Acesso em: 28 mar. 2018.

HESS, S. Y. et al. Recent advances in knowledge of zinc nutrition and human health. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 30, n. 1, p. S5–S11, 2009.

HUNT, J. R. Bioavailability of iron, zinc, and other trace minerals from vegetarian diets. **The American journal of clinical nutrition**, v. 78, n. 3, p. 633S-639S, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola**. Setembro, 2020.

Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2020_set.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: Análise do Consumo Alimentar Pessoal no Brasil**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv50063.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

- SALTZMAN, A. **2014 Global Hunger Index: The challenge of hidden hunger**. Washington: Ed. International Food Policy Research Institute, 2014.
- INOCENCIO, M. F. **Frações de zinco no solo e Biofortificação Agronômica com selênio , ferro e zinco em soja e trigo**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- KENNEDY, G.; NANTEL, G.; SHETTY, P. The scourge of “hidden hunger”: global dimensions of micronutrient deficiencies. **Food Nutrition and Agriculture**, v. 32, p. 8–16, 2003.
- KHAN, M. K. et al. Wheat biofortification - A potential key to human malnutrition. **Journal of Elementology**, v. 22, n. 3, p. 937–944, 2017.
- KING, J. C. et al. Biomarkers of Nutrition for Development (BOND)—Vitamin A Review. **The Journal of Nutrition**, v. 146, n. 9, p. 1816S-1848S, 2016.
- KUTMAN, U. B. et al. Biofortification of durum wheat with zinc through soil and foliar applications of nitrogen. **Cereal Chemistry**, v. 87, n. 1, p. 1–9, 2010.
- LIN, P. H. et al. Zinc in wound healing modulation. **Nutrients**, v. 10, n. 1, p. 1–20, 2018.
- MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. Importância do zinco na nutrição humana. **Revista de Nutricao**, v. 17, n. 1, p. 79–87, 2004.
- MANDARINO, J. M. G. Componentes do trigo: características físico-químicas, funcionais e tecnológicas. Londrina, PR: **Embrapa Soja - Documentos (INFOTECA-E)**, 1994.
- MÓDENES, N. A.; SILVA, A. M.; TRIGUEROS, D. E. G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 29, n. 3, p. 508–512, 2009.
- MONTENEGRO, F. M.; ORMENESE, R. C. S. C. **Avaliação da qualidade tecnológica da farinha de trigo**. Campinas: Cereal Chocotec ITAL, 2008.
- MORRIS, C. F. Grain-based products and their processing: wheat-based foods. *In*: WRIGLEY, C. W. et al. **Encyclopedia of Food Grains**. v. 3, p. 1-7, 2. ed., Oxford: Ed. Elsevier, 2016.
- MUTHAYYA, S. et al. The Global Hidden Hunger Indices and Maps: An Advocacy Tool for Action. **PLoS ONE**, v. 8, n. 6, p. 1–12, 2013.
- OLIVEIRA NETO, A. A.; SANTOS, C. M. R. **A cultura do Trigo**. Brasília-DF: CONAB, 2017, 218 p.
- NGO, J.; SERRA-MAJEM, L. Hunger and Malnutrition. *In*: FERRANTI, E. M.; Anderson, J. R. **Encyclopedia of Food Security and Sustainability**, p. 315-335. Oxford: Ed. Elsevier, 2018.
- PEREIRA, J. Tecnologia e qualidade de cereais: arroz, trigo, milho e aveia. **Curso de especialização em Tecnologia e qualidade de alimentos vegetais**. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 2006.
- PERES, P. M.; KOURY, J. C. Zinco , Imunidade , Nutrição e Exercício Zinc , Immunity , Nutrition and Exercise. **Ceres: Nutrição & Saúde**, v. 1, n. 1, p. 9–18, 2006.
- REHMAN, A. et al. Zinc nutrition in wheat-based cropping systems. **Plant and Soil**, v. 422, n. 1–2, p. 283–315, 2018.

- ROONEY, L. W.; SERNA-SALDIVAR, S. O. **Tortillas: Wheat Flour and Corn Products**. St. Paul: Ed. AACCC International, 2015. 289p.
- ROSSI, R. M.; NEVES, M. F. **Estratégias para o trigo no Brasil**. São Paulo, 2004.
- RUEL-BERGERON, J. C. et al. Global update and trends of hidden hunger, 1995-2011: The hidden hunger Index. **PLoS ONE**, v. 10, n. 12, p. 1–13, 2015.
- SAHA, S. et al. Can agronomic biofortification of zinc be benign for iron in cereals? **Journal of Cereal Science**, v. 65, p. 186–191, 2015.
- SALTZMAN, A. et al. Biofortification: Progress toward a more nourishing future. **Global Food Security**, v. 2, n. 1, p. 9–17, 2013.
- SANNA, A. et al. Zinc status and autoimmunity: A systematic review and meta-analysis. **Nutrients**. v. 10, n. 1, p. 1-17, 2018.
- SCHEUER, P. M. et al. Trigo: Características E Utilização Na Panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 2, p. 211–222, 2011.
- SHETTY, P. Addressing micronutrient malnutrition to achieve nutrition security. *In*: THOMPSON, B.; AMOROSO, L. **Combating micronutrient deficiencies: Food-based approaches**, p. 28-40. Rome: FAO and Wallingford, UK, 2011.
- SHEWRY, P. R. Wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 6, p. 1537–1553, 2009.
- SOLAH, V. A.; FENTON, H. K.; CROSBIE, G. B. Wheat: Grain Structure of Wheat and Wheat-based Products. 1. ed. *In*: CABALLERO, B.; FINGLAS, P.; TOLDRÁ, F. **Encyclopedia of food and health**. 2015. p. 470-477.
- VELU, G. et al. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 59, n. 3, p. 365–372, 2014.
- VERGÜTZ, L. et al. Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. **Boletim Informativo da SBCS**, v. 42, n. 2, p. 20-23, 2016.
- WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, v. 182, n. 1, p. 49–84, abr. 2009.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Vitamin and mineral requirements in human nutrition**. 2 ed. Geneva: World Health Organization, 2004.
- WRIGLEY, C. W. Wheat: An Overview of the Grain That Provides “Our Daily Bread”. *In*: WRIGLEY, C. W. et al. **Encyclopedia of Food Grains**. v. 1, p. 105-116, 2. ed., Oxford: Ed. Elsevier, 2016.
- ZHAO, A. qing et al. Comparison of soil and foliar zinc application for enhancing grain zinc content of wheat when grown on potentially zinc-deficient calcareous soils. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 10, p. 2016–2022, 2014.
- ZOU, C. Q. et al. Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries. **Plant and Soil**, v. 361, n. 1–2, p. 119–130, 2012.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

Normas da NBR 6022 (ABNT, 2018).

**TRIGO BIOFORTIFICADO COM ZINCO: CARACTERIZAÇÃO
TECNOLÓGICA DE CULTIVARES****RESUMO**

A deficiência de micronutrientes, como o zinco (Zn), é uma doença silenciosa que afeta globalmente as populações, principalmente pessoas que vivem em países em desenvolvimento e normalmente é causada por dietas com pouca variedade de alimentos, seja pela falta de acesso ou pelo consumo excessivo de industrializados e alimentos pobres nutricionalmente. O presente trabalho teve como objetivo quantificar o teor de Zn em cultivares de trigo biofortificadas, nas suas farinhas, farelos e tortilha de trigo, além de classificar os grãos de acordo com a legislação vigente. As cultivares BRS 264, BRS 394 e BRS 404 da EMBRAPA e MGS 1 Aliança e MGS Brilhante da EPAMIG foram obtidas nos tratamentos controle, biofortificação com Zn via solo e via foliar, sendo moídas para obtenção das farinhas de trigo. O rendimento de moagem, a caracterização físico-química (umidade, proteínas, cinzas, granulometria, acidez graxa e cor), a porcentagem de glúten, o número de queda e as propriedades de reologia e farinografia das farinhas de trigo foram determinadas. Os grãos foram classificados e tortilhas de trigo foram elaboradas e caracterizadas quanto a parâmetros físico-químicos. Os grãos, farelos, farinhas e tortilhas de trigo tiveram a concentração de Zn determinada. Os resultados indicaram maior conteúdo de Zn nos grãos e farelos da cultivar BRS 264 e nas farinhas da BRS 394 e a biofortificação não influencia os atributos tecnológicos estudados. A cultivar BRS 264 é classificada como trigo doméstico, MGS 1 Aliança e MGS Brilhante são classificadas como trigo pão, enquanto que BRS 394 e BRS 404 são consideradas trigos melhoradores. As tortilhas de trigo não apresentam diferença no teor de Zn entre as amostras controles e biofortificadas, apesar da concentração do mineral ter sido consideravelmente maior que o convencional. Contudo, o trigo mostra-se como cereal importante no estudo da biofortificação como alternativa para aumentar a ingestão de Zn, porém mais estudos são necessários para que as melhores estratégias sejam estabelecidas no combate à deficiência de micronutrientes.

Palavras-chave: Biofortificação agrônômica. Farinha de trigo. Qualidade nutricional. Reologia. Segurança alimentar.

1 INTRODUÇÃO

O zinco é um micronutriente essencial que possui funções catalíticas, regulatórias e estruturais importantes no organismo (FREDERICKSON et al., 2000; MACDONALD, 2000; HAASE; RINK, 2014). O mineral interage com diversas enzimas do corpo humano e estima-se que cerca de 3,000 proteínas são dependentes de zinco (KREŽEL; MARET, 2016; CAKMAK; KUTMAN, 2018). Por conseguinte, a deficiência do mineral está associada a patologias como lesões na pele, retardo do crescimento físico, comprometimento da função imunológica, comprometimento da função reprodutiva e do desenvolvimento neurocomportamental (KING et al., 2016; LIN et al., 2018).

Segundo a OMS, dois bilhões de pessoas são afetadas pela deficiência de micronutrientes como vitamina A, ferro, iodo e zinco (FAO; WHO, 2014). O problema é prevalente em países em desenvolvimento, especialmente em áreas onde não é possível manter uma dieta diversificada, com quantidades adequadas de frutas, vegetais e alimentos de origem animal (KENNEDY; NANTEL; SHETTY, 2003). Nestas regiões, as dietas são baseadas em culturas básicas de arroz, milho e trigo, e o aumento do fornecimento de micronutrientes na alimentação humana através do consumo de culturas biofortificadas apresenta-se como uma solução sustentável para o problema (KHAN et al., 2017).

O trigo é uma das principais culturas alimentares, que constitui parte significativa da dieta da maioria da população mundial (SHEWRY, 2009) e que obteve em 2019/20 uma produção estimada de 762 milhões de toneladas (FAO, 2020). Em paralelo, entre os cereais estudados na biofortificação agrônômica, o trigo tem se mostrado o mais promissor para o aumento da concentração zinco no grão por meio de aplicação foliar, quando comparado com arroz e milho (CAKMAK, 2012), o que demonstra o potencial do cereal no aumento da ingestão diária de zinco.

Entretanto, sabendo que as características funcionais e tecnológicas da farinha são afetadas pela composição química do grão de trigo (SCHEUER et al., 2011), faz-se necessário verificar se o aumento de minerais no grão de trigo afeta as propriedades estruturais da farinha de trigo e conseqüentemente a sua qualidade.

Os estudos a respeito da biofortificação de cereais com mineiras, em especial a do trigo com zinco, vem crescendo de forma expressiva na literatura (WHITE; BROADLEY, 2009; WATERS; SANKARAN, 2011; ZHANG et al., 2012; VELU et al., 2014). Ainda assim, o alimento derivado do cereal, na forma como de fato é consumido, ainda é pouco explorado e justifica a execução do presente trabalho. Desta forma, o objetivo deste estudo foi quantificar o

teor de zinco em grãos de trigos e seus derivados de diferentes cultivares biofortificadas agronomicamente. Além disso, avaliar o efeito da biofortificação nas características tecnológicas das farinhas de trigo e classificá-las de acordo com os parâmetros da legislação brasileira vigente, bem como elaborar e caracterizar tortilha de trigo biofortificados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

As amostras de grãos de trigo foram cedidas pela EPAMIG Sul (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), sendo que o local do plantio foi a Universidade Federal de Lavras, na cidade de Lavras – MG, Brasil (21° 14' 45" Sul, 44° 59' 59" Oeste), durante o mês de maio de 2018, com colheita em setembro do mesmo ano. Realizou-se o plantio de cinco cultivares de trigo (BRS 264, BRS 394, BRS 404, MGS 1 Aliança e MGS Brilhante) em três tratamentos (controle – sem aplicação de Zn, aplicação de Zn no plantio via solo e aplicação de Zn foliar). O ensaio foi irrigado e plantaram-se 250 sementes de trigo por m² em 5 linhas de cinco metros cada.

No tratamento com Zn via solo utilizou-se 50 kg.ha⁻¹ de sulfato de zinco hidratado (ZnSO₄.H₂O) no momento do plantio. Já a aplicação foliar aconteceu no período de espigamento e no período de enchimento dos grãos, pulverizando 0,5% de ZnSO₄.H₂O em 800 ml de água, equivalente a 4 kg.ha⁻¹.

O cultivo do trigo foi realizado em Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), sendo avaliados cinco cultivares, com três tratamentos em três blocos, totalizando 45 parcelas (5x3x3).

As análises das amostras foram conduzidas no Laboratório de Grão, Raízes e Tubérculos do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), unidade Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro – RJ.

2.2 Delineamento experimental

Para determinar a influência dos tipos de biofortificação na qualidade da farinha de trigo, bem como no teor de minerais dos grãos, farinha e tortilha de trigo, as análises laboratoriais

foram conduzidas em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial 5x3 com três repetições cada, totalizando 45 parcelas.

2.3 Análise de minerais

2.3.1 Teor de Zn

Os teores de Zn foram determinados no grão, na farinha, no farelo e na tortilha de trigo por meio de análise de espectrofotometria de absorção atômica com chama (Varian, SpectrAA Atomic Absorption Spectrometer) antecedida de digestão úmida nitro-perclórica (VETTORI, 1969).

2.4 Grãos de Trigo

2.4.1 Peso hectolitro

O peso hectolitro (PH) foi obtido através da determinação da massa de 1 L de grãos, com teor de água dos grãos corrigidos para 13 % base úmida (BU), determinado em balança (BL3200H, Shimadzu, Brasil), multiplicado por 100 (BRASIL, 1992).

2.4.2 Moagem dos grãos

Antes de serem moídas, as amostras passaram por uma limpeza com auxílio de peneiras e sob fluxo de ar ajustado utilizando equipamento Sintel (Sintel n° 663, Intecnial, Brasil). Em seguida, os grãos foram acondicionados em bombonas com capacidade para 10 litros, com adição de água destilada para efetuar o ajuste de umidade dos grãos para 15 %. As amostras foram homogeneizadas por 30 minutos em homogeneizador (MRL10L, Chopin, França) e estiveram em descanso por 18 horas. A moagem foi conduzida em moinho experimental (Brabender Quadrumat Senior, Brabender, Alemanha) e as farinhas permaneceram em descanso por sete dias antes do início das análises.

2.4.3 Rendimento da moagem

O rendimento de moagem ou extração foi calculado considerando a quantidade total de farinha obtida em relação a quantidade total de produtos obtidos no processo (farinha de quebra,

farinha de redução, farelo e farelinho) multiplicado por cem. As porcentagens de farinha de quebra, farinha de redução e farelo produzidos também foram determinadas.

2.5 Farinhas de trigo

2.5.1 Análises físico-químicas

A umidade das amostras de farinha de trigo foi determinada por método rápido utilizando analisador de umidade por infravermelho (MOC-120H, Shimadzu, Brasil). A porcentagem de proteína foi determinada pelo método micro-Kjeldahl, utilizando 5,7 como fator de conversão (AOAC, 2000). A matéria mineral foi determinada com base na perda de peso da amostra, após ser submetida à calcinação em mufla (Mufla, FornusMagnu's, Brasil) a 550 °C (AACC, 2000). Para determinação da acidez graxa, a gordura das farinhas foi extraída a frio sob agitação durante quatro minutos utilizando o solvente tolueno, sendo que o conteúdo filtrado em seguida foi submetido a titulação com solução de hidróxido de potássio (KOH) 0,0356 N utilizando solução de fenolftaleína 0,04 % como indicadora (AACC, 2000). A granulometria das farinhas foi determinada pesando 100 g de amostra, peneirando o conteúdo com auxílio de peneira de abertura 60 Mesh (equivalente a 250 µm) por um minuto, conforme orientado pela Instrução de Trabalho IT POV 299 (MAPA, 2013). O resultado foi obtido em porcentagem calculada através da fração de farinha retida no peneiramento.

2.5.2 Glúten index e úmido

Para determinação da porcentagem de glúten as amostras foram submetidas à análise pelo Sistema Glutomatic (Glutomatic Sistem, Perten Instruments, Suécia), no qual passaram por lavagem, extração, centrifugação e secagem do glúten. O glúten úmido (GU) foi calculado com base em uma umidade da farinha de 14 %. O glúten index (GI) foi calculado com base no peso do glúten retido em relação ao glúten úmido, multiplicado por 100 (AACC, 2000).

2.5.3 *Falling number*

O *falling number* ou número de queda foi obtido diretamente após análise em equipamento específico (Falling number, Pertern Instruments, Suécia), sob temperatura constante de 100 °C e o resultado foi expresso em segundos (AACC, 2000).

2.5.4 Alveografia

Para análise reológica de alveografia da farinha foi utilizado o alveógrafo Chopin (Alveógrafo NG, modelo MA82, Chopin, França). Obteve-se parâmetros referentes à tenacidade (P), que mede pressão máxima exercida durante a expansão da massa (mm); extensibilidade (L), que mede o comprimento da curva (mm) e energia de deformação da massa (W), que representa o trabalho mecânico necessário para expandir a massa até a ruptura (10^{-4} J) (AACC, 2000).

2.5.5 Farinografia

O farinógrafo (Farinógrafo Brabender, Brabender, Alemanha) é o equipamento utilizado para medir os parâmetros farinográficos. Durante a mistura da massa, a resistência oferecida durante o processo ao longo do tempo sob velocidade e temperatura constantes foi medida e registrada. Primeiramente obtém-se a curva de titulação que determina a capacidade de absorção de água da farinha (%) e em seguida, a curva de resistência resultante, plotada em Unidades Brabender (UB) por tempo (em minutos) possibilitou obter os parâmetros de tempo de desenvolvimento da massa (min), estabilidade (min), tempo de chegada (min), tempo de queda (min), tempo de saída (min), 20 minutos de queda em unidades farinográficas (UF) e índice de tolerância à mistura (ITM) (UF) (AACC, 2000).

2.5.6 Classificação das farinhas

A partir dos dados obtidos com as análises físico-químicas e reológicas, as cultivares de trigo foram classificadas em “melhorador”, “pão”, “doméstico”, “básico” ou “outros usos”, de acordo com o Anexo III da Instrução Normativa nº38 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2010).

2.6 Tortilha de trigo

Para a produção das tortilhas foram utilizadas farinhas de trigo das cultivares BRS 404 e MGS 1 Aliança dos tratamentos controle (Sem Zn) e Zn Foliar, visto que foram as cultivares e o tratamento que apresentaram maior aumento no teor de Zn. A elaboração das tortilhas seguiu método descrito por Martínez-Bustos et al. (1999) com modificações.

Os ingredientes utilizados na massa foram farinha de trigo, água (50 %), gordura vegetal (12 %), sal (2 %) e fermento em pó (1 %), todos com base no peso da farinha. Os ingredientes secos (farinha, sal e fermento em pó) foram misturados em velocidade lenta com uma pá por dois minutos em batedeira planetária (Arno Daily SX88, Arno, Brasil). A gordura foi adicionada e misturada por mais oito minutos e em seguida adicionou-se água morna (50 °C), misturando tudo por um minuto em velocidade baixa e depois por mais seis minutos em velocidade média. Posteriormente a massa foi dividida em pedaços esféricos de 25 g e repousada por 30 minutos em câmara com temperatura e umidade relativa controladas (30 °C a 36 °C e 65 % a 75 % UR) (Klimaquip, CFCK-20, Brasil). As massas foram enroladas à mão com auxílio de um rolo de massa caseiro, repousadas em temperatura aproximada de 28 °C a 30 °C e por fim assadas em chapa quente (~220 °C) por cerca de 60 segundos cada lado. As tortilhas foram resfriadas e acondicionadas em sacos plásticos por 24 horas até o momento das análises.

2.6.1 Análises das tortilhas

As análises foram realizadas conforme descrito por Liu et al., (2017) com modificações. A umidade das amostras de tortilha de trigo foi determinada por método rápido utilizando analisador de umidade por infravermelho (MOC-120H, Shimadzu, Brasil). A análise de cor foi realizada com base na determinação dos parâmetros L* (claridade), a* e b*, utilizando o sensor de cor Nix Pro Color Sensor (Nix Sensor Ltd., Ontario, Canadá).

O peso (balança analítica BLH3200H, Shimadzu, Brasil), o diâmetro (régua) e a espessura da tortilha (paquímetro digital 200MM-8”, Marberg, China) foram medidos e calculados como a média de dez tortilhas selecionadas aleatoriamente. O volume específico ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$) foi calculado a partir dos dados obtidos anteriormente pela fórmula:

$$Vol\ esp = \frac{\pi r^2 * esp}{peso}, \text{ sendo que } r = \text{raio da tortilha } \left(\frac{\text{diâmetro}}{2}\right) \text{ (cm); } esp = \text{espessura da}$$

tortilha (cm) e peso = peso da tortilha (g).

Durante a análise de textura em texturômetro (Stable Micro Systems, Modelo TA-XT2i, Goldaming, Surrey, Inglaterra) determinou-se a dureza e extensibilidade das tortilhas através da força (N) e a distância (mm) de ruptura, utilizando uma probe de 5 mm de diâmetro, em velocidade de teste de 1 mm s^{-1} , com distância de penetração de 15 mm e “força de gatilho” de 0,05 N.

2.7 Análise estatística

As médias dos minerais, umidade, cinzas, proteína, acidez graxa, granulometria, cor, *Falling number* (número de queda), alveografia e glúten foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) e em seguida a um teste de média (Tukey) com nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$). As análises de farinografia foram realizada uma única vez para cada amostra de farinha, pois não haviam amostras de farinhas de trigo suficientes para a repetição e, portanto, não possuem análise estatística. Todas as análises estatísticas foram realizadas no pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

Além disso, os resultados das análises físico-química das farinhas obtidas dos grãos de trigo fortificados foram autoescalados e em seguida analisados por análise de componentes principais (PCA) e análise de agrupamento hierárquico (HCA). O software Chemoface (versão 1.61, Brasil) foi utilizado para realizar estas análises (NUNES et al., 2012) e as figuras foram tratadas usando o software Inkscape (versão 0.92.4, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Quantificação de zinco

Para a quantificação do teor de Zn, descrita na Tabela 2, constatou-se que não houve diferença significativa entre a interação das cultivares estudadas com os tipos de biofortificações aplicadas ($p > 0,05$). Desta forma, comparando os grãos das diferentes cultivares, nota-se que são estatisticamente iguais em relação à quantidade de zinco, assim como acontece com suas respectivas farinhas. Ou seja, o teor de zinco nos grãos e nas farinhas de trigo não foi influenciado pelo tipo de cultivar utilizada no plantio, independente da biofortificação aplicada.

Todavia, a concentração do mineral no grão de trigo variou entre 55 mg kg⁻¹ (MGS Brilhante) a 73 mg kg⁻¹ (BRS 264), valores maiores do que as médias encontradas em outros estudos sobre teor de zinco em grãos de trigo. Monasterio e Graham (2000) estudaram mais de 3.000 linhagens de trigo do banco de genes do CIMMYT (*Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo*) quanto ao teor de ferro e zinco dos grãos. Em um subconjunto dessas linhagens cultivados sob condições controladas, eles identificaram uma média no teor do zinco de 35 mg kg⁻¹, variando de 25 mg kg⁻¹ a 65 mg kg⁻¹.

Tabela 2 – Valores médios¹ de teor de zinco por cultivar e por tipo de biofortificação dos grãos, farinhas e farelos de trigo.

Cultivar	Zinco (mg kg ⁻¹)			Biofortificação	Zinco (mg kg ⁻¹)		
	Grãos	Farinha	Farelo		Grãos	Farinha	Farelo
BRS 264	73,93a	16,35a	163,55a	Sem Zn	62,72a	19,42a	129,99b
BRS 394	61,44a	27,08a	137,63ab	Zn Solo	58,38a	18,72a	123,55b
BRS 404	56,80a	26,26a	158,91ab	Zn Foliar	61,77a	27,43a	175,90a
MGS 1 Aliança	57,20a	18,67a	138,26ab				
MGS Brilhante	55,41a	20,93a	117,39b				

¹Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Outro estudo que analisou a variabilidade genética e estabilidade das concentrações de alguns minerais em grãos de trigo de pão (*Triticum aestivum* L.) de diversas linhagens e cultivares, obteve variação no teor de zinco de 15 mg kg⁻¹ a 35 mg kg⁻¹ (OURY et al., 2006), valores igualmente inferiores aos obtidos neste trabalho. Similarmente, Liu et al. (2014) encontraram média de 30,4 mg kg⁻¹ de zinco em variedades de trigo ao avaliarem a produção do cereal em diversas regiões da China.

Além disso, com base nas necessidades alimentares de crianças e mulheres, bem como na *Estimated Average Requirement* (EAR), o *HarvestPlus Breeding Program* estabeleceu metas de melhoramento do conteúdo de micronutrientes (Fe, Zn, vitamina A) para diversas culturas como milho, arroz, mandioca, trigo e feijão, com foco em países como Índia e Paquistão. No caso do conteúdo de zinco no trigo, a meta estabelecida foi de 37 mg kg⁻¹, que fornecerá cerca de 60 % a 80 % da Necessidade Média Estimada (EAR), com base no padrão de consumo alimentar da região (HARVESTPLUS, 2014; ANDERSSON et al., 2017; BOUIS; SALTZMAN, 2017).

Comparando a meta do HarvestPlus com os resultados obtidos no presente trabalho, todas as cultivares de trigo apresentaram conteúdos de zinco consideravelmente superiores,

indicando que elas podem ter potencial para aumentarem a ingestão diária de zinco da população através do consumo de produtos derivados do cereal.

Quanto à farinha de trigo, que representa o endosperma do grão, o teor de zinco entre as cultivares variou de 16,35 mg kg⁻¹ (BRS 264) a 27,08 mg kg⁻¹ (BRS 394), valores menores em relação ao grão. Isso indica que processo de moagem e/ou separação do farelo e do endosperma proporciona uma perda considerável do teor do mineral, revelando que grande parte do Zn adicionado como adubação ficou retido nos gérmenes e nos farelos dos grãos.

Ainda assim, esses valores são consideravelmente superiores aos encontrados em outros estudos. Ciccolini et al. (2017) encontraram um teor de 7,5 mg kg⁻¹ de Zn na farinha branca ao estudarem biofortificação agrônômica com Fe e Zn nos grãos de trigo. Similarmente, Zhang et al. (2010) obtiveram média de 13,5 mg kg⁻¹ de zinco nas farinhas ao avaliarem o efeito da biofortificação agrônômica via foliar em grãos de trigo.

Por outro lado, o farelo de trigo extraído apresentou diferença estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) entre as cultivares MGS Brilhante (117,39 mg kg⁻¹) e BRS 264 (163,55 mg kg⁻¹), sendo a última com teor de zinco cerca de 28 % maior que a primeira.

O alto conteúdo de zinco no farelo de trigo pode ser evidenciado ao observar a cultivar BRS 264, no qual o seu teor do mineral chega a ser 10 vezes maior do que na farinha de trigo. O resultado corrobora com os estudos de Zhang et al. (2010), que obtiveram média 113 mg kg⁻¹ de zinco no farelo, quase 10 vezes superior ao conteúdo do mineral na farinha (13,5 mg kg⁻¹).

Este resultado é esperado, visto que o acúmulo de minerais no grão de trigo acontece majoritariamente no gérmen e na camada de aleurona, que compõe o farelo (OZTURK et al., 2006; NEAL et al., 2013; JOY et al., 2015).

De acordo com resultados obtidos por Saha et al. (2017), grande proporção do Zn obtido através da biofortificação (39,8 % a 78,6 %) é perdida durante o processo de extração da farinha. Isso reforça o fato de que geralmente a farinha branca possui teor de zinco consideravelmente menor quando comparado com a farinha de trigo integral, já que a tecnologia da moagem do trigo permite a separação precisa do endosperma das partes do grão mais enriquecidas com minerais (CAKMAK, 2008; BALK et al., 2019).

Ao analisar o tipo de biofortificação, da mesma forma, nem os grãos e nem as farinhas de trigo apresentaram diferença significativa a 95 % de confiança pelo teste de Tukey. Entretanto, o farelo com tratamento de zinco foliar, por sua vez, diferiu dos demais tratamentos quanto ao teor do mineral, revelando que a biofortificação via foliar teve efeito positivo no aumento do teor do zinco no farelo do trigo.

O aumento das concentrações de zinco nos farelos das cultivares com biofortificação foliar foi de 35 % quando comparado com o controle e 42 % maior do que a aplicação de $ZnSO_4 \cdot H_2O$ via solo. Os resultados corroboram com Zhao et al. (2014), que comprovaram que a aplicação via foliar é mais efetiva do que a aplicação via solo no aumento da concentração de zinco no trigo.

3.2 Grãos de trigo

3.2.1 Rendimento de extração e peso hectolitro

Os valores das percentagens do rendimento de extração total das farinhas e suas respectivas frações, bem como o peso hectolitro estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores médios do peso hectolitro \pm desvio padrão e rendimento de extração total e das frações das farinhas de trigo obtidas das cultivares de trigo estudadas.

Cultivar	Biofortificação	PH (kg hL ⁻¹) Média \pm DP*	Farinha de	Farinha de	Farelo	Rendimento de extração
			quebra	redução		
BRS 264	Sem Zn	73,38 \pm 3,9	33,17	39,02	27,80	72,20
	Zn Solo	72,69 \pm 1,0	32,59	37,78	29,63	70,37
	Zn Foliar	72,98 \pm 1,3	39,01	31,39	29,60	70,40
BRS 394	Sem Zn	71,22 \pm 2,9	38,97	37,40	23,63	76,37
	Zn Solo	70,46 \pm 3,1	34,65	39,07	26,28	73,72
	Zn Foliar	70,33 \pm 4,1	32,06	41,15	26,79	73,21
BRS 404	Sem Zn	77,50 \pm 2,1	30,17	44,21	25,62	74,38
	Zn Solo	75,54 \pm 3,8	31,28	42,53	26,19	73,81
	Zn Foliar	76,87 \pm 1,6	32,31	42,19	25,50	74,50
MGS 1 Aliança	Sem Zn	75,60 \pm 1,0	28,64	43,47	27,89	72,11
	Zn Solo	76,10 \pm 1,9	28,21	43,44	28,36	71,64
	Zn Foliar	76,14 \pm 1,3	28,35	42,91	28,74	71,26
MGS Brilhante	Sem Zn	76,77 \pm 3,5	26,24	39,92	33,84	66,16
	Zn Solo	74,00 \pm 4,9	27,42	39,43	33,15	66,85
	Zn Foliar	73,26 \pm 5,4	32,16	36,84	30,99	69,01

PH: peso hectolitro. *Média \pm DP: desvio padrão.

O rendimento de extração variou de 66,16 % da cultivar MGS Brilhante até 76,37 % da cultivar BRS 394, sendo que a maioria das amostras apresentou rendimento acima de 70 %. Segundo Germani (2008), 70 % é uma taxa de extração comum para farinhas brancas obtidas por moinho experimental, entretanto, é possível alcançar percentagens de extrações maiores através de moinhos comerciais.

O peso hectolitro dos grãos variou de 70,33 kg hL⁻¹ (BRS 394 Zn Foliar) a 77,50 (BRS 404 Sem Zn). Segundo a Instrução Normativa N° 38 de 2010 do MAPA (BRASIL, 2010), que estabelece o regulamento técnico do trigo, grãos que apresentem PH menor que 72 kg hL⁻¹ são classificados como “fora de tipo”, como é o caso dos grãos da cultivar BRS 394.

Trigos do “tipo 1” seriam aqueles com pelo menos 78 kg hL⁻¹. Pelo menos 75 kg hL⁻¹, como é o caso dos grãos das cultivares BRS 404 e MGS 1 Aliança e a MGS Brilhante (Sem Zn), são classificados como “trigo tipo 2”. Os demais, da BRS 264 e MGS Brilhante (Zn Solo e Zn Foliar) são classificados pela legislação como trigo “tipo 3”. Esta classificação se refere aos trigos do Grupo II, destinado à moagem e a outras finalidades.

Estudo sobre a influência das temperaturas mínima e máxima em características de qualidade industrial de grãos de trigo mostrou que o peso hectolitro pode aumentar ou diminuir, influenciado pelas condições climáticas de cultivo, especialmente temperatura (GUARIENTI et al., 2004).

3.3 Farinha de trigo

3.3.1 Características físico-químicas

Os resultados de umidade, proteína, cinzas, umidade, granulometria e acidez graxa das farinhas de trigo biofortificadas estão descritos na Tabela 4.

A umidade das farinhas analisadas oscilou, de modo geral, de 9,7 % na cultivar MGS Brilhante (Zn Foliar) até 10,73% na BRS 394 (Sem Zn). No entanto, não houve diferença significativa para a umidade, a 5% de confiança, entre os tratamentos das cultivares BRS 404 e MGS 1 Aliança. Por outro lado, a cultivar MGS Brilhante obteve umidade diferente entre os tratamentos Zn Solo e Zn Foliar, e as cultivares BRS 264 e BRS 394 diferiram entre os tratamentos Sem Zn e Zn Foliar.

Vale ressaltar que na prática, a diferença entre o menor e o maior resultado de umidade dos 15 tratamentos é de cerca de 1%, e não deve interferir na qualidade tecnológica das farinhas, ainda que exista diferenças estatisticamente significantes. Ademais, todas as amostras estão

dentro do padrão exigido (máximo de 15%) pela Instrução Normativa N° 8 de 2005, que define o regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo (BRASIL, 2005).

Tabela 4 - Conteúdo médio de umidade, proteína, cinzas, acidez graxa (calculados sobre a matéria integral) e granulometria das farinhas de trigo estudadas.

Cultivar	Biofortificação	Umidade	Proteína	Cinzas	Granulometria*	Acidez Graxa
		Média ¹ (%)				Média ¹ (mg de KOH 100g ⁻¹)
BRS 264	Sem Zn	10,10b	14,06a	0,56a	99,5a	81,69a
	Zn Solo	10,37ab	14,00a	0,54a	99,6a	66,00b
	Zn Foliar	10,47a	14,28a	0,55a	99,7a	48,23c
BRS 394	Sem Zn	10,73a	12,59a	5,46a	99,6b	58,27b
	Zn Solo	10,63ab	13,22a	1,50b	99,8a	93,59a
	Zn Foliar	10,37b	12,87a	0,89c	99,8a	86,87a
BRS 404	Sem Zn	10,30a	14,96a	0,66b	99,8a	61,03a
	Zn Solo	10,23a	15,09a	0,62ab	99,7a	50,38a
	Zn Foliar	10,43a	12,72b	0,75a	99,8a	48,21a
MGS 1 Aliança	Sem Zn	10,47a	13,71a	0,71a	99,7a	49,37b
	Zn Solo	10,43a	14,34a	0,62ab	99,7a	79,34a
	Zn Foliar	10,23a	14,01a	0,59b	99,7a	56,44b
MGS Brilhante	Sem Zn	9,87ab	14,26a	0,55a	99,6a	72,43a
	Zn Solo	10,17a	12,87a	0,54a	99,4ab	57,91a
	Zn Foliar	9,70b	13,48a	0,60a	99,3b	54,22a

¹Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna de cada cultivar diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. *Granulometria representa a quantidade percentual de farinha de trigo que passa por uma peneira de abertura de 250 µm.

O teor de proteínas da farinha de trigo geralmente varia de 10 % a 14 % em trigos duros, mais utilizados em produtos de panificação e de 8 % a 11 % em trigos moles, que possuem finalidades variadas, sendo que dessa porção a maior parte (80 % a 85 %) é composta por glúten (GOESAERT et al., 2005; DELCOUR et al., 2012). Entre as farinhas analisadas, o conteúdo de proteína obtido, variou entre 12,59 % (BRS 394 Sem Zn) e 15,09 % (BRS 404 Zn Solo), sugerindo que provavelmente são farinhas panificáveis.

Resultados semelhantes foram obtidos por Germishuys et al., (2020) ao estudarem a composição de farinha obtida a partir de trigo torrado, no qual 12,05 % de proteína foi encontrado em variedade de trigo mole, e 15,30 % em trigo duro.

As cultivares não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os seus tratamentos quanto ao teor de proteína, com exceção da BRS 404, na qual demonstrou diferença entre o tratamento via foliar e os demais. Todas as amostras analisadas atendem à IN N° 8, que prevê um conteúdo mínimo de 7,5 % para farinhas classificadas como “tipo 1”.

Quanto ao teor de cinzas, a legislação define que até 0,8 % a farinha é classificada como “tipo 1”, até 1,4 % é considerada “tipo 2” e farinhas integrais devem possuir teor de cinzas de 2,5 % (Brasil, 2005). Entre as farinhas estudadas, os tratamentos foram considerados iguais nas cultivares BRS 264 e MGS Brilhante. A BRS 404 apresentou diferença significativa entre os tratamentos Sem Zn e Zn foliar assim como a cultivar MGS 1 Aliança. Todas estas podem ser classificadas como “tipo 1”.

A cultivar BRS 394 apresentou valores de cinzas muito elevados, especialmente para o tratamento controle (5,46 %) e para o Zn Solo (1,50 %). Os resultados são considerados incoerentes, e sendo o teor de cinzas uma representação do seu resíduo mineral, analisou-se o teor de outros minerais nestas amostras, obtendo-se uma concentração elevada de ferro, cromo e alumínio (não demonstrados neste trabalho), indicando possível contaminação da amostra.

De acordo com Pfeiffer e McClafferty (2007), normalmente a contaminação de amostras não é abordada na literatura, mas a contaminação por ferro do solo, poeira, peças metálicas e produtos de borracha durante a colheita e moagem dos grãos pode ser um grande problema que superestima o conteúdo de minerais em determinados produtos.

A acidez graxa das farinhas obteve variação entre 48,21 mg de KOH 100g⁻¹ da BRS 404 Zn Foliar e 93,59 mg de KOH 100g⁻¹ da BRS 394 Zn Solo. Todas estão em acordo com a legislação que estabelece teor máximo de 100 mg de KOH 100g⁻¹ de farinha de trigo para classificações do tipo 1, 2 e integral, entretanto, divergem dos resultados obtidos por Pinheiro et al. (2020) de 11,17 mg de KOH 100g⁻¹ a 20,98 mg de KOH 100g⁻¹. O valor de acidez pode ser usado como medida da qualidade de um produto a base de cereal e o aumento nos valores deste atributo estão relacionados com fatores como o armazenamento prolongado da farinha de trigo (MIRANDA; EL-DASH, 2002).

A granulometria das farinhas, apesar de apresentar diferenças significativas entre os tratamentos das cultivares BRS 394 e MGS Brilhante, chegou a uma variação mínima de 0,5%, com menor valor de 99,3% (MGS Brilhante Zn Foliar) e maior valor de 99,8% (BRS 394 Zn Solo e Zn Foliar e BRS 404 Sem Zn e Zn Foliar). Todos corroboram com os parâmetros da legislação, que estabelece que 95% do produto deve passar por peneira com abertura de malha de 250 µm.

3.3.2 Características reológicas

Os resultados obtidos pela análise reológica de alveografia, referentes a tenacidade, extensibilidade, a relação entre eles e a força de glúten estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios¹ dos parâmetros P (tenacidade), L (extensibilidade), P/L e W (força de glúten) referentes à análise reológica de alveografia das farinhas das variedades de trigo estudadas.

Cultivar	Biofortificação	P (mm)	L (mm)	P/L	W ($\times 10^{-4}$ J) ²
		Médias			
BRS 264	Sem Zn	51ab	187a	0,27a	252,0
	Zn Solo	47b	181a	0,26a	243,0
	Zn Foliar	54a	186a	0,30a	289,0
BRS 394	Sem Zn	113a	116a	0,98a	372,1
	Zn Solo	81c	150a	0,56c	334,9
	Zn Foliar	88b	118a	0,75b	314,0
BRS 404	Sem Zn	80a	180a	0,45a	364,0
	Zn Solo	85a	168a	0,51a	374,4
	Zn Foliar	83a	184a	0,45a	410,7
MGS 1 Aliança	Sem Zn	80a	184a	0,44a	313,3
	Zn Solo	78a	156a	0,51a	304,4
	Zn Foliar	77a	168a	0,48a	303,1
MGS Brilhante	Sem Zn	53a	184a	0,30a	235,4
	Zn Solo	53a	170a	0,31a	255,3
	Zn Foliar ³	-	-	-	-

P – tenacidade. L – extensibilidade. W – Força de glúten. ¹Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna para cada cultivar diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância. ² O valor de W configura um único resultado baseado nas médias de P e L. ³A análise de alveografia não foi realizada na farinha com tratamento Zn Foliar da cultivar MGS Brilhante.

Vale ressaltar que o presente trabalho busca avaliar a influência da biofortificação sobre a qualidade tecnológica das farinhas de trigo e, sendo assim, as cultivares foram analisadas individualmente ainda que elas possuam características reológicas distintas. Estas diferenças serão tratadas com mais detalhes no tópico de 3.4 “Classificação do Trigo”.

Além disso, não foi realizada a análise de alveografia na farinha do tratamento Zn Foliar da cultivar MGS Brilhante pois o experimento no campo foi afetado pela interferência de

pássaros, que por sua vez reduziu a quantidade de amostra obtida e conseqüentemente impossibilitou a execução do teste.

A alveografia é um teste que simula o comportamento da massa durante a fermentação e os seus parâmetros avaliam as características viscoelásticas da farinha de trigo. O parâmetro P (mm), por sua vez, representa a tenacidade e mede a sobrepressão máxima exercida pela massa durante a expansão (GUTKOSKI; NETO, 2002; MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009).

No caso das cultivares BRS 404, MGS 1 Aliança e MGS Brilhante não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os seus tratamentos para a tenacidade e os valores variaram entre 80 mm e 85 mm (BRS 404), 77 mm a 80 mm (MGS 1 Aliança) e 53 mm (MGS Brilhante). Este resultado indica que a tenacidade das farinhas das três cultivares não foi influenciada pela biofortificação agrônômica com zinco. Por outro lado, a biofortificação via foliar da BRS 264 diferiu estatisticamente dos demais tratamentos e o seu valor variou de 47 mm a 54 mm. Da mesma forma, BRS 394 teve todos os tratamentos diferentes a 5% de significância, sendo o menor valor de tenacidade de 81 mm e o maior de 113 mm.

Observa-se que valores similares de tenacidade foram obtidos pelas cultivares BRS 264 e MGS Brilhante (entre 47 mm e 54 mm) e pelas demais: BRS 394, BRS 404 e MGS 1 Aliança (entre 77 mm e 113 mm), o que sugere que são farinhas com características reológicas similares.

Já o parâmetro L (mm), que se relaciona com a extensibilidade da massa, pode prever o volume do pão e representa a capacidade da massa de se estender sem se romper (MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009). Neste trabalho, L variou de 116 mm na cultivar BRS 394 Sem Zn a 187 mm na BRS 264 do mesmo tratamento, entretanto, nenhuma cultivar obteve diferença significativa entre os tratamentos, indicando que todas as farinhas terão comportamento extensivo similares.

Assim como L, o parâmetro P/L também não indicou diferença significativa entre os tratamentos de nenhuma cultivar. Ainda assim, variou de 0,26 (BRS 264 Zn Solo) a 0,98 (BRS 394 Sem Zn). Para Módenes, Silva e Trigueros (2009), a relação entre tenacidade e extensibilidade indica o equilíbrio da massa e valores entre 0,50 e 1,20 são farinhas indicadas para produção de pães. Relação P/L maior 1,20 representa farinhas com alta tenacidade e devem ser usadas na produção de massa alimentícias. Já valores de P/L menores que 0,6 são amostras que possuem glúten extensível (GUTKOSKI et al., 2011).

Os valores de W correspondem ao trabalho ou a força necessários para expandir a massa até o seu rompimento e se relaciona com a capacidade de retenção de gás da massa e com a

qualidade do volume e textura de pães (GUTKOSKI; NETO, 2002; GUTKOSKI; NODARI; JACOBSEN NETO, 2003).

De acordo com os dados obtidos, os tratamentos obtiveram valores similares dentro da mesma cultivar, sendo que a BRS 264 variou de $243,0 \times 10^{-4}$ J a $289,0 \times 10^{-4}$ J; a BRS 394 foi de $314,0 \times 10^{-4}$ J a $372,1 \times 10^{-4}$ J; a BRS 404 de $364,0 \times 10^{-4}$ J a $410,7 \times 10^{-4}$ J; a MGS 1 Aliança variou de $303,1 \times 10^{-4}$ J a $313,3 \times 10^{-4}$ J; e a MGS Brilhante obteve os resultados entre $235,4 \times 10^{-4}$ J e $255,3 \times 10^{-4}$ J.

Nota-se que as cultivares BRS 394, BRS 404 e MGS 1 Aliança obtiveram sempre resultado de W maior que $300,0 \times 10^{-4}$ J, sugerindo serem farinhas com maior força de glúten. Com isso, espera-se que o volume do pão produzido com farinhas destas cultivares também aumente de forma diretamente proporcional ao aumento deste parâmetro (GUTKOSKI; NETO, 2002).

Germishuys et al. (2020) caracterizaram farinhas de trigos torrados e obtiveram valores de força de glúten de $207,0 \times 10^{-4}$ J para o controle de trigo mole, $348,0 \times 10^{-4}$ J para o médio e $539,0 \times 10^{-4}$ J para o trigo duro. Comparando com o presente trabalho, as cultivares BRS 264 e MGS Brilhante obtiveram força de glúten similar aos trigos moles dos autores e as demais cultivares, aos trigos de média dureza.

A farinografia avalia atributos que permitem identificar a qualidade de mistura da massa, assim como a capacidade de absorção de água da farinha. Os resultados obtidos neste experimento estão expressos na Tabela 6.

A capacidade absorção de água da farinha de trigo é um dos parâmetros mais importantes avaliados, pois está fortemente relacionada com a qualidade e com o rendimento dos produtos de panificação (SAPIRSTEIN et al., 2018) e varia de acordo com o seu teor de umidade, conteúdo proteico e nível de amido danificado da amostra (CAUVAIN; YOUNG, 2007).

Neste trabalho, observou-se que a absorção de água variou de 54,5 % (BRS 264 Zn Solo) a 62,45 % (MGS 1 Aliança Sem Zn), sendo que as cultivares BRS 264, BRS 394 e MGS Brilhante apresentaram absorção de água entre 55 % e 59 %. Além disso, nota-se que estas cultivares apresentaram um aumento na capacidade de absorção de água entre 1,3 % a 2,05% nos tratamentos Zn Foliar quando comparado com as amostras Sem Zn. Esta variação indica que a biofortificação do grão com zinco por meio de aplicação foliar pode aumentar a absorção de água da farinha, o que representa maior lucro numa produção em larga escala.

Tabela 6 - Valores dos atributos farinográficos absorção de água – ABS (%), estabilidade – EST, tempo de desenvolvimento da massa – TDM e índice de tolerância à mistura – ITM (minutos) das farinhas de trigo estudadas.

Cultivar	Biofortificação	ABS (%)	EST	TDM	ITM (UF)
			Min		
BRS 264	Sem Zn	55,45	7,00	7,40	72,00
	Zn Solo	54,50	7,00	6,30	50,00
	Zn Foliar	57,00	7,60	7,30	35,00
BRS 394	Sem Zn	57,10	18,00	9,40	18,00
	Zn Solo	58,50	20,40	10,40	10,00
	Zn Foliar	59,15	14,30	8,20	20,00
BRS 404	Sem Zn	61,75	7,80	8,20	45,00
	Zn Solo	61,45	7,40	7,70	40,00
	Zn Foliar	61,35	10,50	7,60	37,00
MGS 1 Aliança	Sem Zn	62,45	8,55	7,10	30,00
	Zn Solo	62,25	11,30	6,30	20,00
	Zn Foliar	61,80	12,50	6,20	20,00
MGS Brilhante	Sem Zn	56,10	12,80	6,10	17,00
	Zn Solo	55,50	9,90	9,20	20,00
	Zn Foliar	57,40	8,70	5,50	20,00

ABS – absorção de água. EST – estabilidade. TDM – tempo de desenvolvimento da massa. ITM – índice de tolerância a mistura. min – minutos. UF – unidades farinográficas.

Já as cultivares BRS 404 e MGS 1 Aliança obtiveram absorção de água entre 61 % e 62 %, apontando que estas farinhas provavelmente apresentarão um maior rendimento de massa e de produto final durante a panificação (MA et al., 2007).

A estabilidade da massa é calculada pela diferença entre o tempo de saída e o tempo de entrada nas 500 unidades farinográficas do gráfico, e representa a resistência da massa ao trabalho mecânico e ao tempo de fermentação do processo de fabricação de pães. A cultivar BRS 264 foi a que apresentou massas com menores estabilidades (entre 7,0 min – 7,6 min) e a BRS 394 é a cultivar com farinhas que produzem massas mais estáveis entre as estudadas (14,3 min a 20,4 min). Segundo a IN 38/2010, farinhas com estabilidade acima de 14 min classificam o trigo como melhorador. Trigos da classe pão têm pelo menos 10 min de estabilidade; mais que 6 minutos são trigos da classe doméstico; acima de 3 min são trigos básicos; e trigos para outros usos não possuem margem definida para estabilidade (BRASIL, 2010).

O tempo de desenvolvimento da massa, que caracteriza o tempo necessário para que a massa atinja o seu máximo desenvolvimento após a adição de água foi de 5,5 min na MGS

Brilhante (Zn Foliar) até 10,4 na BRS 394 (Zn Solo). Já o índice de tolerância a mistura, medido em unidades farinográficas (UF) foi inversamente proporcional à estabilidade: maior na cultivar BRS 264 (entre 35 e 72 UF) e menor na cultivar BRS 394 (10 a 20 UF). Altos índices de ITM indicam farinha com ligações de glúten mais fracas.

A variação de atributos farinográficos entre amostras de diferentes cultivares corrobora com resultados de outros estudos, como por exemplo de Yovchev et al. (2017), que estudaram 37 cultivares de trigo canadenses e obtiveram variação nos resultados de 59,2 % a 68,1 % para absorção de água, 2,4 a 7,4 min para TDM, 1,7 min a 21,7 min para EST e 11,0 UF a 94,0 UF para ITM.

Apesar da análise farinográfica não apresentar análise estatística, é possível observar que, como esperado, os atributos analisados na farinografia variaram expressivamente entre as diferentes cultivares. Todavia, os diferentes tratamentos de uma mesma cultivar apresentaram resultados com variações consideráveis, sugerindo que a aplicação da biofortificação no plantio do trigo possivelmente influencia na qualidade tecnológica das farinhas, podendo melhorar aspectos como qualidade e rendimento de algumas cultivares. Sem embargo, mais estudos são necessários para obtenção de respostas mais precisas.

3.3.3 Glúten e atividade enzimática

As análises de *falling number* (número de queda) e de glúten (úmido e index) foram realizadas em duplicata e os resultados seguidos dos respectivos desvios padrão estão descritos na Tabela 7.

O número de queda foi similar entre os tratamentos de cada cultivar, sendo que na BRS 264 foi de 168 s a 189 s, na BRS 394 foi de 165 s a 269 s; de 261 s a 285 s na BRS 404; de 277 s a 290 s na MGS 1 Aliança; e na MGS Brilhante variou de 235 s a 265 s. O *falling number* está relacionado com a atividade de α -amilase presente no trigo após a colheita e esta enzima tem um impacto significativo na qualidade do pão (KHAN; SHEWRY, 2009; CAUVAIN, 2017).

Quanto menor o FN, maior é a atividade enzimática do trigo e vice-versa. Geralmente, um número de queda de 350 s indica baixa atividade enzimática, quando este é maior que 250 s, é ideal para a produção de pães e valores abaixo de 200 s indicam altos níveis de atividade enzimática (BURIRO et al., 2012). No Brasil, considera-se trigo da classe melhorador quando apresenta FN mínimo de 250 s. Trigo classificado como pão ou doméstico exige FN mínimo de 220 s e trigos com pelo menos 200 s de número de queda são classificados como básicos (BRASIL, 2010).

Valores de FN inferiores a 180 s, como o caso da BRS 264 e da BRS 394 (ambas Sem Zn) indicam problemas de qualidade no trigo e nos produtos de panificação, podendo apresentar amolecimento da massa durante a fermentação e maior probabilidade de haver problemas com o corte do pão durante o processo de fabricação (CAUVAIN, 2017). Além disso, alta atividade amilásica no cereal tem causado perdas econômicas importantes para a indústria do trigo, especialmente para produtores, pois em alguns países, baixo FN implica em descontos nos preços das negociações (HE et al., 2019).

Tabela 7 – Valores médios e desvio padrão de *falling number* (número de queda) - FN, em segundos (s), e percentagens (%) de glúten úmido (GU) e de glúten index (GI).

Cultivar	Biofortificação	Médias ± Desvio Padrão		
		FN (s)	GU (%)	GI (%)
BRS 264	Sem Zn	168 ± 6	27,37 ± 0,1	98,15 ± 1,35
	Zn Solo	183 ± 2	28,11 ± 1,28	96,72 ± 0,48
	Zn Foliar	189 ± 0,7	32,07 ± 2,14	94,73 ± 1,70
BRS 394	Sem Zn	165 ± 1	26,78 ± 0,53	98,91 ± 1,54
	Zn Solo	269 ± 5	28,25 ± 1,22	99,21 ± 0,69
	Zn Foliar	236 ± 7	28,22 ± 0,63	98,99 ± 0,77
BRS 404	Sem Zn	261 ± 6	36,69 ± 1,79	96,12 ± 4,40
	Zn Solo	285 ± 5	34,52 ± 0,47	98,17 ± 0,59
	Zn Foliar	279 ± 15	32,23 ± 0,87	95,90 ± 4,27
MGS 1 Aliança	Sem Zn	278 ± 4	35,20 ± 1,98	95,65 ± 2,14
	Zn Solo	290 ± 13	35,89 ± 2,84	92,67 ± 3,18
	Zn Foliar	277 ± 3	33,64 ± 1,59	96,49 ± 0,41
MGS Brilhante	Sem Zn	265 ± 14	32,11 ± 3,09	94,64 ± 0,74
	Zn Solo	257 ± 3	30,94 ± 1,45	92,40 ± 0,79
	Zn Foliar	235 ± 5	33,17 ± 5,21	95,01 ± 4,66

Por outro lado, nas cultivares BRS 264, BRS 394, BRS 404 foi possível observar um aumento nos valores de FN dos tratamentos Zn Solo e Zn Foliar de pelo menos 8 % (BRS 264) até 63 % (BRS 394) quando comparado com as amostras controle, sugerindo que a biofortificação agrônômica do trigo com zinco pode influenciar de alguma forma a atividade enzimática dos grãos de trigo. Resultado similar foi obtido por Sobolewska et al. (2020), que constatou um aumento de até 17 % no valor do número de queda em grãos de trigo fertilizados com mistura de zinco e manganês em relação às amostras controle avaliadas.

O problema da baixa atividade enzimática pode ser solucionado utilizando melhoradores, que apresentam em sua formulação enzimas alfa-amilásicas fúngicas, que

possibilitam a correção desta deficiência na farinha. Já a alta atividade enzimática do grão só pode ser corrigida por meio da mescla de trigo ou de farinhas complementares com o intuito de "diluir" o excesso de alfa-amilase (GUARIENTI, 1993).

Já porcentagem de glúten úmido das amostras variou de 26,78 % (BRS 394 Sem Zn) a 36,69 % (BRS 404 Sem Zn) e o índice de glúten apresentou menor valor de 92,40 % (MGS Brilhante Zn Solo), chegando até 99,21 % (BRS 394 Zn Solo).

O conteúdo de glúten úmido representa o rendimento do glúten da farinha e indica a capacidade de agregação das proteínas, ou a capacidade da farinha de trigo formar uma matriz de glúten, sendo que o parâmetro está fortemente relacionado com o conteúdo de proteína, e para a panificação, maiores teores de glúten úmido são desejados (KHAN; SHEWRY, 2009; BRESSIANI et al., 2017).

No caso da cultivar BRS 264, observou-se um aumento de glúten úmido de cerca de 17 % no tratamento Zn Foliar em relação ao controle. Ao contrário, a cultivar BRS 404 apresentou uma redução de 13 % nos mesmos tratamentos.

Um estudo de Peck, McDonald e Graham (2008) demonstrou que de fato, a nutrição da planta com Zn pode alterar a composição proteica do grão de trigo, principalmente das gluteninas, e que isso possivelmente acontece por causa da interação do mineral com resíduos de cisteína na proteína e a formação de ligações dissulfeto durante a polimerização. Por sua vez, o teor de enxofre e suas ligações demonstram efeitos sobre a composição da proteína bem como as propriedades reológicas da massa (ZHAO; HAWKESFORD; MCGRATH, 1999).

Da mesma forma, Liu et al. (2015) constataram que a fertilização do trigo com zinco altera o conteúdo proteico do grão e da farinha de trigo. O estudo apontou que houve um aumento do teor de proteína e das frações de gliadinas e gluteninas da farinha quando utilizada fertilização de até 10 mg de Zn / kg de solo, enquanto foi identificado um declínio destes parâmetros nos tratamentos com fertilização de 40 mg de Zn / kg de solo.

Resultados de glúten úmido semelhantes aos encontrados neste trabalho foram obtidos por Costa et al., (2008), que registraram valores médios de aproximadamente 25 % e 29 % de glúten úmido em farinhas de trigo nacionais e importados, respectivamente, ao avaliarem a qualidade tecnológica dos mesmos.

Quanto ao índice de glúten, de acordo com classificação de Montenegro e Ormenese (2005), todas as amostras estudadas são consideradas "muito boas" por possuírem GI maior que 90 %. Entre 60 % e 90 % seria farinha "boa", de 40 % a 60% farinha "média" e menor que 40% a classificação corresponde à farinha fraca. Entretanto, o GI não deve ser usado como único ou principal indicador de qualidade de trigo, por fornecer resultados questionáveis em

situações específicas (BONFIL; POSNER, 2012). Ainda assim, de modo geral, valores altos de glúten index como os apresentados indicam glúten forte (SOBOLEWSKA et al., 2020).

3.4 Classificação do trigo

Após a análise dos resultados obtidos com os testes de número de queda, farinografia e alveografia é possível obter a classificação dos trigos estudados (Tabela 8) com base na legislação brasileira vigente, por meio da IN 38/2010, que classifica os grãos de acordo os requisitos de qualidade e identidade (BRASIL, 2010).

Tabela 8 - Classificação dos trigos conforme Anexo III da Instrução Normativa 38 do MAPA (Brasil, 2010).

Cultivar	Cód.	Biofortificação	W ($\times 10^{-4}$ J)	EST (min)	FN (s)	Classe
BRS 264	A	Sem Zn	252	7,00	168	Doméstico
	B	Zn Solo	243	7,00	183	
	C	Zn Foliar	289	7,60	189	
BRS 394	D	Sem Zn	372	18,00	165	Melhorador
	E	Zn Solo	334	20,40	269	
	F	Zn Foliar	314	14,30	236	
BRS 404	G	Sem Zn	364	7,80	261	Melhorador
	H	Zn Solo	374	7,40	285	
	I	Zn Foliar	410	10,50	279	
MGS 1 Aliança	J	Sem Zn	313	8,55	278	Pão
	K	Zn Solo	304	11,30	290	
	L	Zn Foliar	303	12,50	277	
MGS Brilhante	M	Sem Zn	235	12,80	265	Pão
	N	Zn Solo	255	9,90	257	
	*	Zn Foliar	-	8,70	235	

Legenda: FN – *falling number*. EST – estabilidade. W – força de glúten. Cód. – código. A – BRS 264 Sem Zn, B – BRS 264 Zn Solo, C – BRS 264 Zn Foliar, D – BRS 394 Sem Zn, E – BRS 394 Zn Solo, F – BRS 394 Zn Foliar, G – BRS 404 Sem Zn, H – BRS 404 Zn Solo, I – BRS 404 Zn Foliar, J – MGS 1 Aliança Sem Zn, K – MGS 1 Aliança Zn Solo, L – MGS 1 Aliança Zn Foliar, M – MGS Brilhante Sem Zn e N – MGS Brilhante Zn Solo. *MGS Brilhante Zn Foliar não possui resultado de força de glúten por perda de parcela experimental.

Os resultados de FN, estabilidade e força de glúten obtidos nas farinhas avaliadas, classificaram a cultivar como BRS 264 em trigo Doméstico, MGS 1 Aliança e MGS Brilhante

como Trigo Pão e as cultivares BRS 394 e BRS 404 e foram classificadas como Trigo Melhorador.

A cultivar BRS 264 foi lançada pelo programa de melhoramento genético da EMBRAPA em 2006, para cultivo na região do Cerrado brasileiro. A cultivar é classificada pela Empresa como Trigo Pão, apresentando média de força de glúten de 250×10^{-4} J e estabilidade de 18,1 minutos (ALBRECHT et al., 2006; EMBRAPA, 2018; CHAGAS et al., 2020). No entanto, os baixos valores de FN e estabilidade obtidos neste estudo classificam a cultivar como Trigo Doméstico, sendo que vale ressaltar que esta classificação comercial trata-se de uma estimativa da aptidão tecnológica das cultivares e normalmente depende da região de cultivo e de condições de clima, solo, tratos culturais, secagem e armazenamento do grão (SILVA; BASSOI; FOLONI, 2017).

A BRS 394 foi lançada pela EMBRAPA no ano de 2015 e também é indicada para cultivo irrigado na região do Cerrado do Brasil. A classificação de Trigo Melhorador obtido neste trabalho concorda com os dados Albrecht et al. (2016), que aponta valor médio de força de glúten de 320×10^{-4} J e estabilidade de 22 minutos. Entretanto, outros estudos demonstraram que a cultivar também pode ser classificada como Trigo Pão, pois apresentando valor médio de força de glúten de 294×10^{-4} J (EMBRAPA, 2018; CHAGAS et al., 2020). Segundo Albrecht et al. (2006), a classificação das cultivares pode sofrer variações em função das condições climáticas, de cultivo, secagem e armazenamento do trigo.

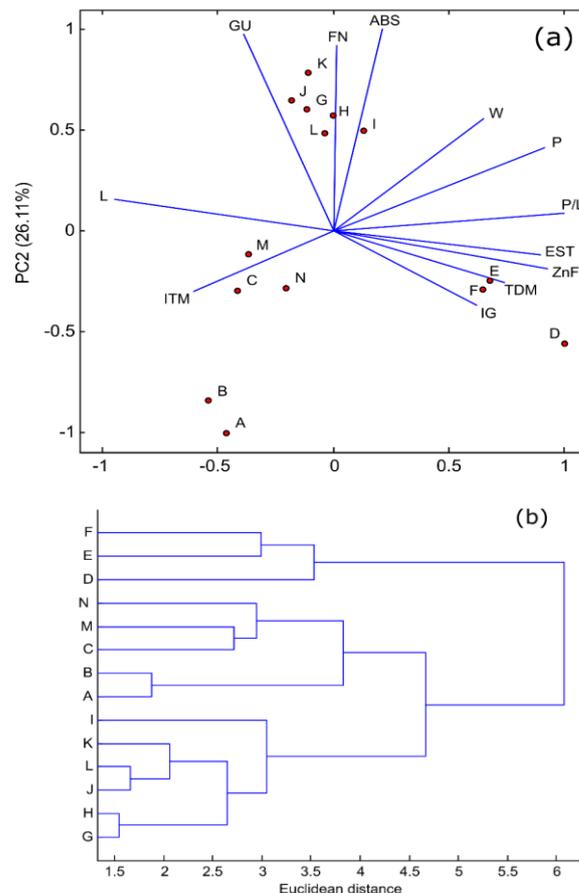
Quanto à BRS 404, a classificação comercial da EMBRAPA é de Trigo Pão, baseada em valores médios de 320×10^{-4} J para força de glúten e 11,7 minutos de estabilidade (CHAGAS et al., 2018). Entretanto, segundo resultados obtidos no presente estudo, apesar da média de estabilidade da cultivar ter sido 8,6 minutos, os valores de W foram superiores a 300, bem como o número de queda foi superior a 250 s e, portanto, a classificação mais adequada é de Trigo Melhorador, conforme parâmetros da IN 38/2010. Como é sabido, as classificações dos trigos podem sofrer alterações em função de fatores intrínsecos e extrínsecos.

MGS Brilhante e MGS 1 Aliança são cultivares da EPAMIG e foram indicadas para cultivo em sequeiro em estados da região Central do Brasil em 2004 e 1998, respectivamente (EPAMIG, 2011). Sabe-se que a MGS 1 Aliança foi utilizada no cruzamento com a linhagem WT 99172 para obtenção da BRS 404 (CHAGAS et al., 2018), porém não foram encontrados dados comparativos de força de glúten, FN e estabilidade para a classificação das cultivares. Entretanto, a Embrapa (2018) também classificou ambas cultivares (MGS 1 Aliança e MGS Brilhante) como Trigo Pão, o que concorda com os resultados obtidos.

3.4.1 Análise de componentes principais

Investigando por uma perspectiva descritiva um gráfico de análise de componente principal (PCA) foi obtido para os resultados dos parâmetros físico-químicos das farinhas provenientes de trigo fortificado (Figura 3a). Verificou-se que as duas primeiras componentes principais (PC1 e PC2) explicam 71,73 % da variância dos dados, sendo que a PC1, de acordo com a matriz *loading* apresentada na Tabela 9, foi positivamente correlacionada com a concentração de zinco na farinha (ZnF), tenacidade (P), relação tenacidade e extensibilidade (P/L), estabilidade (EST) e tempo de desenvolvimento da massa (TDM) e negativamente relacionada à extensibilidade (L).

Figura 3 - Reconhecimento de padrões de farinhas proveniente de trigo biofortificado com zinco: (a) PCA, (b) HCA. Concentração de zinco na farinha (ZnF), tenacidade (P), extensibilidade (L), relação tenacidade e extensibilidade (P/L), força do glúten (W), absorção de água (ABS), estabilidade (EST), tempo de desenvolvimento da massa



Legenda: as letras representam as cultivares e seus tratamentos, sendo: A – BRS 264 Sem Zn, B – BRS 264 Zn Solo, C – BRS 264 Zn Foliar, D – BRS 394 Sem Zn, E – BRS 394 Zn Solo, F – BRS 394 Zn Foliar, G – BRS 404 Sem Zn, H – BRS 404 Zn Solo, I – BRS 404 Zn Foliar, J – MGS 1 Aliança Sem Zn, K – MGS 1 Aliança Zn Solo, L – MGS 1 Aliança Zn Foliar, M – MGS Brilhante Sem Zn e N – MGS Brilhante Zn Solo.

Fonte: Do Autor (2020).

Pelo PCA (Figura 3a) é evidente que as amostras de farinhas foram discriminadas em três grandes grupos. As amostras D, E e F (BRS 394) compõem o primeiro grupo, que apresentam farinhas com maiores concentrações de zinco (ZnF), estabilidade (EST) e valores da relação tenacidade e extensibilidade (P/L). A cultivar BRS 394 foi precisamente classificada como trigo melhorador, o que justifica seu agrupamento.

Tabela 9 - Análise de componente principal.

Fator <i>loading</i>	Componentes principal		
	1	2	3
Zn Farinha	0,926	-0,191	-0,166
P	0,919	0,412	0,354
L	-0,946	0,155	0,156
P/L	1,000	0,085	0,160
W	0,649	0,558	0,652
ABS	0,211	1,000	0,303
EST	0,898	-0,121	-0,560
TDM	0,740	-0,255	-0,018
ITM	-0,603	-0,300	1,000
FN	0,014	0,924	-0,419
GU	-0,390	0,977	0,004
IG	0,622	-0,369	0,733

Loading das três primeiras componentes.

Legenda: Zn Farinha – concentração de zinco na farinha, P – tenacidade, L – extensibilidade, P/L – relação tenacidade e extensibilidade, W – força do glúten, ABS – absorção de água, EST – estabilidade, TDM – tempo de desenvolvimento da massa, ITM – índice de tolerância à mistura, FN – número de queda, GU – glúten seco, IG – índice de glúten.

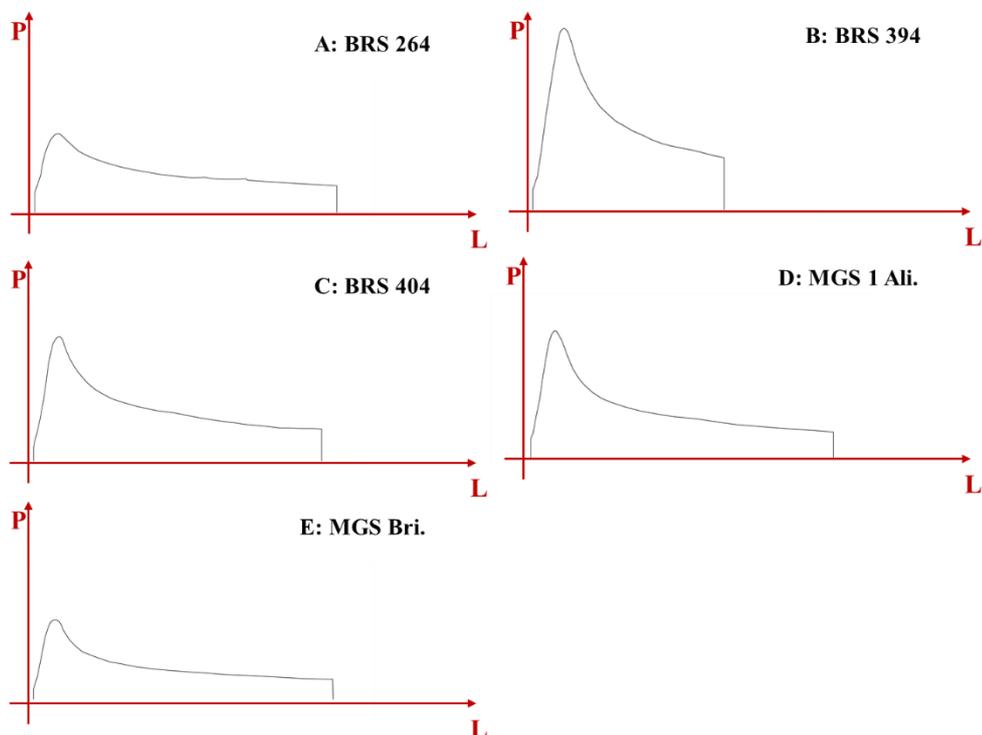
O segundo grupo compreende as amostras G, H, I, J, K e L (BRS 404 e MGS 1 Aliança), as quais possuem maior absorção de água (ABS). No presente estudo, a cultivar BRS 404 foi classificada como trigo melhorador em função dos resultados obtidos de força de glúten e número de queda. No entanto, esta apresenta valores de estabilidade compatíveis com a classificação de trigo pão, assim como é classificada a MGS 1 Aliança. Esta, por sua vez, possui valores de força de glúten ligeiramente altos, o que poderiam classificá-la como trigo melhorador, caso fosse analisado individualmente. Sendo assim, visto que a classificação das cultivares não é totalmente precisa, já que se baseia em apenas três parâmetros, mas que também pode se basear somente em dois parâmetros e que estes podem variar em função de diversos

fatores, é compreensível que BRS 404 e MGS 1 Aliança estejam similarmente agrupadas pela análise de componentes principais. Esta análise avaliou as características das farinhas como um todo, considerando doze parâmetros físico-químicos e reológicos.

E o último grupo é formado pelas demais amostras: A, B, C, M e N (BRS 264 e MGS Brilhante), que exibem uma força de glúten (W) menos intensa. Esse agrupamento também pode ser visto no dendrograma (Figura 3b), onde a menor distância euclidiana indica maior similaridade entre as amostras. Estes resultados mostram que de maneira geral as duas cultivares possuem características semelhantes, ainda que a cultivar MGS Brilhante tenha sido classificada como Trigo Pão e BRS 264 como Trigo Doméstico.

A similaridade entre agrupamento das amostras com base na análise de componentes principais também pode ser observada nos gráficos da análise reológica de alveografia apresentados na Figura 4.

Figura 4 - Representação dos gráficos de alveografia (P x L) do controle (Sem Zn) de cada cultivar estudada: (A) BRS 264, (B) BRS 394, (C) BRS 404, (D) MGS 1 Aliança, (E) MGS Brilhante.



Fonte: Do Autor (2019).

Conforme os dados apresentados na Tabela 5, classificação exposta na Tabela 8 e PCA detalhado na Figura 3 é possível visualizar de forma mais clara as diferenças e semelhanças

entre as cultivares estudadas por meio dos gráficos de alveografia (Figura 4) exibidos. Nota-se uma similaridade evidente entre BRS 264 (Figura 4A) e MGS Brilhante (Figura 4E), juntamente agrupadas pelo PCA, nos quais os gráficos apontam os menores valores de P e moderados valores de L, justificando os resultados também baixos de força de glúten (W) (Tabela 5).

A cultivar BRS 394 (Figura 4B) apresenta o gráfico mais distinto das demais, com alto valor de P e baixo L, configurando valores elevados de W, resultados que a colocaram isolada no PCA e a classificaram como Trigo Melhorador.

Outra semelhança é observada entre BRS 404 (Figura 4C) e MGS 1 Aliança (Figura 4D), que possuem valores de P intermediários, que também foram alocadas no mesmo grupo PCA e possuem classificação diferente (Trigo Melhorador e Trigo Pão) em função de resultados outros resultados físico-químicos, como número de queda.

Gráficos com variações semelhantes também foram obtidos em outro estudo (GERMISHUYS et al., 2020) e a análise apresentada em função da Figura 4 corrobora com os resultados obtidos na classificação dos trigos e na análise de PCA.

3.5 Tortilha de trigo

A escolha das cultivares para a produção da tortilha de trigo, bem como os seus respectivos tratamentos (Sem Zn e Zn Foliar) foi feita em função do teor de Zn e da disponibilidade da quantidade de amostras das farinhas de trigo após a realização das análises anteriores.

3.5.1 Quantificação de zinco

Os resultados de conteúdo de zinco para as tortilhas preparada a partir das farinhas de trigo extraídas das cultivares BRS 404 e MGS 1 Aliança, dos tratamentos Sem Zn e Zn Foliar estão descritos a seguir. Assim como o teor de Zn para grãos e farinha de trigo, a interação entre as cultivares e os tratamentos aplicados não foi estatisticamente significativa ($p > 0,05$).

Desta forma, ao comparar o teor de Zn nas tortilhas de trigo elaboradas com as farinhas das diferentes cultivares, nota-se uma quantidade maior na BRS 404 (2,89 mg 100 g⁻¹), apesar de não apresentar diferença significativa em relação à MGS 1 Aliança (1,74 mg 100 g⁻¹).

Além disso, a comparação da tortilha elaborada com as farinhas controle (2,32 mg 100 g⁻¹) e com as farinhas fortificadas via foliar (2,31 mg 100 g⁻¹), não apresenta diferença

significativa estatística e numericamente. Ou seja, a biofortificação dos grãos de trigo via foliar não aumentou o teor de zinco nas tortilhas produzidas.

De acordo com Serna-Saldivar (2015), o teor de zinco da tortilha de farinha de trigo é de 0,6 mg 100 g⁻¹. Similarmente, a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA, 2020) demonstra que a quantidade de zinco da tortilha de farinha de trigo em 100 g do alimento é de 0,53 mg. Sendo assim, ainda que não tenha sido identificada diferença significativa, a 95% de confiança, entre as tortilhas das cultivares estudadas e tampouco entre os tratamentos aplicados, os resultados obtidos mostram que a média de conteúdo de zinco das tortilhas da cultivar MGS 1 Aliança (1,74 mg 100 g⁻¹) foi quase três vezes maior que o padrão e o da cultivar BRS 404 (2,89 mg 100 g⁻¹) foi quase cinco vezes a mais.

Isso implica que o teor de zinco das farinhas de trigo estudadas e, por consequência, das tortilhas são consideravelmente maiores do que as encontradas no mercado e podem ser utilizadas como forma de aumentar o consumo de zinco da dieta da população.

Em estudo realizado por Subiria-Cueto et al. (2019), com o objetivo de melhorar a qualidade nutricional de tortilha de farinha de trigo, obteve-se resultado ainda maior para o teor de zinco, de 4,9 mg 100 g⁻¹, porém os autores ressaltaram que a farinha de trigo comercial utilizada na elaboração dos produtos era biofortificada com ferro, zinco e ácido fólico, de acordo com regulamentos mexicanos.

3.5.2 Características físico-químicas

Os resultados de umidade, diâmetro, peso, espessura e volume específico das tortilhas produzidas com as farinhas de trigo das cultivares BRS 404 e MGS 1 Aliança estão dispostos na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores médios de umidade (g 100g⁻¹), diâmetro (cm), peso (g), espessura (mm) e volume específico (cm³ g⁻¹) das tortilhas elaboradas a partir das farinhas de trigo estudadas.

Cultivar	Biofortificação	Umidade (g 100g ⁻¹)	Diâmetro (cm)	Peso (g)	Espessura (mm)	Vol Específico ² (cm ³ g ⁻¹)
		Médias ¹				
BRS 404	Sem Zn	15,72 a	16,76 a	31,89 a	2,64 b	1,83
	Zn Foliar	12,80 b	16,00 b	31,16 b	2,83 a	1,86
MGS 1 Aliança	Sem Zn	15,10 b	15,70 a	32,19 b	3,13 a	1,88
	Zn Foliar	16,26 a	16,05 a	32,84 a	2,92 b	1,82

¹Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna para cada cultivar diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância. ²A interação cultivar-biofortificação não foi significativa pelo teste F

para a variável volume específico e por isso não foi realizado o desdobramento da interação bem como o respectivo teste de média.

A umidade da tortilha de trigo foi diferente entre os tratamentos de ambas as cultivares estudadas, sendo que para a BRS 404 variou de 12,80 % (Sem Zn) a 15,72 % (Zn foliar) e a MGS 1 Aliança foi de 15,10 % (Sem Zn) a 16,26 % (Zn Foliar).

Geralmente o teor de umidade de tortilhas de farinha de trigo está em torno de 30 g 100g⁻¹ (MARTÍNEZ-BUSTOS et al., 1999; ALVIOLA; WANISKA, 2008; BARROS; ALVIOLA; ROONEY, 2010; SERNA-SALDIVAR, 2015; TBCA, 2020), resultado que não concorda com os obtidos no presente trabalho.

A água desempenha funções importantes na panificação e influencia na gelatinização do amido, na distribuição das proteínas e no desenvolvimento de cor e sabor do produto (POURAFSHAR; ROSENTRATER; KRISHNAN, 2015). Sendo assim, a diferença encontrada na umidade das tortilhas em relação aos demais trabalhos pode ter sido devido a fatores como o método de análise aplicado, temperaturas e equipamentos utilizados no assamento, formulação do produto e principalmente características das cultivares de trigo.

Além disso, o diâmetro, o peso e a espessura também apresentaram diferenças estatisticamente significativas, porém, numericamente variaram muito pouco. O primeiro, de 15,70 cm a 16,76 cm; o segundo, de 31,16 g a 32,84 g; e o último de 2,64 mm a 3,13 mm. Resultados semelhantes para diâmetro e espessura foram observado por Alviola, Jondiko e Awika (2012) ao estudarem tortilhas de trigo elaboradas com diferentes tipos de farinhas. Os autores encontraram resultados entre 15,50 cm e 18,20 cm de diâmetro e 2,69 mm e 3,05 mm de espessura. Liu et al. (2017) também encontraram resultados similares de diâmetro (16,10 cm a 16,62 cm), espessura (2,20 cm a 2,29 mm) e peso (35,65 g a 35,68 g) ao estudarem os atributos de qualidade de tortilhas de farinha de trigo integral.

O volume específico das tortilhas não apresentou interação significativa entre cultivares e tratamentos, mas obteve o menor valor de 1,82 cm³ g⁻¹ e o maior valor de 1,88 cm³ g⁻¹. Estes resultados corroboram com Alviola, Waniska e Rooney (2008), que obtiveram valores entre 1,5 e 1,9 cm³ g⁻¹ de volume específico ao avaliarem o papel do glúten na tortilha de farinha de trigo.

Assim como o volume específico, a textura, representada pela força e distância de ruptura da tortilha (Tabela 11) também não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre a interação dos fatores estudados. No entanto, a força variou de 3,01 N na tortilha da cultivar BRS 404 Sem Zn a 4,56 N na mesma cultivar de tratamento Zn Foliar. Já a distância foi de 3,02 mm na BRS 404 Sem Zn a 4,52 mm na MGS 1 Aliança Sem Zn.

Ontiveros-Martínez et al. (2011) encontraram valor similar de força de ruptura (4,0 N) em tortilha de farinha de trigo, apesar da distância de ruptura ter sido consideravelmente maior (15,8 mm). Já que a força de ruptura indica a firmeza e a distância indica a extensibilidade da tortilha (LIU et al., 2017), os valores obtidos sugerem que as tortilhas foram consideradas pouco elásticas. Neste sentido, uma diminuição da elasticidade do produto aponta uma tendência mais crocante da tortilha e pode estar relacionado aos menores teores de umidade obtidos.

A textura é um parâmetro importante para o consumidor, contudo uma ampla gama de valores de textura foi encontrada ao estudarem diversas marcas de tortilhas comerciais nos Estados Unidos, influenciado principalmente pela presença e composição da gordura utilizada na formulação (MAO; FLORES; LOUGHIN, 2002).

Tabela 11 - Valores médios de força, distância e cor (atributos L*, a* e b*) das tortilhas de trigo elaboradas a partir das farinhas de trigo estudadas.

Cultivar	Biofortificação	Força de ruptura ² (N)	Distância de ruptura ² (mm)	Cor		
				L*	a*	b*
Médias ¹						
BRS 404	Sem Zn	3,01	3,02	59,67 a	2,59 b	14,93 b
	Zn Foliar	4,56	3,07	59,19 a	3,68 a	16,71 a
MGS 1	Sem Zn	4,22	4,52	59,59 b	3,36 a	15,98 a
Aliança	Zn Foliar	3,64	3,32	61,62 a	2,62 b	15,62 a

¹Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna para cada cultivar diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância. ²A interação cultivar-biofortificação não foi significativa pelo teste F para as variáveis força e distância de ruptura e por isso não foi realizado o desdobramento da interação bem como o respectivo teste de média.

Segundo Rooney e Serna-Saldivar (2016), a textura das tortilhas é influenciada por diversos fatores, como propriedades da proteína da farinha, formulação, equipamentos de produção e parâmetros de processamento, embalagem e condições de armazenamento. Desta maneira, um estudo da textura das tortilhas ao longo do tempo seria necessário para se obter dados mais conclusivos sobre este atributo, inclusive a respeito do comportamento do produto durante a sua vida de prateleira.

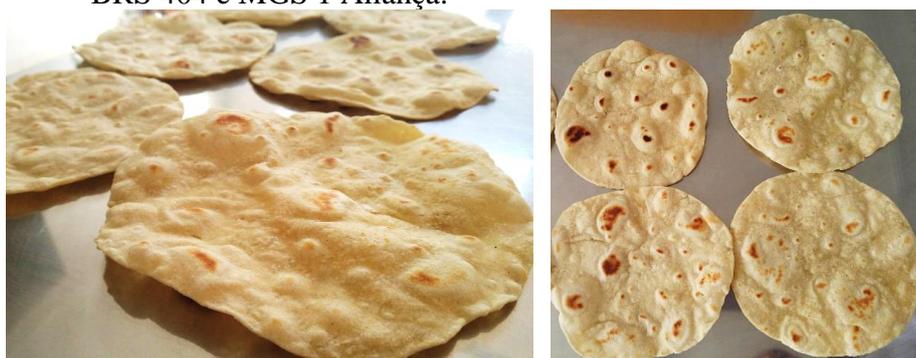
Os atributos de cor avaliados foram L*, a* e b*, sendo que para cultivar BRS 404 a claridade foi estatisticamente igual para os dois tratamentos e diferentes para a MGS 1 Aliança. O atributo a* variou de 2,59 a 3,68, valores positivos próximos do zero, indicando uma coloração bem próxima à zona de cinza da cor. O b* foi positivo, também indicando uma coloração clara tendendo ao amarelo, como esperado para as tortilhas (Figura 5).

Comparando com os resultados obtidos neste estudo, outros trabalhos que avaliaram os parâmetros de cor de tortilhas de farinhas de trigo apresentaram valores similares para b*,

porém encontraram dados consideravelmente maiores para L^* (em torno de 80,0), assim como valores menores para a^* (mais próximos de 0,0) (ALVIOLA; AWIKA, 2010; BARROS; ALVIOLA; ROONEY, 2010; ALVIOLA; JONDIKO; AWIKA, 2012; MONTEMAYOR-MORA et al., 2018).

Contudo, isto indica que as tortilhas elaboradas neste trabalho são levemente mais escuras que as demais. Todavia, a cor do alimento é influenciada por características físico-químicas da massa e do processamento, sendo que produtos de panificação normalmente são afetados por reações químicas, como a de Maillard, que causa escurecimento e varia em função de umidade, temperatura e pH (ESTELLER; LANNES, 2008; POURAFSHAR; ROSENTRATER; KRISHNAN, 2015). Além disso, os colorímetros utilizado nas medições podem interferir nos resultados, apresentado alguma variação.

Figura 5 - Tortilhas de trigo elaboradas a partir de farinhas de trigo das cultivares BRS 404 e MGS 1 Aliança.



Fonte: Do Autor (2019).

4 CONCLUSÃO

Os maiores conteúdos de zinco tanto nos grãos quanto nos farelos de trigo são observados na cultivar BRS 264, enquanto o maior teor de zinco da farinha é constatado na cultivar BRS 394. Ademais, a aplicação de Zn via foliar aumenta o teor do mineral nos farelos quando comparado com os demais tratamentos, o que indica que o consumo de alimentos integrais contribui para a ingestão de maior conteúdo de mineral.

A caracterização físico-química das farinhas de trigo estudadas classifica todas as cultivares como trigos “Tipo 1” quanto ao teor de umidade, proteína, acidez graxa e granulometria. Concomitantemente, os resultados reológicos mostram que as cultivares possuem características panificáveis diferentes e a biofortificação dos grãos de trigo influencia

as cultivares principalmente quanto capacidade de absorção de água, atividade enzimática do grão e ao conteúdo de glúten úmido da farinha de trigo.

Os maiores resultados de força de glúten são encontrados nas amostras da cultivar BRS 404, ao passo que a MGS 1 Aliança apresenta maior capacidade de absorção de água e a BRS 264 possui menor estabilidade e maiores índices de tolerância à mistura. BRS 404 e MGS 1 Aliança também possuem maiores conteúdos de glúten úmido. Estes resultados levam à classificação da cultivar BRS 264 como trigo doméstico, MGS 1 Aliança e MGS Brilhante como trigos ideais para pães e as cultivares BRS 394 e BRS 404 como trigos melhoradores, de acordo com a legislação nacional vigente.

As tortilhas elaboradas com amostras de farinhas de trigo das cultivares BRS 404 e MGS 1 Aliança não apresentam diferenças significativas quanto aos teores de zinco, todavia, as amostras da BRS 404 resultam em média de 2,89 mg 100 g⁻¹ de Zn, quase cinco vezes maior que o convencional. As características físico-químicas e os atributos de textura das tortilhas estão de acordo com o convencional.

Grãos, farinhas, farelos e tortilhas de trigo das cultivares estudadas destacam-se quanto aos teores de zinco quando comparados com outros trabalhos e com as metas estabelecidas pelo HarvestPlus, sugerindo que o cultivo na região Sul do Estado de Minas Gerais pode contribuir para o aumento da ingestão do mineral através do consumo de alimentos derivados do cereal.

Contudo, são necessários estudos mais aprofundados, com variações nas concentrações de Zn aplicadas através dos fertilizantes, a fim de avaliar a real influência da biofortificação no teor de zinco dos grãos de trigo e derivados.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, J. C. et al. Trigo BRS 264: cultivar precoce com alto rendimento de grãos indicada para o cerrado do Brasil Central. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados-Documents (INFOTECA-E)**, 2006.
- ALBRECHT, J. C. et al. Trigo BRS 394-nova cultivar para o cerrado. *In: Embrapa Trigo - Artigo em anais de congresso. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE*, 10., 2016, Londrina. **Anais...** Londrina: Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2016.
- ALVIOLA, J. N.; AWIKA, J. M. Relationship between objective and subjective wheat flour tortilla quality evaluation methods. **Cereal Chemistry**, v. 87, n. 5, p. 481–485, 2010.
- ALVIOLA, J. N.; JONDIKO, T. O.; AWIKA, J. M. Effect of strong gluten flour on quality of wheat tortillas fortified with cross-linked resistant starch. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 36, n. 1, p. 38–45, 2012.
- ALVIOLA, J. N.; WANISKA, R. D. Determining the role of starch in flour tortilla staling using α -amylase. **Cereal Chemistry**, v. 85, n. 3, p. 391–396, 2008.
- ALVIOLA, J. N.; WANISKA, R. D.; ROONEY, L. W. Role of gluten in flour tortilla staling. **Cereal Chemistry**, v. 85, n. 3, p. 295–300, 2008.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved methods of the AACC**. 10. ed. Saint Paul, 2000.
- ANDERSSON, M. et al. Progress update: Crop development of biofortified staple food crops under HarvestPlus. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, v. 17, n. 02, p. 11905–11935, 2017.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 17. ed. Gaithersburg, Md: AOAC International, 2000.
- BALK, J. et al. Improving wheat as a source of iron and zinc for global nutrition. **Nutrition Bulletin**, v. 44, n. 1, p. 53–59, 2019.
- BARROS, F.; ALVIOLA, J. N.; ROONEY, L. W. Comparison of quality of refined and whole wheat tortillas. **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 1, p. 50–56, 2010.
- BONFIL, D. J.; POSNER, E. S. Can bread wheat quality be determined by gluten index? **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 115–118, 2012.
- BOUIS, H. E.; SALTZMAN, A. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. **Global Food Security**, v. 12, p. 49–58, 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365p.
- BRASIL. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 set.

2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. Regulamento Técnico do Trigo. **Diário Oficial da União**, Brasília, 01 dez. 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 2 de junho de 2005. Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. **Diário Oficial da União**, Brasília, 3 jun. 2005.

BRESSIANI, J. et al. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. **Journal of Cereal Science**, v. 75, p. 269–277, 2017.

BURIRO, M. et al. Impact of storage sources on physicochemical properties of various wheat varieties. **Sarhad J. Agric.**, v. 28, n. 2, p. 185–190, 2012.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, v. 302, n. 1–2, p. 1–17, 2008.

CAKMAK, I. HarvestPlus Zinc Fertilizer Project: HarvestZinc. **Better Crops**, v. 96, n. 2, p. 17–19, 2012.

CAKMAK, I.; KUTMAN, U. B. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. **European Journal of Soil Science**, v. 69, n. 1, p. 172–180, 2018.

CAUVAIN, S. P. **Baking problems solved**. 2. ed. Cambridge: Ed. Woodhead Publishing, 2017.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Technology of Breadmaking**. 3. ed. Ed. Springer International Publishing, 2015.

CHAGAS, J. H. et al. Informações fitotécnicas para potencializar o desempenho produtivo da cultivar de trigo BRS 404 no Cerrado do Brasil Central. Passo Fundo, RS: **Embrapa Trigo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2018.

CHAGAS, J. H. et al. Informações fitotécnicas das cultivares de trigo BRS 254, BRS 264 e BRS 394 para o sistema irrigado do Cerrado do Brasil Central. Passo Fundo, RS: **Embrapa Trigo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2020.

CICCOLINI, V. et al. Biofortification with iron and zinc improves nutritional and nutraceutical properties of common wheat flour and bread. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 27, p. 5443–5452, 2017.

COSTA, M. das G. da et al. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 220–225, 2008.

DELCOUR, J. A. et al. Wheat Gluten Functionality as a Quality Determinant in Cereal-Based Food Products. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 3, n. 1, p. 469–492, 2012.

EMBRAPA. Informações Técnicas para Trigo e Triticale. Brasília, DF: **Embrapa Trigo-Circula Técnica (INFOTECA-E)**, 2018.

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Informe Agropecuário: tecnologias para o cerrado mineiro. Belo Horizonte: EPAMIG, v.32, n.260, jan/fev. 2011. 112 p.

ESTELLER, M. S.; LANNES, S. C. S. Production and characterization of sponge-dough bread using scalded rye. **Journal of Texture Studies**, v. 39, n. 1, p. 56–67, 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Second international conference on nutrition**. Rome: FAO, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets**: June 2020. Rome, 2020.

FREDERICKSON, C. J. et al. Importance of zinc in the central nervous system: The zinc-containing neuron. **Journal of Nutrition**, v. 130, n. 5, p. 1471–1483, 2000.

GERMANI, R. Características dos grãos e farinhas de trigo e avaliações de suas qualidades. **Embrapa Agroindústria de Alimentos**, Rio de Janeiro. 56p, 2008.

GERMISHUYS, Z. et al. Characterization of white flour produced from roasted wheats differing in hardness and protein content. **Cereal Chemistry**, v. 97, n. 2, p. 339–348, 2020.

GOESAERT, H. et al. Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v. 16, n. 1–3, p. 12–30, 2005.

GUARIENTI, E. M. Qualidade industrial de trigo. **Embrapa Trigo-Documents (INFOTECA-E)**, 1996.

GUARIENTI, E. M.; CIACCO, C. F.; CUNHA, G. R.; DEL DUCA, L. J. A; CAMARGO, C. M. O. Influência das temperaturas mínima e máxima em características de qualidade industrial e em rendimentos de grãos de trigo. **Food Science and Technology**, v. 24, n. 4, p. 505-515, 2004.

GUTKOSKI, L. C. et al. Influência do tipo de farinha de trigo na elaboração de bolo tipo inglês. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 04, p. 275–282, 2011.

GUTKOSKI, L. C.; NETO, R. J. Procedimento para teste laboratorial de panificação: pão tipo forma. **Ciência Rural**, v. 32, n. 5, p. 873–879, 2002.

GUTKOSKI, L. C.; NODARI, M. L.; JACOBSEN NETO, R. Avaliação de farinhas de trigos cultivados no Rio Grande do Sul na produção de biscoitos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 91–97, 2003.

HAASE, H.; RINK, L. Multiple impacts of zinc on immune function. **Metallomics**, v. 6, n. 7, p. 1175–1180, 2014.

HARVESTPLUS. **Biofortification Progress Briefs**. Washington, DC: International Food Policy Research Institute (IFPRI), 2014. Disponível em:

<<http://www.harvestplus.org/content/new-progress-briefs-biofortification-released>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

HE, Y. et al. Impacts of Starch and the Interactions Between Starch and Other Macromolecules on Wheat Falling Number. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 3, p. 641–654, 2019.

JOY, E. J. M. et al. Zinc-enriched fertilisers as a potential public health intervention in Africa. **Plant and Soil**, v. 389, n. 1–2, p. 1–24, 2015.

KENNEDY, G.; NANTEL, G.; SHETTY, P. The scourge of “hidden hunger”: global dimensions of micronutrient deficiencies. **Food Nutrition and Agriculture**, v. 32, p. 8–16, 2003.

KHAN, K.; SHEWRY, P. R. **Wheat: chemistry and technology**. 4. ed. St Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 2009.

KHAN, M. K. et al. Wheat biofortification - A potential key to human malnutrition. **Journal of Elementology**, v. 22, n. 3, p. 937–944, 2017.

KING, J. C. et al. Biomarkers of Nutrition for Development (BOND)—Vitamin A Review. **The Journal of Nutrition**, v. 146, n. 9, p. 1816S-1848S, 2016.

KREŽEL, A.; MARET, W. The biological inorganic chemistry of zinc ions. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 611, p. 3–19, 2016.

LIN, P. H. et al. Zinc in wound healing modulation. **Nutrients**, v. 10, n. 1, p. 1–20, 2018.

LIU, H. et al. Grain iron and zinc concentrations of wheat and their relationships to yield in major wheat production areas in China. **Field Crops Research**, v. 156, p. 151–160, 2014.

LIU, H. E. et al. Zinc fertilization alters flour protein composition of winter wheat genotypes varying in gluten content. **Plant, Soil and Environment**, v. 61, n. 5, p. 195–200, 2015.

LIU, T. et al. Quality attributes of whole-wheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution. **LWT - Food Science and Technology**, v. 77, p. 1–7, 2017.

MA, W. et al. Wheat flour protein content and water absorption analysis in a doubled haploid population. **Journal of Cereal Science**, v. 45, n. 3, p. 302–308, 2007.

MACDONALD, R. S. The Role of Zinc in Growth and Cell Proliferation. **The Journal of Nutrition**, v. 130, n. 5, p. 1500S-1508S, 1 mai. 2000.

MAO, Y.; FLORES, R. A.; LOUGHIN, T. M. Objective texture measurements of commercial wheat flour tortillas. **Cereal Chemistry**, v. 79, n. 5, p. 648–653, 2002.

MARTÍNEZ-BUSTOS, F. et al. Effect of infrared baking on wheat flour tortilla characteristics. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 4, p. 491–495, 1999.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Instrução de Trabalho - Determinação da Granulometria em Farinha de Trigo**. Goiânia, 26 nov. 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt->

br/assuntos/laboratorios/credenciamento-e-laboratorios-credenciados/legislacao-metodos-credenciados/arquivos-metodos-da-area-pov-iqa. Acesso em: 14 set. 2020.

MIRANDA, M. Z. De; EL-DASH, A. Farinha integral de trigo germinado: Características nutricionais e estabilidade ao armazenamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 3, p. 216–223, 2002.

MÓDENES, N. A.; SILVA, A. M.; TRIGUEROS, D. E. G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 29, n. 3, p. 508–512, 2009.

MONASTERIO, I.; GRAHAM, R. D. Breeding for trace minerals in wheat. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 21, n. 4, p. 392–396, 2000.

MONTEMAYOR-MORA, G. et al. Rheology, acceptability and texture of wheat flour tortillas supplemented with soybean residue. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 12, p. 4964–4972, 2018.

MONTENEGRO, F. M.; ORMENESE, R. C. S. C. **Avaliação da qualidade tecnológica da farinha de trigo**. Campinas: Cereal Chocotec ITAL, 2008.

NEAL, A. L. et al. Iron and zinc complexation in wild-type and ferritin-expressing wheat grain: Implications for mineral transport into developing grain. **Journal of Biological Inorganic Chemistry**, v. 18, n. 5, p. 557–570, 2013.

NUNES, C. A. et al. Chemoface: A novel free user-friendly interface for chemometrics. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, n. 11, p. 2003–2010, 2012.

ONTIVEROS-MARTÍNEZ, M. del R. et al. Effect of Sourdough on Quality and Acceptability of Wheat Flour Tortillas. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 9, 2011.

OURY, F.-X. et al. Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 25, n. 2, p. 177–185, 2006.

OZTURK, L. et al. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. **Physiologia Plantarum**, v. 128, n. 1, p. 144–152, 2006.

PECK, A. W.; MCDONALD, G. K.; GRAHAM, R. D. Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Cereal Science**, v. 47, n. 2, p. 266–274, 2008.

PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. HarvestPlus: Breeding crops for better nutrition. **Crop Science**, v. 47, n. SUPPL. DEC., 2007.

PINHEIRO, V. J. F. et al. Quality evaluation of three brands of type 1 wheat flour commercialized in Belém, Pará, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.

POURAFSHAR, S.; ROSENTRATER, K. A.; KRISHNAN, P. G. Changes in chemical and physical properties of Latin American wheat flour based tortillas substituted with different levels of distillers dried grains with solubles (DDGS). **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 8, p. 5243–5249, 2015.

- ROONEY, L. W.; SERNA-SALDIVAR, S. O. **Tortillas: Wheat Flour and Corn Products**. St. Paul: Ed. AACC International, 2015. 289p.
- SAHA, S. et al. Rescheduling zinc fertilization and cultivar choice improve zinc sequestration and its bioavailability in wheat grains and flour. **Field Crops Research**, v. 200, p. 10–17, 2017.
- SAPIRSTEIN, H. et al. A study of factors influencing the water absorption capacity of Canadian hard red winter wheat flour. **Journal of Cereal Science**, v. 81, p. 52–59, 2018.
- SERNA-SALDIVAR, S. O. Nutrition and fortification of corn and wheat tortillas. *In*: ROONEY, LW, SERNA-SALDIVAR, S. O. **Tortillas: Wheat Flour and Corn Products**. St. Paul, MN: AACC International, p. 29–63, 2015.
- SCHEUER, Patrícia Matos et al. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 2, p. 211-222, 2011.
- SHEWRY, P. R. Wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 6, p. 1537–1553, 2009.
- SILVA, S. R.; BASSOI, M. C.; FOLONI, J. S. S. Informações técnicas para trigo e triticales-safra 2017. Londrina, PR: Embrapa Soja-Livro técnico (**INFOTECA-E**), 2017.
- SOBOLEWSKA, M. et al. Effect of habitat and foliar fertilization with K, Zn and Mn on winter wheat grain and baking qualities. **Agronomy**, v. 10, n. 2, 2020.
- SUBIRIA-CUETO, R. et al. *Brosimum alicastrum* Sw. (Ramón): An Alternative to Improve the Nutritional Properties and Functional Potential of the Wheat Flour Tortilla. **Foods**, v. 8, n. 613, p. 1–18, 2019.
- TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 7.1. São Paulo, 2020. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>>. Acesso em: 19 de jul. de 2020.
- VELU, G. et al. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 59, n. 3, p. 365–372, 2014.
- VETTORI, L. Métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, M.A., Div. Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24 p.
- WATERS, B. M.; SANKARAN, R. P. Moving micronutrients from the soil to the seeds: Genes and physiological processes from a biofortification perspective. **Plant Science**, v. 180, n. 4, p. 562–574, 2011.
- WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, v. 182, n. 1, p. 49–84, abr. 2009.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. What is Malnutrition? Online Q&A. 15 abr. 2020. Disponível em: <<http://www.who.int/features/qa/malnutrition/en/>>. Acesso em: 18 jul. 2020.
- YOVCHEV, A. G. et al. Effect of Salt Reduction on Dough Handling and the Breadmaking Quality of Canadian Western Red Spring Wheat Varieties. **Cereal Chemistry**, v. 94, n. 6, p.

970–977, 2017.

ZHANG, Y. et al. Iron and zinc concentrations in grain and flour of winter wheat as affected by foliar application. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 23, p. 12268–12274, 2010.

ZHANG, Y. Q. et al. Zinc biofortification of wheat through fertilizer applications in different locations of China. **Field Crops Research**, v. 125, p. 1–7, 2012.

ZHAO, A. qing et al. Comparison of soil and foliar zinc application for enhancing grain zinc content of wheat when grown on potentially zinc-deficient calcareous soils. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 10, p. 2016–2022, 2014.

ZHAO, F. J.; HAWKESFORD, M. J.; MCGRATH, S. P. Sulphur Assimilation and Effects on Yield and Quality of Wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 30, p. 1–17, 1999.