

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

JÉSSIA CARNEIRO DE MELLO

ACÚMULO DE ALUMÍNIO EM DERIVADOS DE TRIGO (*Triticum aestivum*)

DISSERTAÇÃO

LONDRINA

2020

JÉSSIA CARNEIRO DE MELLO

ACÚMULO DO ALUMÍNIO EM DERIVADOS DE TRIGO (*Triticum aestivum*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, *Câmpus* Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos - Área de concentração: Tecnologia de produtos de origem vegetal.

Orientador: Prof. D.r Luciano Lucchetta

Co-orientadora: Prof^a D.ra Ivane
Benedetti Tonial

LONDRINA

2020

TERMO DE LICENCIAMENTO

Esta Dissertação está licenciada sob uma Licença Creative Commons *atribuição uso não-comercial/compartilhamento sob a mesma licença 4.0 Brasil*. Para ver uma cópia desta licença, visite o endereço <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envie uma carta para Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, Califórnia 94105, USA.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UTFPR - Câmpus Londrina

M527a Mello, Jéssia Carneiro de

Acúmulo do alumínio em derivados de trigo (*Triticum aestivum*) / Jéssia Carneiro de Mello. - Londrina, 2020.

78 f. : il.; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Lucchetta.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Ivane Benedetti Tonial.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. Londrina, 2020.
Bibliografia: 65-78

1. Trigo. 2. Alumínio. 3. Calagem dos solos. 4. Fosfina. 5. Segurança alimentar.
I. Lucchetta, Luciano, orient. II. Tonial, Ivane Benedetti, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. V. Título.

CDD: 664

Ficha catalográfica elaborada por Cristina Benedeti Guilhem - CRB: 9/911

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título da dissertação N° ____

**ACÚMULO DO ALUMÍNIO EM DERIVADOS DE TRIGO
(*Triticum aestivum*)**

por

JESSIA CARNEIRO DE MELLO

Esta dissertação foi apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de MESTRE EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS – Área de Concentração: Tecnologia de Alimentos, pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos – PPGTAL – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Londrina, às 09:00h do dia 29 de fevereiro de 2020. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta por:

Prof. D.r Prof. Dr. Luciano Lucchetta
Prof. Orientador
UTFPR Câmpus Francisco Beltrão

Prof.^a D.ra Vânia de Cássia Fonseca
Burgardt
Membro Titular

MSc.^a Adriana Pietá
Membro Titular

Visto da coordenação:

Prof. D.r Alexandre Rodrigo Coelho
(Coordenador do PPGTAL)

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ser meu guia.

Agradeço imensamente à Cooperativa Agrária pelo incentivo e por também por defender esta proposta do trabalho, em especial a equipe Agrária Farinhas e FAPA – Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, pelo auxílio e atenção prestados ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu orientador Prof. D.r Luciano Lucchetta, pelo apoio, atenção e incentivo com que me guiou nesta trajetória. À minha co-orientadora Prof.^a D.ra Ivane Benedetti Tonial pelas suas considerações valiosas, e à Prof.^a D.ra Naimara Vieira do Prado, pelo auxílio em todos os momentos da pesquisa.

Por fim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste projeto.

RESUMO

MELLO, Jéssia Carneiro de. Acúmulo de alumínio em derivados de trigo. 78 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos (Área da concentração: Tecnologia de produtos de origem vegetal), Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR). Londrina, 2020.

O consumo de alimentos com teores significativos de alumínio têm sido foco de discussões relacionadas a saúde. Na legislação brasileira não é estabelecido limite do residual de alumínio para alimentos, tampouco recomendações operacionais para assegurar baixas concentrações deste metal e os parâmetros oficiais se resumem às recomendações diárias de consumo. O alumínio está distribuído na natureza, e pode estar presente nas matérias primas ou ainda ser resultado de processos de produção dos alimentos. Na cadeia do trigo e seus derivados, a exposição ao metal ocorre já no plantio, devido à presença do alumínio no solo, como resultado de lixiviação. No entanto, a presença deste metal em solos cultiváveis representa baixas produtividades, uma vez que este composto confere toxidez às plantas, e em função disso, alternativa como a calagem, é utilizada para minimizar estes efeitos, sem, no entanto, haver esclarecimento sobre a potencial migração do alumínio do solo para partes comestíveis da planta, como os grãos. Uma segunda etapa crítica para o potencial incremento do alumínio nesta cadeia é a armazenagem, período em que os grãos podem ser tratados quimicamente com fosfeto de alumínio (fosfina) para o controle de pragas, e que podem apresentar acúmulo residual do metal. Com base nisso, foram conduzidos dois experimentos: o primeiro com o propósito de avaliar o efeito da correção de solo por calagem no teor de alumínio total em produtos farináceos de trigo e o segundo, para avaliação do expurgo no tratamento de grãos de trigo armazenados como potencial contribuinte no incremento de alumínio nos seus derivados. Para isso, foi realizado o plantio do trigo em solo com presença e com ausência de calagem, em sistema de plantio direto, seguida de moagem experimental dos grãos para obtenção dos derivados: farinha de trigo branca, farinha de trigo integral e farelo. No segundo experimento foi realizada uma dopagem de grãos de trigo com dosagens de 0, 50, 100 e 200% do residual de fosfina em pastilhas, seguida de moagem experimental para separação dos mesmos derivados do primeiro experimento. A concentração de alumínio nos produtos farináceos foi realizada pelo método ICP-MS. Os resultados mostraram que o alumínio total presente nos produtos farináceos de trigo pode ser devido a um somatório de fontes ao longo da cadeia produtiva, e que a contaminação se apresenta em maior quantidade no farelo do que em farinhas. Desta forma, conclui-se que o incremento de alumínio em função da sua presença no solo ou do uso de produtos químicos no controle de pragas é considerável, no entanto, isso não é totalmente inevitável, uma vez que se pode adotar medidas preventivas, como o manejo por calagem e de boas práticas no tratamento químico de grãos armazenados, de modo a assegurar que os residuais sejam mínimos.

Palavras-chave: Trigo. Calagem em solo. Alumínio. Fosfina. Segurança de alimentos.

ABSTRACT

MELLO, Jessia Carneiro de. Aluminium acculuration in wheat products (*Triticum aestivum*). 78 f. Dissertation (Marters in Food Technology) – Graduate Program in Food Technology (Concentration Area: Food vegetables), Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Londrina, 2020.

Food consumption with significant levels of aluminum has been the focus of discussions related to health. The Brazilian legislation does not establish a limit for aluminum residues for food, neither the operational recommendations to ensure low concentrations of this metal and the official parameters limited to the daily consumption recommendations. Aluminum is distributed in nature, and can be present in raw materials or be the result of food production processes. In the wheat and its derivatives chain, exposure to metal occurs at planting, due to the presence of aluminum in the soil, as a result of leaching. However, the presence of this metal in cultivable soils represents low productivity, since this compound gives toxicity to plants, and as a result, an alternative such as liming, is used to minimize these effects, without, however, clarifying the potential migration of aluminum from the soil to edible parts of the plant, such as grains. A second critical step for the potential increase of aluminum in this chain is storage, a period in which the grains can be chemically treated with aluminum phosphide (phosphine) for pest control, and which may show residual metal accumulation. Based on this, two experiments were carried out: the first with the purpose of evaluating the effect of liming soil correction on the total aluminum content of wheat flour products and the second to evaluate the purge in the treatment of stored wheat grains as potential contributing to the increase of aluminum in its derivatives. For this, wheat was planted in soil with presence and without liming, in a no-tillage system, followed by experimental grinding of grains to obtain derivatives: white wheat flour, whole-wheat flour and bran. In the second experiment, a doping of wheat grains was performed with dosages of 0, 50, 100 and 200% of the phosphine residual in tablets, followed by experimental grinding to separate the same derivatives from the first experiment. The concentration of aluminum in the flour products was carried out by the ICP-MS method. The results showed that the total aluminum present in wheat flour products may be due to a sum of sources along the production chain, and that the contamination is present in a greater quantity in the bran than in flour. In this way, it is concluded that the increase of aluminum due to its presence in the soil or the use of chemicals in pest control is considerable, however, this is not entirely inevitable, since preventive measures can be adopted, such as liming and good practices in the chemical treatment of stored grains, to ensure that residuals are kept to a minimum.

Keywords: Wheat. Soil Liming. Aluminium. Phosphine. Food Safety.

SUMÁRIO

| | | |
|---------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | OBJETIVO | 13 |
| 2.1 | OBJETIVO GERAL..... | 13 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 3.1 | O TRIGO | 13 |
| 3.2 | PRODUTOS FARINÁCEOS | 15 |
| 3.3 | O ALUMÍNIO | 17 |
| 3.4 | ALUMÍNIO NO SOLO E TOXIDEZ | 18 |
| 3.4.1. | MANEJO DO SOLO POR CALAGEM | 21 |
| 3.5 | ALUMÍNIO EM PÓS-COLHEITA DE TRIGO | 22 |
| 3.6 | ALUMÍNIO NA ÁGUA | 25 |
| 3.7 | ALUMÍNIO, ALIMENTAÇÃO E SAÚDE | 29 |
| 3.8 | ALUMÍNIO NOS ALIMENTOS E EM DERIVADOS DE TRIGO | 30 |
| 4 | MATERIAIS E METODOS | 35 |
| 4.1 | MATERIAIS | 35 |
| 4.2 | MÉTODOS | 35 |
| 4.2.1. | DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO 1 | 36 |
| 4.2.2. | DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO 2 | 38 |
| 4.2.3. | PLANTIO, MANEJO E CARACTERIZAÇÃO DE SOLO | 38 |
| 4.2.4. | PREPARO DAS AMOSTRAS | 41 |
| 4.2.5. | ANÁLISES DE QUALIDADE EM TRIGO EM GRÃOS..... | 42 |
| 4.2.5.1 | <i>Peso hectolitro</i> | 42 |
| 4.2.5.2 | <i>Umidade</i> | 43 |
| 4.2.5.3 | <i>Matérias estranhas e impurezas</i> | 44 |
| 4.2.6. | DOPAGEM DAS AMOSTRAS COM RESIDUAL DE FOSFINA | 44 |
| 4.2.7. | PREPARO DOS PRODUTOS FARINÁCEOS | 45 |
| 4.2.8. | ANÁLISES DE QUALIDADE EM FARINHAS | 46 |
| 4.2.8.1 | <i>Umidade</i> | 46 |
| 4.2.8.2 | <i>Falling number</i> | 47 |
| 4.2.8.3 | <i>Glúten</i> | 47 |
| 4.2.9. | ANÁLISE DE ALUMÍNIO TOTAL EM GRÃOS E EM PRODUTOS FARINÁCEOS | 48 |
| 4.2.10. | TAXA DE TRANSFERÊNCIA DO ALUMÍNIO DO SOLO PARA PRODUTOS FARINÁCEOS... 49 | |
| 4.2.11. | TRATAMENTO DE DADOS | 49 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 50 |

| | | |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1. | EXPERIMENTO 1: EFEITO DA CALAGEM EM SOLO NO TEOR DE ALUMÍNIO TOTAL EM PRODUTOS DERIVADOS DE TRIGO..... | 50 |
| 5.1.1. | CARACTERIZAÇÃO DO SOLO | 50 |
| 5.1.2. | ANÁLISES DE QUALIDADE EM TRIGO EM GRÃOS..... | 53 |
| 5.1.3. | ALUMÍNIO EM PRODUTOS FARINÁCEOS | 54 |
| 5.1.4. | TAXA DE TRANSFERÊNCIA DO ALUMÍNIO DO SOLO PARA PRODUTOS FARINÁCEOS... | 56 |
| 5.1.5. | CONCLUSÃO | 58 |
| 5.2. | EXPERIMENTO 2: RESIDUAL DE FOSFINA NO GRÃO DE TRIGO E SEUS DERIVADOS..... | 58 |
| 5.2.1. | DETERMINAÇÃO DE ALUMÍNIO NO SOLO E GRÃO DE TRIGO | 58 |
| 5.2.2. | ANÁLISES DE QUALIDADE DOS GRÃOS DE TRIGO | 60 |
| 5.2.3. | ANÁLISES DE QUALIDADE EM FARINHA BRANCA E FARINHA INTEGRAL | 61 |
| 5.2.4. | ANÁLISES DE ALUMÍNIO EM FARINHA BRANCA, FARINHA INTEGRAL E FARELO DE TRIGO..... | 62 |
| 5.2.5. | CONCLUSÃO | 64 |
| 6 | CONCLUSÃO GERAL | 65 |
| 7 | REFERÊNCIAS | 65 |

1 INTRODUÇÃO

A contaminação química dos alimentos é um assunto emergente. Riscos à saúde têm sido esclarecidos à medida que ocorrem os avanços técnico científicos. A contaminação pode ocorrer por diversos fatores, incluindo causas naturais ou decorrentes de processos e/ou manipulações (RATHER et al., 2017).

O Guia Alimentar para a População Brasileira (2014) ressalta que a Organização Mundial da Saúde (OMS) propõe que os governos forneçam informações à população para favorecer escolhas alimentares mais saudáveis. Como regra geral, a recomendação é que se dê preferência ao consumo de alimentos *in natura* ou minimamente processados (BRASIL, 2014; MELO et al., 2017).

Dentre os alimentos minimamente processados, o cereal trigo merece destaque. É comumente consumido na forma de farinha com inúmeros usos culinários, tanto domésticos como industriais, além de ser um alimento disponível para todas as classes da população (BRASIL, 2014).

Um dos riscos associados ao consumo de cereais é a presença de metais (CHAMON et al., 2005; TINGGI; SCHOENDORFER, 2018; TORTOE et al., 2018), ainda que isso não seja uma particularidade somente para este grupo de alimentos, uma vez que metais também podem estar presentes em frutas e hortaliças (ROBA et al., 2016; SULTANA et al., 2017), carnes de aves (DARWISH et al., 2018; AENDO et al., 2019), leite (ISMAIL et al., 2015; CASTRO GONZALEZ et al., 2017), peixes (MALHAT, 2011; KORKMAZ GÖRÜR et al., 2012; AHMED et al., 2015; GBOGBO et al., 2018), entre outros.

Diante das pesquisas disponíveis neste tema, percebe-se claramente que contaminação com metais pesados tais como o arsênio, chumbo, cádmio e mercúrio, nos alimentos em geral, são bastante difundidas (MOHAMED et al., 2015; ROBA et al., 2016; ANTOINE; FUNG; GRANT, 2017; SULTANA et al., 2017; ALTUNATMAZ et al., 2018; RITTIRONG; SAENBOONRUANG, 2018; ANTOINE; HAYASHI et al., 2019).

Como resultado, órgãos regulamentadores têm se posicionado na divulgação de limites residuais máximos destes metais pesados, para cada tipo de

alimento, como é o caso da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) do Brasil, que prevê estes limites (BRASIL, 2013).

Porém, mesmo não sendo considerado um metal pesado, o elemento que têm recebido especial atenção nos últimos anos, em termos de riscos associados à saúde, é o alumínio (CAO et al., 2010; ANTOINE; FUNG; GRANT, 2017; KLOTZ et al., 2017; STAHL et al., 2018), e para este, não há limites previstos.

Estudos demonstram que os alimentos são a maior fonte de ingestão deste metal (DANTAS et al., 2007; STAHL; TASCHAN; BRUNN, 2011), mesmo que a problemática já tenha sido apresentada por órgãos de referência ao longo das últimas décadas. Exemplos disso, são relatórios apresentados por *International Programme on Chemical Safety* (IPCS), *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR), *Centre For Food Safety* (CFS) nos anos de 1997, 2008 e 2009, respectivamente, todos com um objetivo em comum, que foi basicamente, preencher lacunas no conhecimento sobre alumínio e a saúde humana e fornecer informações técnicas para o direcionamento de políticas públicas (IPCS, 1997; ATSDR, 2008; CFS, 2009).

O consumo de alumínio em alimentos têm sido relacionados com processos neurofisiológicos responsáveis pela degeneração característica da doença de Alzheimer que, nas últimas décadas, adquiriu grande importância para a saúde pública em todo o mundo (IPCS, 1997; EXLEY, 2001; FERREIRA et al., 2008).

Também neste contexto, outras doenças são citadas, como por exemplo, Parkinson (SÁNCHEZ-IGLESIAS et al., 2009; AHMED; SANTOSH, 2010), autismo (MOHAMED et al., 2015), esclerose múltipla (MOLD et al., 2018), doenças ósseas (ZIOŁA-FRANKOWSKA et al., 2015), além de distúrbios nos rins, fígado e na saúde cardiovascular identificadas em estudos realizados em laboratório (GEYIKOGLU et al., 2013; MARTINEZ et al., 2017).

O alumínio é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, podendo ser encontrado em solo, água ou naturalmente em alguns alimentos (IPCS, 1997).

Mesmo com a ausência de limites legais para alumínio nas diferentes classes de alimentos, mas partindo do pressuposto do direito à saúde e à alimentação adequada e saudável, a recomendação mais atual foi estabelecida em

2016, no *Codex Alimentarius*, e apresentada como ingestão máxima tolerável semanal de alumínio (PTWI – *Provisional Tolerable Weekly Intake*) para humanos, correspondente a 2 mg/Kg de massa corporal (JECFA, 2016).

Mesmo com esta recomendação, há casos de consumo de alumínio em alimentos maiores do que os desejáveis (YEH et al., 2016), e podem variar de acordo com o gênero, idade e os hábitos alimentares (HAYASHI et al., 2019).

A fim de buscar as melhores práticas internacionais, a quantificação de alumínio em farinhas de trigo passou a ser uma prática na indústria moageira brasileira. Porém, ainda é desconhecida a origem do acúmulo deste metal nesta cadeia, impossibilitando recomendar algum controle operacional no tempo devido, que garanta níveis recomendados de alumínio nos produtos finais.

As possíveis fontes de alumínio relacionadas à cadeia do trigo, são solo (IPCS, 1997), água (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001; STAHL; TASCHAN; BRUNN, 2011) e aditivos alimentares (IPCS, 1997; CFS, 2009).

Ainda que o teor de alumínio em derivados do trigo possa ser incrementado ao longo da sua cadeia produtiva, como por exemplo, devido ao uso de aditivos alimentares relatados por *Centre For Food Safety* (CFS), se considera de que este procedimento é gerenciável porque já há orientação de órgãos de referência no assunto disponíveis, podendo assegurar teores mínimos do metal (CFS, 2016).

Outras fontes potenciais, como residuais provenientes do uso de produtos químicos no controle de pragas de grãos armazenados a base de alumínio, não são exploradas e na prática, se nota que podem ser negligenciadas.

Adicionalmente, as fontes naturalmente presentes ou primárias, merecem ser esclarecidas, pois mesmo que haja trabalhos científicos relatando altos teores, não há total certeza em relação às suas fontes (MA et al., 2019). Um exemplo disso, é a possível contribuição do alumínio presente no solo, no teor do metal encontrado nas suas partes vegetais comestíveis.

Considerando esta realidade, este estudo visa avaliar o efeito da calagem, manejo de solo realizado a fim de corrigir teores do alumínio trocável e tóxico às plantas, no teor de alumínio total nos derivados do trigo, como também, quantificar os níveis de alumínio, decorrentes da incorporação de residual de fosfina no tratamento de grãos armazenados, nos seus produtos finais.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o acúmulo de alumínio total em produtos farináceos derivados de trigo considerando o manejo do solo de cultivo e tratamento químico pós-colheita.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar plantio de trigo do cultivar Tbio Sonic® em solo experimental com presença e com ausência de calagem (Experimento 1).
- Incorporar ao grão de trigo o residual de fosfina em quantidades conhecidas (Experimento 2).
- Processar os grãos de trigo provenientes de cada experimento para obtenção de seus produtos farináceos: farinha de trigo branca, farinha de trigo integral e farelo.
- Quantificar teores de alumínio total nos produtos farináceos.
- Analisar as características básicas de qualidade de grãos de trigo reológicas das farinhas integrais e brancas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O TRIGO

O trigo é um cereal de inverno e de grande importância na cadeia de alimentos. São grãos provenientes da espécie *Triticum aestivum* L e *Triticum durum* L (BRASIL, 2010). É uma gramínea originária do sudoeste da Ásia, e sua história está diretamente ligada ao desenvolvimento da civilização. A domesticação deste

cereal foi iniciada há aproximadamente 10 mil anos, contribuindo para a alteração do sistema de vida nômade e no estabelecimento dos primeiros povoados (EMBRAPA, 2016).

No Brasil, sua história nasceu no século 16, junto com a sua colonização. Primeiros relatos da existência do cultivo deste cereal em território brasileiro foram nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro (EMBRAPA, 2016).

Em meados de 1975, iniciaram-se pesquisas em solo brasileiro para melhorar o desenvolvimento de alguns cultivares de trigo, que precisaram adaptar-se ao ambiente hostil, pois a triticultura passava por um estado crítico, com diversas doenças dizimando a produção. Como resultado, cultivares mais resistentes foram desenvolvidos (DIAS, 2012).

O adequado crescimento e desenvolvimento da planta de trigo somente é atingido quando o solo não possui concentrações limitantes de macronutrientes como cálcio, magnésio, fósforo, potássio, nitrogênio, enxofre e de micronutrientes como boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel e zinco. Assim recomenda-se que os produtores conheçam, por meio de análises, as quantidades de cada nutriente no solo, e utilizem esta informação para definir programa de adubação e calagem na propriedade (EMBRAPA, 2016).

O valor comercial do trigo é definido pela qualidade, mas depende da finalidade de uso. O produtor visa um bom rendimento agrícola, já para os moinhos, fatores como impurezas, tamanho e dureza do grão impactam no rendimento de moagem. E finalmente para consumidores, ou para as indústrias, que utilizam farinhas de trigo, parâmetros como força de glúten e cor são decisivos na obtenção de um produto desejado, como bolos, pães e massas (LIMA, 2010).

A classificação de qualidade comercial brasileira envolve os parâmetros de peso hectolitro, número de queda (*falling number*), e os limites máximos de defeitos, tais como matérias estranhas e impurezas, danificados por insetos, danificados por calor, mofados e ardidos, presença de grãos chochos triguilhos e quebrados (BRASIL, 2010).

Também podem ser classificados de acordo com suas características reológicas, sendo definidos como “melhorador”, “pão”, “doméstico” ou “básico” ou

ainda como de “outros usos”, de acordo com as características do glúten e do número de queda (BRASIL, 2010).

Além destes fatores, se considera a sanidade dos grãos. Contaminantes relacionados com a saúde pública são regulamentados por órgãos oficiais. No contexto dos metais, por exemplo, a legislação brasileira limita teores para cereais, mas não especificamente para o alumínio. Os limites atuais praticados são para os metais arsênio, chumbo, cádmio, mercúrio, estanho, cobre (BRASIL, 1998, 2013).

Industrialmente, o trigo em grãos é utilizado para o preparo de bebidas alcoólicas, etanol, para obtenção de amidos e colas, mas sua maior importância é como matéria-prima para a indústria moageira na obtenção de produto farináceos (LIMA, 2010).

De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria do Trigo (ABITRIGO), a produção de trigo no Brasil concentra-se na região sul do país, onde também se encontram 74,49% dos moinhos (ABITRIGO, 2017).

Os seus produtos farináceos, com inúmeros usos culinários domésticos e industriais, são alimentos que em geral, são disponíveis para todas as classes da população (BRASIL, 2014).

3.2 PRODUTOS FARINÁCEOS

A moagem do grão de trigo é composta basicamente pela trituração e separações das suas diferentes frações (endosperma e farelo), originando diferentes produtos (LIMA, 2010).

Por definição, a farinha de trigo, é o produto proveniente da moagem de grãos de trigo do gênero *Triticum*, pela combinação de processos de trituração e de outras tecnologias (BRASIL, 2005a), e é, basicamente, o endosperma do grão moído, apresentando granulometria fina (LIMA, 2010).

A farinha de trigo integral, é também, produzida da mesma matéria prima e tecnologia, porém, resultante do processamento completo do grão limpo, podendo possuir ou não o gérmen (BRASIL, 2005a).

A farinha de trigo é classificada por tipo, podendo ser do tipo 1, tipo 2 ou integral, de acordo com a sua umidade, teor de cinzas, teor de proteínas, granulometria e acidez graxa (BRASIL, 2005a).

O farelo de trigo é resultante do processamento dos grãos do cereal, constituídos principalmente de casca e ou gérmen, podendo conter partes do endosperma (BRASIL, 2005b), e é obtido durante o processamento tecnológico da farinha de trigo refinada, ou branca (ONIPE; JIDEANI; BESWA, 2015).

Análises de composição de alimentos informam componentes minerais, como na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA), porém se limitam aos minerais relacionados com a nutrição, como por exemplo o ferro, zinco e cobre, entre outros componentes (TBCA, 2019).

O mesmo pode ser observado em trabalhos relacionados à composição dos alimentos, onde a composição do farelo, por exemplo, se limita às suas características básicas como umidade, proteínas, fibra, cinzas e micronutrientes como os minerais e vitaminas (ONIPE; JIDEANI; BESWA, 2015).

Porém há que se considerar que, apesar dos benefícios à saúde pelo consumo de produtos integrais (ONIPE; JIDEANI; BESWA, 2015), a presença de contaminantes químicos nestes produtos, pode ser presente em maiores quantidades (BELLUCO et al., 2017).

Neste contexto, metais em geral são comumente relatados (ISKANDER; DAVIS, 1992; ONIPE; JIDEANI; BESWA, 2015), já para o alumínio, há poucos relatos. Especificamente em produtos farináceos, há trabalhos demonstrando teores de alumínio em farelo de trigo que variam de $16,9 \pm 0,46 \text{ mg.Kg}^{-1}$ (ISKANDER et al., 1990) e para a farinha de trigo, com teores entre 1,0 a $19,0 \text{ mg.Kg}^{-1}$ (STAHL; TASCHAN; BRUNN, 2011), assim como índices muito superiores, como de 370 mg.Kg^{-1} (MA et al., 2019).

Benefícios à saúde pelo consumo de produtos integrais têm despertado o interesse em pesquisas no assunto. Um exemplo disso, é o trabalho de De Brier et al. (2015), demonstrando o uso de tecnologias industriais, como polimento dos grãos anterior à moagem, promove farelos mais adequados enquanto ingredientes, elevando suas características sensoriais e nutritivas.

A fim de dar continuidade a este incentivo e melhor direcionar as políticas para controle da contaminação de alumínio nos alimentos, é primordial o entendimento de suas características e possíveis fontes.

3.3 O ALUMÍNIO

O alumínio é um metal acinzentado, dúctil, maleável. Em temperatura ambiente é sólido e está naturalmente presente na crosta terrestre, compondo-a em até cerca de 8% e é um dos elementos mais reativos (IPCS, 1997). É um elemento de número atômico 13, e peso molecular de 26,98 (MONDOLFO, 1976).

Ocorre na natureza na forma de silicatos, óxidos e hidróxidos, combinado com outros elementos como sódio ou flúor, ou formando complexos com matéria orgânica (IPCS, 1997).

Não é encontrado na forma de metal livre, devido à sua reatividade. Possui apenas um estado de oxidação na natureza (Al^{3+}), e seu transporte e distribuição dependerá das características ambientais (IPCS, 1997).

Os primeiros mecanismos de manipulação e aplicação industrial deste metal iniciaram há mais de cem anos e desde então os diversos usos industriais vantajosos, mas também suas implicações à saúde e ambientais vieram sendo questionados (HACHEZ-LEROY, 2013).

Apesar disso, o alumínio é 100% reciclável e à medida que mais empresas buscam inovações de economia de energia em seus produtos e métodos de fabricação, cresce a indústria do alumínio (ALUMINUM ASSOCIATION, 2020).

A produção de alumínio envolve a mineração de depósitos de bauxita da terra e a execução de processamento eletro metalúrgico para finalmente formar alumínio (ALUMINUM ASSOCIATION, 2020). O alumínio comercial puro é o metal proveniente da redução de Al_2O_3 (óxido de alumínio ou alumina, que é o principal componente da bauxita), com menos de 1% de impurezas (MONDOLFO, 1976).

Mas o alumínio também pode ser produzido a partir de sucata reciclada, formando produtos de alto valor agregado como a alumina (DAVID; KOPAC, 2013).

Devido às suas características desejáveis, este metal é amplamente utilizado em uma variedade de utensílios domésticos, como também fabricação de embalagens incluindo garrafas, latas, papel alumínio e outros, além de participar como micro ingrediente em aditivos alimentares (CFS, 2009, 2016).

Assim, estudar o alumínio é importante porque além de ser onipresente no ambiente e em nosso corpo, somente assim será possível identificar onde este metal de fato é precursor de danos à saúde (EXLEY, 2001).

No corpo humano, os alimentos são inquestionavelmente a maior fonte de ingestão deste metal, sendo que sua fonte pode ser naturalmente presente, devido à absorção do metal do ambiente, e é inevitável (STAHL; TASCHAN; BRUNN, 2011).

Nos cereais, por exemplo, níveis de alumínio já podem ser encontrados no solo, na planta e grãos, que é início de toda a cadeia (SZABÓ; GYIMES; VÉHA, 2015; NANDA et al., 2016; LIANG et al., 2019).

3.4 ALUMÍNIO NO SOLO E TOXIDAZ

O alumínio está naturalmente presente no solo na forma de silicato, óxidos e hidróxidos e pode estar associado a outros elementos. Não é encontrado isolado devido à sua reatividade, mas pode ser encontrado na forma de íon Al^{+3} , sua mobilidade e transporte no meio ambiente são determinados por vários fatores, como a presença de outros componentes, matéria orgânica e água (IPCS, 1997; ATSDR, 2008; WATER QUALITY ASSOCIATION, 2013).

No solo, o alumínio pode estar na forma livre, complexado com hidróxidos ($AlOH^{2+}$; $Al(OH)_2^+$; $Al(OH)_3$ e $Al(OH)_4^-$), com sulfato ($AlSO_4^+$), com flúor (AlF_6^{3-}), com ortofosfato ($AlH_2PO_4^{2+}$), com ligantes orgânicos ($Al\text{L.org.}^+$) e também, pode estar na forma de polímeros (poli núcleos de Al). O somatório de alumínio, nestas formas químicas, representa a concentração total do alumínio na solução do solo (SALET, 1998).

As formas de apresentação do alumínio também dependem do pH. Quando o pH aumenta ocorre a hidrólise do íon alumínio, que pode ocorrer sucessivamente

se o aumento do pH prosseguir, e conseqüentemente, alterar a forma de apresentação majoritária do alumínio (SALET, 1998).

Cada espécie de alumínio apresenta um potencial característico de toxidez à planta, sendo que a espécie Al^{3+} foi identificada como tóxica para a maioria das plantas (SALET, 1998), demonstrado em estudos específicos para trigo (SILVA et al., 2010; DEL GUERCIO; CAMARGO, 2011; DELHAIZE; JAMES; RYAN, 2012; IQBAL, 2014).

O efeito da toxidez do alumínio para as plantas é basicamente a interferência no crescimento radicular (LIU et al., 2018) e os mecanismos desta ação podem ser múltiplos (SALET, 1998). Ainda podem haver diferentes mecanismos para cada espécie de planta, o que têm sido alvo de estudos com o objetivo de melhor elucidar estes processos (SALET, 1998).

Na raiz, o efeito de toxicidade do alumínio é percebido pela inibição da sua taxa de crescimento (ZHOU et al., 2007; SILVA et al., 2010; DEL GUERCIO; CAMARGO, 2011; SZABÓ; GYIMES; VÉHA, 2015; LIU et al., 2018), acompanhado de aumento do teor de alumínio e de fósforo, que pode ser efeito do mecanismo de defesa da planta (SZABÓ; GYIMES; VÉHA, 2015).

A presença de fósforo no solo pode levar a formação de complexos insolúveis de alumínio e fósforo, diminuindo a absorção pelas raízes, levando a uma desintoxicação de Al^{3+} (IQBAL, 2014).

Adicionalmente, para um cultivar de trigo considerado como tolerante, foi observado um aumento de atividade do sistema antioxidante e redução do acúmulo de H_2O_2 na raiz, levando a menos danos oxidativos e um crescimento mais intenso (LIU et al., 2018).

Este mesmo comportamento foi observado comparando dois cultivares de trigo acompanhado de um estímulo ao crescimento de pêlos radiculares no cultivar mais tolerante, o que reforça a presença de mecanismos fisiológicos em resposta à toxidez do alumínio (GARCIA-OLIVEIRA et al., 2016).

A tolerância da planta ao Al^{3+} do solo ácido tem relação com fatores genéticos (DEL GUERCIO; CAMARGO, 2011; HAN et al., 2016). Há diferentes tolerâncias entre cultivares de uma mesma espécie, demonstrada por exemplo, em alguns trabalhos realizados em trigo (CAMARGO et al., 2006; ZHOU et al., 2007;

SILVA et al., 2010; DEL GUERCIO; CAMARGO, 2011; DELHAIZE; JAMES; RYAN, 2012; GARCIA-OLIVEIRA et al., 2016; LIU et al., 2018) e aveia (CRESTANI et al., 2011; SILVEIRA et al., 2013).

Estes resultados são especialmente importantes para melhoramentos genéticos com objetivo de obter cultivares mais resistentes (ZHOU et al., 2007; DEL GUERCIO; CAMARGO, 2011; HAN et al., 2016).

Neste contexto, por exemplo, foi visto que genes especiais que conferem melhor tolerância à toxidez do alumínio presente em trigo tipo pão (*Triticum aestivum*) foram utilizados para melhorar esta característica em trigo *durum* (*Triticum turgidum*) (HAN et al., 2016).

Apesar de as plantas apresentam diferentes tolerâncias ao alumínio presente no solo, aparentemente os mecanismos desta defesa são comuns. Embora este seja um foco de estudo durante pelo menos os últimos cinquenta anos, ainda há a necessidade de uma melhor compreensão sobre os mecanismos de resistência, incluindo os processos intracelulares e mecanismos bioquímicos envolvidos na sinalização do estresse causado pelo alumínio (SINGH et al., 2017).

Além da toxicidade, uma segunda problemática é a possível migração do metal do solo para a planta de maneira a contribuir para o aumento dos teores de alumínio total , como é o caso verificado por Cao et al. (2010), onde a translocação do alumínio se mostrou ser maior do que outros metais avaliados, em folhas de chá cultivadas na China.

Já para o trigo, Cui et al. (2014), observaram que o mercúrio presente no solo pode migrar para raízes, caule e folhas, sendo que há diferenças de translocação entre as partes da planta.

Já a translocação do alumínio do solo para a planta do trigo, e especificamente na sua porção comestível, como os grãos e seus produtos farináceos, demanda esclarecimento.

Por hora, estudos evidenciam que o conteúdo de alumínio na raiz é maior do que na parte aérea, sugerindo que a translocação de alumínio foi limitada (SZABÓ; GYIMES; VÉHA, 2015).

A toxicidade do alumínio na raiz é mais acentuada na porção inferior (na ponta da raiz), entre 0 a 5 mm, assim como é a região de maior concentração do alumínio (LIU et al., 2018), reforçando que a migração pode ser prejudicada devido aos mecanismos de defesa da planta.

Mesmo com o fato de existir esta resistência da planta à migração do alumínio, estudos relatam a presença de quantidades de alumínio nos grãos de trigo.

Em grãos de trigo não processados, de um total de 109 amostras avaliadas na China, o teor de alumínio variou de 2,4 a 31,6 mg.Kg⁻¹, com uma média de 11 ± 6 mg.Kg⁻¹, e aproximadamente 80% das amostras apresentaram valores de 5 a 20 mg.Kg⁻¹, que são similares aos estudos anteriores para trigo cultivado na mesma região (LIANG et al., 2019).

A correlação dos múltiplos elementos do grão de trigo e do solo de proveniência já foi avaliada. O estudo realizado por Zhao et al.(2013), demonstrou uma forte correlação entre o teor dos metais cádmio, cromo e manganês com a composição superficial do solo, sugerindo que o trigo avaliado carregou muita informação sobre o seu solo original.

Já o alumínio, por ser indesejável ao solo e sua presença representar baixas produtividades dos cultivos, precisa ser previamente avaliado pelos produtores. A alternativa mais utilizada é o manejo do solo por calagem, que minimiza os efeitos tóxicos à planta e comumente utilizado em solos brasileiros.

3.4.1. MANEJO DO SOLO POR CALAGEM

Calagem é um processo de correção da acidez do solo, que entre outros fatores, pode ser oriunda da hidrólise do alumínio, a qual produz íons H⁺, de acordo com a reação $Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+$ (LOPES; SILVA; GUILHERME, 1991).

Em solos ácidos, o alumínio é a primeira limitação da produtividade das culturas distribuídas no mundo inteiro (SALET, 1998; SINGH et al., 2017).

Realizar a calagem consiste, basicamente, em adicionar calcário, que pode ser calcário de cálcio ou de magnésio. Os carbonatos reagem com o hidrogênio do

solo liberando água e gás carbônico e o alumínio é insolubilizado na forma de hidróxido (LOPES; SILVA; GUILHERME, 1991).

A calagem pode eliminar completamente o estresse de alta concentração de alumínio trocável nas raízes do trigo e se somada à uma fertilização mineral, por exemplo, pode favorecer o aumento de fósforo disponíveis na planta (KOSTIC et al., 2015).

A característica de sensibilidade ou tolerância à acidez do solo (alumínio tóxico), em menor ou maior grau, é intrínseca a cada cultivar de trigo e geralmente, informações de tolerância são fornecidas pelos seus obtentores (EMBRAPA, 2016).

As características de cada cultivar, somada a adoção de sistemas de manejo adequados à conservação de matéria orgânica do solo e equilíbrio de nutrientes contribuem positivamente no cenário da agricultura (FONTOURA et al., 2015a).

A calagem como manejo essencial no controle da produtividade de campo, passa a ser também, importante para redução da disponibilidade de alumínio trocável e conseqüentemente seus teores totais nas partes comestíveis do cultivar trigo, uma vez dada a problemática para a saúde.

No entanto, o plantio não é uma possível fonte exclusiva, pois o incremento de alumínio também pode ocorrer devido a outros manejos, como os de pós colheita.

3.5 ALUMÍNIO EM PÓS-COLHEITA DE TRIGO

Os grãos armazenados precisam ser protegidos contra o ataque de pragas, e o controle químico pode ser utilizado de forma preventiva ou curativa (LORINI et al., 2015). Com este objetivo, uma prática comum, que é realizada há pelo menos 60 anos, é a utilização do produto químico fosfeto de alumínio (fosfina) (LORINI; MIIKE; SCUSSEL, 2002; REED, 2013), disponível comercialmente em pastilhas ou em sachês (REED, 2013).

Este produto, também chamado de fumigante, é obtido por uma combinação de fosfetos metálicos e uma mistura de outros ingredientes sólidos, que são comprimidos para formação de *tablets* ou *pellets* (REED, 2013).

A aplicação de fosfina, expurgo ou fumigação, deve ocorrer em ambiente fechado. O inseticida resultante de vaporização de compostos químicos aplicados na forma sólida, produz uma concentração letal para as pragas alvo (LORINI; MIKE; SCUSSEL, 2002).

Uma vez garantida a vedação, concentração do gás a doses letais e uma distribuição homogênea, haverá a morte desejada dos insetos (LORINI et al., 2015; THABIT; ELGEDDAWY, 2018).

A liberação do gás fumigante, a partir de fosfeto de alumínio, ocorre de acordo com a Fórmula 1 (REED, 2013):



Como resultado desta reação, ocorre a formação do residual hidróxido de alumínio, que se apresenta em pó acinzentado e inerte, e a liberação do gás fosfina, letal para os insetos (KHANCHI et al., 2010; REED, 2013; BEQUISA, 2019a).

O calor e a umidade do ar aceleram a reação, enquanto que o ar seco e o frio têm o efeito oposto (BEQUISA, 2019b). Esta reação começa lentamente e acelera gradualmente, até a completa reação do fosfeto de alumínio (LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRAÇA-NETO, J. B.; HENNIG, 2011).

A partir do término da reação, o residual deixa de ser considerado um pesticida, ou um residual de pesticida, porque não possui propriedades inseticidas. Hidróxidos de metais são comuns na natureza, e por este motivo, órgãos reguladores consideram fumigantes de fosfina ambientalmente amigáveis (REED, 2013).

Desta maneira, muitas pesquisas elucidando sobre doses letais às pragas, resistência de insetos ao produto e eficiência de diferentes procedimentos de aplicações têm sido apresentadas (CHEN et al., 2015; NGUYEN; COLLINS; EBERT, 2015; SAĞLAM; EDDE; PHILLIPS, 2015; ISA et al., 2016), porém, não se observa preocupação relacionada aos contaminantes alimentares intrínsecos ao uso destes produtos químicos, caso condições de manejo não permitam a separação do pó metálico.

Referências científicas sobre este manuseio trazem importantes informações sobre intoxicações em humanos pelo gás, que em muitos casos pode ser letal (MEENA; MITTAL; RANI, 2015; SINHA, 2018; YAN et al., 2018). Além do gás, a exposição ao pó metálico contendo alumínio através de inalação, pode aumentar o risco de doenças cardiovasculares e doenças degenerativas (PETERS et al., 2013), ainda que haja controvérsias, já que a biodisponibilidade via oral é aparentemente baixa e considerada insuficiente para induzir efeitos adversos claros que justifiquem uma caracterização deste risco (DEKANT, 2019).

O uso de fosfina foi avaliado pela primeira vez em 1965 do ponto de vista toxicológico, residual e dos seus aspectos analíticos. Revisões aconteceram em 1966, 1967, 1969 e 1971, porém o limite de residual do gás permitido em grãos pós colheita não foi alterado neste período, e é, até atualmente, $0,1 \text{ mg.Kg}^{-1}$ (FAO/WHO, 2016), e que não parece ser um problema nos produtos tratados, já que a aplicação de métodos analíticos de medição de residual de fosfina em matrizes de cereais tratadas não identificaram valores que ultrapassaram os limites recomendados (KHANCHI et al., 2010; THABIT; ELGEDDAWY, 2018).

Os métodos analíticos também foram utilizados para conferir legitimidade da composição do produto químico declarada pelo fabricante (SANTOS et al., 2018), como também, utilizadas para demonstrar que não há alteração tecnológica do uso da farinha de trigo obtida de grão tratados (FARONI et al., 2002).

Já para o residual em pó (hidróxido de alumínio), resultante da reação de fumigação, não há pesquisas relacionadas à sua quantificação em cereais ou produtos de cereais, assim como não há menção em relação a remoção deste residual em silos na bula dos produtos.

Porém, por mais que haja tecnologias de administração do produto mais adequadas, a realidade de aplicação no formato de pastilhas de fosfina em silos, mostra que o residual é inevitável, com incorporação total devido à distribuição das pastilhas diretamente na massa de grãos. A retirada deste residual em pó é bastante dificultosa, e improvável de ser realizada.

Desta forma, o procedimento de tratamento de grãos de trigo armazenados com expurgo em pastilhas, pode ser considerado um contribuinte para a quantidade

de alumínio residual total em farinhas de trigo, e medidas de boas práticas de fabricação para evitar esta contaminação se fazem necessárias.

3.6 ALUMÍNIO NA ÁGUA

A água é um solvente universal e é um elemento fundamental em muitos processos industriais, incluindo a produção de alimentos. Na produção de farinha de trigo, a água é utilizada para umidificar os grãos anteriormente à moagem e obter melhores rendimentos na separação do endosperma, que compõe a farinha de trigo branca, da casca, que compõe o farelo (LIMA, 2010).

A água pode conter níveis de alumínio provenientes de fontes primárias, como por exemplo devido a lixiviação de rochas e solo (ROSALINO, 2011; WATER QUALITY ASSOCIATION, 2013), ou ainda como resultado de tratamento de água com o uso de agentes a base de alumínio (ROSALINO, 2011).

Avaliações dos teores naturais de recursos hídricos são importantes para identificar a qualidade da água. No trabalho de Akbari et al. (2018) foi realizado um mapeamento das cidades do Iran e as respectivas concentrações de alumínio nos recursos hídricos destes locais, com uma média, mínimo e um máximo de 0,015; 0,0004 e 0,059 mg.L⁻¹, respectivamente. Porém nenhum valor apresentou ser um problema.

Em um trabalho similar realizado com coletas de água em lagos e rios na região da Suíça, os valores variaram entre 10,4 e 100 ppb ou aproximadamente 0,01 e 0,10 mg.L⁻¹ (PEYDAYESH et al., 2019).

Por mais que nenhuma amostra se apresentou acima dos padrões recomendados, foi possível identificar através do mapeamento as áreas mais críticas em relação ao potencial contaminante e também identificar que as diferenças possivelmente se devem às características naturais de cada região (AKBARI et al., 2018; PEYDAYESH et al., 2019).

Diferenças nos teores de alumínio também foram encontrados em água disponível para consumo. Os menores valores foram para água engarrafada

purificada, seguida de água engarrafada de nascente e água de torneira, sendo que a última apresentou a maior variação de acordo com o ponto de coleta (PEYDAYESH et al., 2019), sugerindo que o possivelmente o tratamento possa ter interferido.

Na Malásia, o trabalho realizado para identificar os níveis de alumínio em água, que variaram entre 0,11 e 0,12, não apresentaram níveis acima do recomendado, tampouco indicou risco significativo pelo cálculo do índice de risco (DZULFAKAR et al., 2011).

Quando há um incremento de alumínio na água tratada, geralmente é devido ao uso de agentes coagulantes no seu tratamento, que podem gerar alumínio residual na água tratada (WHO, 2008; ROSALINO, 2011; JIAO et al., 2015).

O residual de alumínio na água pode acarretar alterações de cor na água e depósitos de sedimentos ao longo dos processos (WHO, 2008).

Dentre os processos que envolvem o tratamento de água, as etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração são as mais críticas no que diz respeito ao alumínio residual (ROSALINO, 2011).

Agentes coagulantes mais comumente utilizados no tratamento de água incluem sais de alumínio e ferro e polímeros orgânicos (LOMBI; STEVENS; MCLAUGHLIN, 2010).

Aqueles à base de alumínio são usualmente empregados em doses entre 2 a 5 mg.L⁻¹. O floco precipitado remove contaminantes dissolvidos ou suspensos por mecanismos de neutralização, adsorção e aprisionamento (WHO, 2008)

O policloreto de alumínio, é um exemplo de coagulante a base de alumínio para o tratamento de água e possui diferentes tipos comercialmente disponíveis (KIMURA et al., 2013). Outros exemplos são: cloreto de alumínio (AlCl₃), polímero Al₁₃O₄(OH)₂₄⁷⁺ (Al₁₃) e polímero (AlO₄)₂Al₂₈(OH)₅₆¹⁸⁺ (Al₃₀) (SHU-XUAN et al., 2014).

Cada um possui diferentes eficiências de coagulação e resultantes de processo. Por exemplo, numa avaliação entre cloreto de alumínio (AlCl₃), polímero Al₁₃ e polímero Al₃₀, o AlCl₃ apresentou o maior valor residual de alumínio (SHU-XUAN et al., 2014).

Entre vários fatores, o pH é um parâmetro que tem forte influência no teor de alumínio residual dissolvido na água tratada (WHO, 2008). Os valores de pH próximos da neutralidade apresentam os menores teores do metal (WANG et al., 2010; KIMURA et al., 2013; SHU-XUAN et al., 2014; JIAO et al., 2015). Baixas temperaturas também contribuem para minimizar o teor do alumínio residual (WANG et al., 2010; KIMURA et al., 2013).

Estes dados obtidos são de fundamental importância na escolha de parâmetros de processo de tratamento de água que propicie menores teores de resíduos contaminantes na água tratada, que posteriormente será consumida diretamente ou utilizada em processos industriais.

Mesmo com todos os trabalhos já realizados a fim de se conhecer as características de cada coagulante, o desenvolvimento de novos produtos que propiciem resíduos de alumínio em torno de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$, ainda considerando as variáveis de pH, são desejáveis (KIMURA et al., 2013).

O uso de outras alternativas tecnológicas, como a proposta por Peydayesh et al. (2019), também apresenta resultados animadores no decréscimo de alumínio residual de água para consumo ou de bebidas. Nesta pesquisa, foi avaliado o uso de membranas híbridas, cuja composição possui forte interação com metais. A recuperação de alumínio foi além de 98 %.

O limite de alumínio em água para consumo humano no Brasil e Estados Unidos é $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ (BRASIL, 2011; US EPA, 2013), e análises para o monitoramento são obrigatórios.

Em boas condições de operação numa estação de tratamento, valores de alumínio residuais abaixo de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ são possíveis, mesmo com o uso de coagulantes a base de alumínio (WHO, 2008). Porém, também há o conhecimento da necessidade de flexibilidade considerando a utilidade dos sais de alumínio no processo de coagulação no tratamento da água (US EPA, 2013).

O alumínio residual em água tratada refere-se geralmente a problemas de processo da ETA (estação de tratamento de água), que basicamente, se deve a deficiência no controle e monitoramento de dosagens de agentes químicos, más condições de manutenção, entre outros aspectos. A falta de monitoramento de alumínio entre as etapas de tratamento, bem como a não elaboração do perfil das

moléculas em cada uma delas, não permite a identificação de falhas e conseqüentemente a resolução das mesmas. Se numa análise, a espécie predominante for alumínio solúvel, pode indicar problemas de coagulação. Já se for a espécie particulada, pode indicar problemas na etapa de filtração (ROSALINO, 2011).

Um segundo problema relacionado ao alumínio, neste mesmo contexto, é referente aos residuais que são produzidos como subprodutos destes processos de tratamento de água e a destinação dos mesmos têm sido foco de estudos, uma vez que podem conter contaminantes, além do fato que a sua destinação em aterros sanitários possui um alto custo (LOMBI; STEVENS; MCLAUGHLIN, 2010).

Os dados obtidos por Lombi; Stevens; Mclaughlin (2010) sugerem que o uso de resíduos de tratamento de água com altos teores de alumínio em um cultivo de alface prejudica o crescimento da planta devido à diminuição da disponibilidade de fósforo do solo e não diretamente à toxicidade do alumínio.

Com o fim de minimizar estes efeitos, estudos como os de Ooi et al. (2018) na avaliação de recuperação de alumínio em lodos resultantes do tratamento de água por lixiviação ácida, vêm a contribuir positivamente. Como resultado principal desta pesquisa, têm-se que o agente coagulante utilizado no tratamento da água é determinante na quantidade de alumínio residual total e fatores como concentração ácida, proporção sólido-líquido, temperatura e tempo de aquecimento na lixiviação ácida são determinantes na recuperação do alumínio do lodo. Nas melhores condições, o resultado experimental foi de $68,8 \pm 0,3$ % contra 70,3 % calculado e o parâmetro mais impactante para a recuperação foi a proporção sólido-líquido.

Além destes fatores, a água proveniente de minas de extração também pode contribuir para a contaminação do ambiente. Na avaliação de Lu; Ma; Lin (2011), o teor de alumínio contido em água de mina pode ser transportado pelos cursos de água, principalmente em épocas de enchentes.

Todas as informações técnico científicas relacionadas à água aqui discutidas são essencialmente importantes, uma vez que estudos na área de medicina demonstram haver relação entre o consumo de água contendo alumínio e o risco de desenvolvimento de demências em homens e mulheres (RUSS et al., 2019), especialmente em idosos (FERREIRA et al., 2009).

3.7 ALUMÍNIO, ALIMENTAÇÃO E SAÚDE

A relação do alumínio e o risco à saúde tem sido estudada há pelo menos cinquenta anos, e certamente este metal não é inerte no corpo humano (EXLEY, 2001).

Pesquisas relacionando a exposição deste metal pelos alimentos ou por fontes ambientais, biodisponibilidade e absorção pelo organismo e os mecanismos toxicológicos, vêm sendo estudados até os dias atuais (ATSDR, 2008; CFS, 2009; JECFA, 2016).

A exposição dos humanos ao alumínio do ambiente se deve primeiramente pelos alimentos e água, sendo que os alimentos são os principais contribuintes. Também pode ocorrer exposição pelo ar e por medicamentos, porém medir a exposição ainda é uma dificuldade considerando amostragens, métodos analíticos, biodisponibilidade e absorção pelo organismo humano (IPCS, 1997; ATSDR, 2008).

A absorção pelo organismo é aparentemente baixa em humanos, embora os mecanismos gastrointestinais de absorção ainda não estão completamente esclarecidos (IPCS, 1997).

Apesar disso, o alumínio tem sido relatado por seus efeitos a saúde relacionando-se ao desenvolvimento de doenças degenerativas, como por exemplo, o mal de Alzheimer (EXLEY, 2001; FERREIRA et al., 2008), esclerose múltipla (MOLD et al., 2018), doença de Parkinson (SÁNCHEZ-IGLESIAS et al., 2009; AHMED; SANTOSH, 2010) além de desordens genéticas testadas em laboratório (ATSDR, 2008).

Cabelos de crianças autistas apresentaram teores de alumínio maiores do que em cabelos de crianças do controle, indicando uma possível relação entre a exposição ao metal em momentos importantes do desenvolvimento, e uma possível causa do autismo (MOHAMED et al., 2015).

O alumínio pode acumular-se nos ossos ao longo da vida. Os teores dependem do tipo de medicamento que o paciente administrou, exposição a produtos químicos, diferenças na anatomia corporal e sexo. Estas informações são

particularmente importantes para pesquisas adicionais sobre o papel do alumínio em doenças ósseas (ZIOŁA-FRANKOWSKA et al., 2015).

Considerando o forte interesse e preocupação da comunidade científica nesta relação, trabalhos completos compilando inúmeras informações sobre os efeitos do alumínio na saúde foram publicados nos últimos anos (CRISPONI et al., 2013; KLOTZ et al., 2017). Sendo possível encontrar esclarecimentos sobre a ingestão por via oral, pelo contato com a pele, ou ainda, por vias respiratórias (ATSDR, 2008).

Neste contexto, foi verificado que além do diagnóstico médico realizado em pacientes humanos com estas doenças, indicando a presença de alumínio (MOHAMED et al., 2015; MOLD et al., 2018), os pesquisadores também têm o recurso de utilizar animais a fim de explorar os efeitos da toxicidade do alumínio (GEYIKOGLU et al., 2013; KUZNETSOVA; ARESHIDZE; KOZLOVA, 2017; MARTINEZ et al., 2017).

Em ratos, por exemplo, a administração de dose diária aceitável de alumínio indicou um rápido início de deterioração da função hepática e renal, além de afetar rins, fígado e tecidos sanguíneos mesmo a baixas dosagens administradas (GEYIKOGLU et al., 2013). Também indicou um comprometimento da saúde cardiovascular (MARTINEZ et al., 2017).

Considerando o exposto, conhecer a fonte ou fontes do alumínio na cadeia do trigo é de fundamental importância para estabelecer os controles devidos, a fim de minimizar e gerenciar este metal em menores níveis possíveis.

3.8 ALUMÍNIO NOS ALIMENTOS E EM DERIVADOS DE TRIGO

Em razão da ocorrência natural do alumínio nos alimentos, é praticamente impossível a eliminação completa pela alimentação. Mesmo quando dosagens máximas recomendadas não são ultrapassadas, há a notável preocupação da comunidade científica na redução do consumo médio diário de alumínio pelos alimentos, principalmente para crianças (CRISPONI et al., 2013; GUO et al., 2015;

BAGRYANTSEVA et al., 2016; JECFA, 2016; YEH et al., 2016; HARTWIG; JAHNKE, 2017; MA et al., 2019).

O risco de exposição ao alumínio pode ser calculado, e geralmente varia entre adultos e crianças. Considerando doces e *snacks* por exemplo, geralmente a exposição ao contaminante é maior para crianças do que para adultos, já que o hábito de consumo alimentar é considerado nesta avaliação (YEH et al., 2016).

Dados importantes podem ser apresentados como ingestão diária estimada (EDI – *Estimated Daily Intake*), que é determinada considerando a média do teor de alumínio e a quantidade da ingestão diária estimada, para um mesmo alimento (ANTOINE; FUNG; GRANT, 2017; FILIPPINI et al., 2019), ou ainda, ingestão semanal estimada por quilo de massa corporal (PTWI – *Provisional Tolerable Weekly Intake*), geralmente expressa para uma massa de 60 Kg (LIANG et al., 2019).

Dadas estas informações padronizadas, é possível fazer comparações entre regiões, categorias de alimentos ou ainda, comparar com valores de referência. Na Tabela 1 por exemplo, são apresentadas as médias de consumos de alumínio semanal por quilo de massa corporal.

Tabela 1 – Média de consumo de alumínio semanal em alimentos no mundo.

| País | Média de consumo de alumínio semanal por quilo de massa corporal mg.Kg⁻¹ | Referência |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Itália | 0,41* | (FILIPPINI et al., 2019) |
| China | 0,60* | (LIANG et al., 2019) |
| China -Tianjin | 8,4* | (MA et al., 2019) |
| China-Shangai | 0,51* | (GUO et al., 2015) |
| Sul da China | 1,50* | (JIANG et al., 2013) |

*Para 60 Kg de massa corporal. Fonte: O Autor (2019).

Os valores diferenciam-se em cada região. O maior valor encontrado corresponde à Tianjin, na China, que mesmo para diferentes faixas etárias apresentou altos teores de consumo, sendo na sua totalidade maiores do que o *Provisional Tolerable Weekly Intake* (PTWI) recomendado (JECFA, 2011; MA et al., 2019).

A ingestão de alumínio pelos alimentos, sendo diária ou semanal, é calculada e tipicamente se encontram valores diferenciados na literatura. Para este cálculo, deve-se considerar hábitos alimentares de cada cultura ou região, idade, gênero, peso corporal e quantidade de alumínio particular de cada alimento, podendo haver variações entre o mesmo alimento proveniente de diferentes localidades (JECFA, 2011; HAYASHI et al., 2019).

Na categoria de alimentos de trigo e seus derivados, o mesmo comportamento de variação foi observado (Tabela 2).

Tabela 2 – Quantidade de alumínio em alimentos derivados do cereal trigo.

| Tipo de alimento | Alumínio total mg.Kg⁻¹ | Local | Referência |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Pão | 3,55 ¹ | Itália | (FILIPPINI et al., 2019) |
| | 1,0 a 14,0 ² | Alemanha | (STAHL; TASCHAN; BRUNN, 2011) |
| | 1,0 a 28,0 ² | Hong Kong | (CFS, 2009) |
| | <0,01 ³ | Japão | (OGIMOTO et al., 2016) |
| Farinha de trigo | 370.91 ± 370.22 ⁴ | China (Tianjin) | (MA et al., 2019) |
| | 1,0 a 19,0 ² | Alemanha | (STAHL; TASCHAN; BRUNN, 2011) |
| Pré-mistura para pães ou confeitaria | 1,0 a 737,0 ² | Alemanha | (STAHL; TASCHAN; BRUNN, 2011) |
| | <0,01 a 1,06 ² | Japão | (OGIMOTO et al., 2016) |
| <i>Crackers, crispbread, salty snacks</i> | 3,51 ¹ | Itália | (FILIPPINI et al., 2019) |
| Biscoitos ou <i>cookies</i> | 4,44 ¹ | Itália | (FILIPPINI et al., 2019) |
| | 0,01 a 0,05 ² | Japão | (OGIMOTO et al., 2016) |
| | 1 a 88 ² | Hong Kong | (CFS, 2009) |
| Bolos e tortas | 2,34 ¹ | Itália | (FILIPPINI et al., 2019) |
| | 1 a 220 ² | Hong Kong | (CFS, 2009) |
| Pão frito | 4,5 a 852,7 ² | China | (LI et al., 2017) |
| Farinha e macarrão | 14,0 ± 11,7 ⁴ | Sul da China | (JIANG et al., 2013) |
| Produtos cozidos à base de farinha | 187,1 ± 189,4 ⁴ | Sul da China | (JIANG et al., 2013) |
| Produtos fritos à base de farinha | 282,7 ± 249,0 ⁴ | Sul da China | (JIANG et al., 2013) |

Os valores são apresentados de acordo com sua referência, sendo: 1: mediana. 2: valor mínimo e máximo. 3: média. 4: média ± desvio padrão.

Em farinha de trigo por exemplo, há uma diferença significativa entre os valores encontrados. Por exemplo na China (MA et al., 2019) os teores de alumínio são cerca de vinte vezes maiores do que os valores encontrados na Alemanha (STAHL; TASCHAN; BRUNN, 2011).

O conteúdo de alumínio total em produtos de cereais depende grandemente do processo de fabricação, portanto, enquanto alguns produtos possuem baixos índices, outros terão quantidades consideráveis (BRATAKOS et al., 2012).

Na avaliação de Ma et al. (2019), em um total de 69 amostras, 62,32% apresentaram valores maiores do que 100 mg.Kg^{-1} , que é a recomendação chinesa, o que indica que pode haver o incremento pelo uso de outros ingredientes contendo alumínio.

Os aditivos com alumínio regulamentados por *Food and Agriculture Organization e World Health Organization (FAO/WHO)*, para uso em derivados de trigo são: INS 523 (sulfato de alumínio e amônio) e INS 541 (fosfato ácido de alumínio e sódio). Estes são utilizados com o propósito de regular acidez, estabilizar cor e dar estrutura adequada ao alimento. Podem ser utilizados em biscoitos, pães, massas, farinhas e pré mistura a base de farinhas, com teores máximos recomendados diferenciados a cada classe de alimento (FAO/WHO, 2015).

Em um produto de confeitaria como um bolo, pode conter múltiplos contribuintes para o teor de alumínio total. Tanto naqueles ingredientes básicos, como ovos, leite e farinha, como em coberturas, recheios e fermentos, onde os aditivos são encontrados (BRATAKOS et al., 2012).

Também vale ressaltar as diferenças entre legislações em cada região do mundo. No Brasil, o uso do aditivo INS 541i (fosfato ácido de alumínio e sódio ou alumínio fosfato de sódio ácido), até então autorizado pela RDC n° 383 de 1999 da ANVISA, como fermento químico na fabricação de pães, e limite máximo recomendado de 1000 mg.Kg^{-1} , foi proibido pela publicação da RDC n°285, de 21 de maio de 2019 da ANVISA (BRASIL, 2019). Já na China, este mesmo aditivo está proibido (CHINA, 2012).

Na avaliação de Stahl; Taschan; Brunn (2011) em produtos de cereais (total de 425 amostras entre farinhas, pré mistura pronta para panificação, pães, *pretzels* e biscoitos salgados), 82% das amostras avaliadas apresentaram valores menores do

que 10 mg.Kg⁻¹ de alumínio total, 20% com valores entre 10 e 100 mg.Kg⁻¹ e apenas 2% das amostras com teores de alumínio maiores do que 100 mg.Kg⁻¹.

A média geral encontrada para produtos de cereais foi de 4 mg.Kg⁻¹. No entanto, o range de teores variou entre 1 e 737 mg.Kg⁻¹, sendo que os maiores teores encontrados foram em amostras de pré misturas prontas para panificação, com castanhas ou com aditivo sulfato de alumínio e sódio. De todos os produtos de cereais avaliados, pães e farinhas apresentaram os menores teores, sendo 1 a 14 mg.Kg⁻¹ e 1 a 19 mg.Kg⁻¹, respectivamente (STAHL; TASCHAN; BRUNN, 2011).

Mesmo diante da problemática do uso dos aditivos nestes produtos, também há a notável redução observada no ano de 2009 e entre os anos de 2011 e 2014, podendo estar associada às políticas públicas, ainda que a exposição em alguns alimentos específicos possa ultrapassar o recomendado para crianças (OGIMOTO et al., 2016).

Para cidadãos de Shangai a exposição ao alumínio pela ingestão de farinhas de trigo e derivados variou entre 0,42 a 1,88 mg.Kg⁻¹ de peso corporal por semana. Estes valores correspondem a 97% da ingestão máxima recomendada (2 mg.Kg⁻¹) para adultos, e a 77% para crianças. Ainda assim, os resultados indicam que a exposição ao alumínio devido a farinha de trigo e seus derivados não aparenta ser crítica no desenvolvimento de efeitos adversos à saúde da população local (GUO et al., 2015).

Com o propósito de reduzir ao máximo o teor de alumínio no alimento, se recomenda que as empresas de alimentos tenham como diretriz o uso mínimo possível de aditivos contendo alumínio ou dar preferência aos seus substitutos, assim como, aderir alternativas técnicas no processamento que ajudem a diminuir risco de contaminação. Além disso, informar o consumidor de maneira precisa é essencial, ou seja, todos os aditivos utilizados devem ser descritos na embalagem (CFS, 2016).

Mesmo que teores de alumínio em trigo e em produtos minimamente processados, como o caso dos produtos farináceos, não sejam os maiores contribuintes para a ingestão do metal, a quantificação de alumínio nestes produtos se torna necessária na indústria moageira brasileira.

Os produtos farináceos são ingredientes para uma diversidade de outros alimentos, inclusive infantis, e até o momento, as possíveis fontes do metal não são totalmente esclarecidas, impossibilitando recomendar algum controle operacional no tempo devido, que garanta níveis recomendados de alumínio nos produtos finais.

4 MATERIAIS E METODOS

4.1 MATERIAIS

Para a realização deste estudo foram utilizadas amostras de trigo (*Triticum aestivum*) do cultivar TBIO Sonic®, trigo classificado como melhorador, do obtentor Biotrigo Genética.

Estes foram cultivados em sistema de plantio direto, no período de julho a novembro de 2018, para realização do experimento 2 e de julho a novembro de 2019 para o experimento 1, em solo experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA, localizada em Guarapuava – PR.

O residual de fosfina foi preparado a partir da reação de pastilhas, da marca comercial Phostoxin® utilizada no tratamento de grãos armazenados.

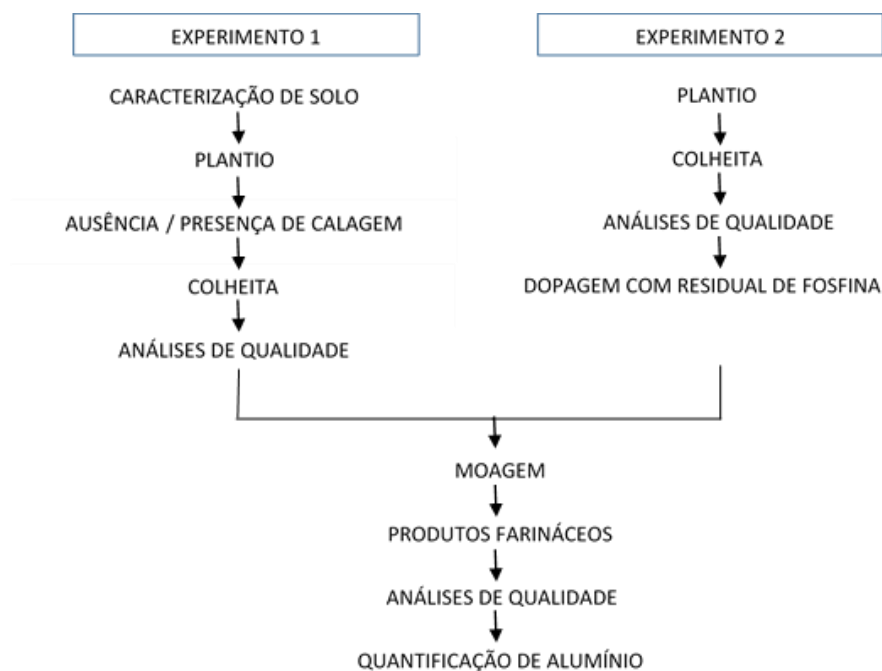
4.2 MÉTODOS

Este estudo está dividido em dois experimentos envolvendo manejo de solo e pós colheita:

- Experimento 1: Efeito da calagem no solo no teor de alumínio total em produtos farináceos.
- Experimento 2: Residual de fosfina no grão de trigo e seus derivados: farinha branca, farinha integral e farelo.

O fluxograma detalhado foi descrito conforme a Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma dos Experimentos 1 e 2.



Fonte: O Autor (2020).

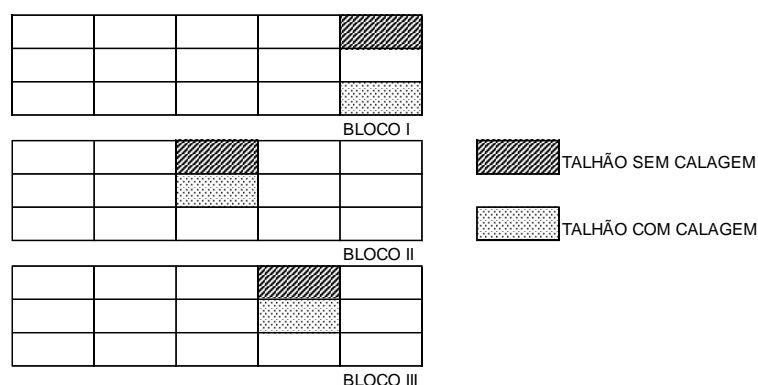
4.2.1. DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO 1

O delineamento do Experimento 1 foi inteiramente casualizado composto pelos fatores calagem, em 2 níveis (presença e ausência de calagem), pelo fator tipo de produto, em 3 níveis (farinha branca, farinha integral e farelo de trigo) e blocos de plantio, em 3 níveis (bloco I, II e III).

O solo com calagem superficial corresponde ao solo que recebeu a correção por calagem, cuja dosagem foi determinada a partir da análise dos resultados de caracterização química do solo, principalmente os parâmetros indicativos de acidez, bem como com o uso de tabelas de referência para calagem na região do Paraná, ao longo dos últimos anos (FONTOURA et al., 2015a).

Os solos com calagem e sem calagem foram divididos em 3 blocos, em talhões medindo 360m² cada um (30 x 12m) (Figura 2).

Figura 2 – Esquema dos talhões de solo do Experimento 1.



Fonte: O Autor (2020).

A avaliação de composição do solo para cada tratamento deste experimento está descrita na Tabela 3.

Tabela 3 – Delineamento experimental para avaliação da composição de solo.

| Calagem | Bloco I | | Bloco II | | Bloco III | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| | Ausência | Presença | Ausência | Presença | Ausência | Presença |
| Amostras de solo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

As análises de alumínio total foram realizadas com 2 repetições, para cada produto farináceo, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Delineamento experimental para avaliação da quantidade de alumínio total em farinha branca, farinha integral e farelo.

| Calagem | Bloco I | | Bloco II | | Bloco III | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| | Ausência | Presença | Ausência | Presença | Ausência | Presença |
| Farinha branca | 1 | 7 | 13 | 19 | 25 | 31 |
| | 2 | 8 | 14 | 20 | 26 | 32 |
| Farinha integral | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 | 33 |
| | 4 | 10 | 16 | 22 | 28 | 34 |
| Farelo | 5 | 11 | 17 | 23 | 29 | 35 |
| | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 |

4.2.2. DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO 2

O delineamento experimental deste estudo foi inteiramente casualizado composto por um fator (dopagem com residual de fosfina: hidróxido de alumínio), em 4 níveis (0, 50, 100 e 200%) e 3 repetições, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Delineamento experimental para avaliação da quantidade de alumínio residual em trigo, farinha branca, farinha integral e farelo como resultado de incorporação de hidróxido de alumínio.

| Amostra | Quantidade de residual de hidróxido de alumínio em pó | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------------------------|------|------|-------|-------|
| | % m/m mg.Kg ⁻¹ | 0 | 50 | 100 | 200 |
| | | 0 | 2,6 | 5,3 | 10,6 |
| Trigo em grãos (T) | | 1T0 | --- | --- | --- |
| | | 2 T0 | --- | --- | --- |
| | | 3 T0 | --- | --- | --- |
| Farinha branca (FB) | | 1B0 | 1B50 | 1B100 | 1B200 |
| | | 2B0 | 2B50 | 2B100 | 2B200 |
| | | 3B0 | 3B50 | 3B100 | 3B200 |
| Farinha integral (FI) | | 1I0 | 1I50 | 1I100 | 1I200 |
| | | 2I0 | 2I50 | 2I100 | 2I200 |
| | | 3I0 | 3I50 | 3I100 | 3I200 |
| Farelo (F) | | 1F0 | 1F50 | 1F100 | 1F200 |
| | | 2F0 | 2F50 | 2F100 | 2F200 |
| | | 3F0 | 3F50 | 3F100 | 3F200 |

Legenda: As letras T, FB, FI e F representam as amostras de trigo em grãos, farinha branca, farinha integral e farelo, respectivamente, seguido dos percentuais de residual de hidróxido de alumínio em pó aplicados (% m/m).

4.2.3. PLANTIO, MANEJO E CARACTERIZAÇÃO DE SOLO

Os procedimentos adotados para plantio, manejo e coleta de solo para cada experimento pode ser verificado, resumidamente, na Tabela 6.

Tabela 6 – Detalhamento de plantio, manejo e coleta de solo dos experimentos.

| | Experimento 1 | Experimento 2 |
|--------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Período de cultivo | julho a novembro de 2019 | julho a novembro de 2018 |
| Manejo de solo | Ausência e presença de calagem superficial | Presença de calagem superficial |
| Sistema de plantio | Plantio direto | |
| Coleta de solo | Profundidade de 0 a 20 cm com o uso de trado calador | |

O solo com calagem superficial corresponde ao solo que recebeu manejo com calcário, e o solo sem calagem corresponde ao solo que não recebeu nenhum tipo de tratamento, de acordo com protocolos da FAPA.

Considerando que o plantio do cultivar teste foi realizado o sistema de plantio direto, com aplicação de calcário na superfície do solo e sem o revolvimento, a camada de solo coletada se deu a uma profundidade de 0 a 20 cm, com o uso de trado calador (Figura 3) (FONTOURA et al., 2015a).

Foram coletadas amostras de 5 pontos do talhão que compuseram uma amostra única, representativa do talhão, totalizando 6 amostras para o experimento 1, e 1 amostra para o experimento 2.

Figura 3 – Coleta de solo com o uso de trado calador.



Fonte: O Autor (2020).

As amostras de solo colhidas foram armazenadas em caixas de papelão e secas em estufa com circulação de ar da marca De Leo®, a 60°C por 24 horas (Figura 4). Após a secagem, foram armazenadas em sacos plásticos até a realização das análises.

Figura 4 – Secagem de amostras de solo em estufa



Fonte: O autor (2020).

A composição do solo foi feita de acordo com a Tabela 7. Estas análises foram realizadas pelo laboratório Fundação ABC, com acreditação do INMETRO ABNT NBR ISO/IEC 17025, escopo nº CRL 0616.

Tabela 7 – Análises e métodos utilizados para avaliação de composição de solo.

| Parâmetro | Extrator | Unidade | Método | Limite de quantificação |
|--------------------------|------------------------------------------------|-----------------------|---------------|--------------------------------|
| Fósforo | Mehlich | mg/dm ³ | Embrapa | 2,0 mg.dm-3 |
| Matéria Orgânica | Na ₂ Cr ₂ O ₇ | g/dm ³ | IAC | 6,6 g.dm-3 |
| pH | CaCl ₂ | - | IAC | - |
| Hidrogênio+Alumínio | SMP | cmolc/dm ³ | IAC | - |
| Alumínio | KCl | cmolc/dm ³ | IAC | 0,5 mmolc.dm-3 |
| Potássio | Mehlich | cmolc/dm ³ | Embrapa | 0,6 mmolc.dm-3 |
| Cálcio | KCl | cmolc/dm ³ | IAC | 3,4 mmolc.dm-3 |
| Magnésio | KCl | cmolc/dm ³ | IAC | 2,0 mmolc.dm-3 |
| Soma de Bases (SB) | - | cmolc/dm ³ | Embrapa | - |
| Cap. Troca Cat. (CTC) | - | cmolc/dm ³ | Embrapa | - |
| Saturação de Bases (V%) | - | % | Embrapa | - |
| % Alumínio (CTC Efetiva) | - | % | Embrapa | - |
| % Sat. por Alumínio | - | % | Embrapa | - |

CTC: capacidade de troca de cátions. SMP: método de análise baseado no poder tampão do solo, Shoemaker, Mac lean e Pratt (SMP). SB: soma de bases. IAC: Instituto Agrônomo de Campinas.

4.2.4. PREPARO DAS AMOSTRAS

O trigo em grão foi colhido por colheitadeira automática. Do total de trigo colhido, foram separados para realização dos experimentos aproximadamente 30 Kg, representativas de cada talhão de análise.

Os grãos foram limpos e armazenados em sacos de tecido de algodão e em temperatura ambiente, em local seco e ventilado durante o período necessário para as análises.

A amostra de trabalho, para realização das análises em grão e da moagem, foi separada utilizando um homogeneizador redutor de amostras da Gehaka®, modelo 8:1. Os grãos foram colocados na cuba superior e por gravidade, reduzidos e divididos em amostra de trabalho e amostra de descarte.

A amostra de trabalho foi avaliada quanto às características de qualidade de grão como umidade, impurezas e matérias estranhas e peso hectolitro.

4.2.5. ANÁLISES DE QUALIDADE EM TRIGO EM GRÃOS

As análises de qualidade em trigo em grãos são essencialmente importantes porque determinam a qualidade e a precificação na comercialização e uso dos grãos. As análises de qualidade realizadas neste experimento são demonstradas na Tabela 8.

Tabela 8 – Análises, equipamentos e métodos utilizados para avaliação de qualidade de trigo em grãos.

| Análise | Equipamento | Método |
|------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Peso hectolitro Kg.hectolitro ⁻¹ | Balança de peso hectolitro | BRASIL, 2010 |
| Umidade % | Estufa com circulação marca Etica® | BRASIL, 2009 |
| Matérias estranhas e impurezas % | Peneira 1,75 mm x 20,00 mm | BRASIL, 2010 |
| Alumínio mg.Kg ⁻¹ | Agilent Technologies 7700 Series | ICP – MS (Método de plasma indutivamente acoplado) |

4.2.5.1 *Peso hectolitro*

O peso hectolitro, correspondente à massa de 100 (cem) litros de trigo, expressa em quilogramas (Kg), foi determinado utilizando o equipamento da Dalle Molle® (BRASIL, 2010).

A amostra de trigo em grão foi inserida no copo com regulador de fluxo. Após completo o volume com a amostra, retirou-se a lâmina acoplada. Feito isso, procedeu-se à leitura do peso da quantidade retida no suporte, conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – Equipamento para medição de peso hectolitro Dalle Molle®.



Fonte: O Autor (2020).

Esta quantificação foi feita em balança analítica de precisão modelo XB220A, marca Precisa®, com erro de 0,001g. Com a informação da massa dos grãos, foi feita a conversão utilizando-se tabela de referência para o grão de trigo.

4.2.5.2 *Umidade*

A umidade foi realizada em duplicata pelo método de estufa em temperatura de 130°C por 2 horas (BRASIL, 2009). Para isso, se utilizou estufa com circulação e renovação do ar modelo TE-394/1, marca Tecnal®. A pesagem das amostras foi realizada em balança modelo XB220A, marca Precisa®, com erro de 0,001g. A porcentagem de umidade foi calculada com base no peso úmido, conforme a Fórmula 2:

$$\% \text{ de umidade (U)} = \frac{100 (P-p)}{P-t} \quad (2)$$

Onde:

P = peso inicial, peso do recipiente, sua tampa mais o peso dos grãos úmidos

p= peso final, peso do recipiente, sua tampa mais o peso dos grãos secos

t= tara, peso do recipiente com a sua tampa

4.2.5.3 *Matérias estranhas e impurezas*

A separação das matérias estranhas e de impurezas foi realizada utilizando peneiras com crivos oblongos de 1,75mm x 20,00mm. Considerou-se como impurezas todas as partículas oriundas da planta de trigo como cascas, fragmentos da planta, folhas, que vazaram pela peneira e que ficaram retidas na peneira, e foram separadas manualmente. Foram consideradas matérias estranhas as partículas não oriundas da planta de trigo como fragmentos de vegetais, sementes de outras espécies, pedra, torrões de terra que vazarem pela peneira ou que ficarem retidos (BRASIL, 2010).

A quantificação foi feita com a pesagem em balança analítica e o resultado final expresso em percentual em relação ao total da amostra, de 250 g.

4.2.6. DOPAGEM DAS AMOSTRAS COM RESIDUAL DE FOSFINA

Para a realização do experimento foi utilizado o residual de fosfina em pó (hidróxido de alumínio) proveniente do reaproveitamento de expurgo de grãos de trigo. Para uma utilização segura, o residual em pó foi previamente inativado por via seca, conforme recomendações do fabricante (BEQUISA, 2019a).

O cálculo da dosagem do residual foi determinada considerando a dosagem recomendada pelo fabricante (2 pastilhas de 3 g por m³), quantidade residual de hidróxido de alumínio por pastilha reagida (cada pastilha de 3 g libera 1 g de fosfina e aproximadamente 2 g de residual) (BEQUISA, 2019b), e o peso hectolitro padrão de trigo de 75 Kg.hectolitro⁻¹, ou seja, 750 Kg.m⁻³, conforme a Fórmula 3:

$$\text{Resíduo total (mg.Kg}^{-1}\text{)} = \left(\frac{R \text{ (g)}}{750 \text{ Kg}} \right) \times 1000 \quad (3)$$

Onde:

R: quantidade de resíduo de fosfina (hidróxido de alumínio) por m³ tratado, que segundo o fabricante é de aproximadamente 4 g.m⁻³.

Após a dopagem das amostras nos percentuais dos tratamentos, as amostras dos grãos foram homogeneizadas em homogeneizador em “Y”, com uma etapa de limpeza do equipamento entre o preparo de cada amostra, a fim de evitar contaminação cruzada.

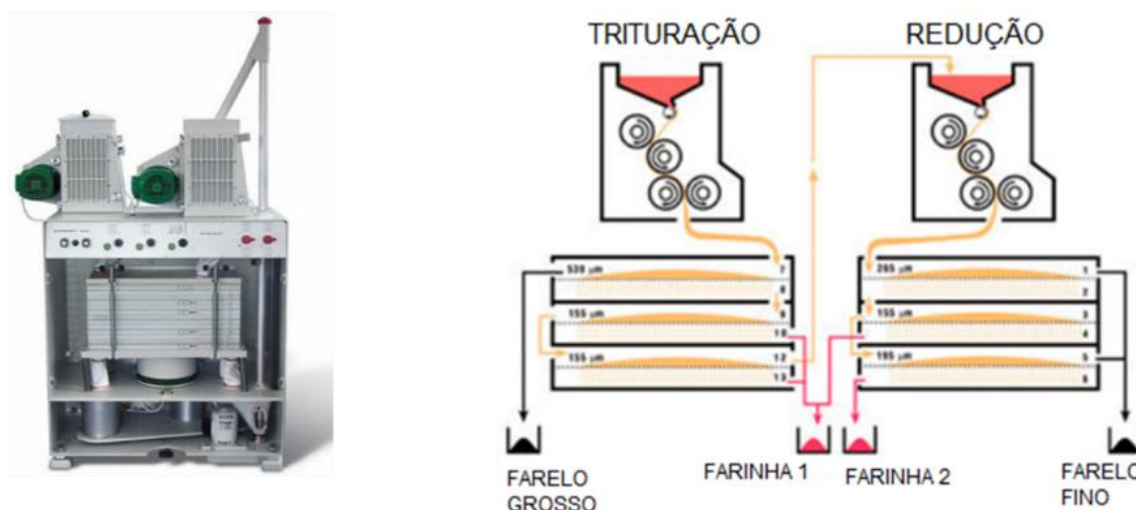
A dopagem foi realizada a fim de simular a situação real, onde o residual gerado pela reação das pastilhas de fosfina (na forma de hidróxido de alumínio em pó), é incorporado nos grãos de maneira não controlada, podendo estar de maneira heterogênea na massa de grãos.

4.2.7. PREPARO DOS PRODUTOS FARINÁCEOS

Os grãos de cada tratamento foram processados separadamente para obtenção da farinha de trigo branca, farinha de trigo integral e farelo, em moinho piloto universal para moagem de trigo modelo Quadrumat® Senior, marca Brabender®.

Este moinho simula uma moagem industrial, com etapas de trituração e de peneiramento, resultando em quatro frações principais: farelo grosso, farelo fino, e duas saídas de farinha branca (Figura 6).

Figura 6 – Moinho Experimental Brabender Quadrumat Senior (esquerda). Esquema de moagem experimental (direita).



Fonte: Brabender (2009).

As amostras denominadas como farelo (F) foram compostas da união das porções de farelo grosso e farelo fino. As amostras denominadas como farinha branca (B) foram compostas da união das duas saídas de farinha. Já as amostras de farinha integral (I), são resultantes da união de todas as saídas, respeitando a proporção de cada saída, para cada moagem realizada.

4.2.8. ANÁLISES DE QUALIDADE EM FARINHAS

As análises de qualidade compreendem basicamente as características relacionadas à força de glúten e que são determinantes para seleção do uso tecnológico das farinhas (LIMA, 2010).

As amostras de farinhas foram avaliadas quanto à sua qualidade por meio das análises listadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Análises, equipamentos e métodos para avaliação de qualidade de farinhas.

| Análise | Equipamento | Método |
|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------|
| Umidade % | Estufa | AACC 44-15 |
| Falling Number s | Falling Number® da Perten | AACC 56 – 81.03 |
| Glúten % | Glutomatic® da Perten | AACC 38-12 |
| Alumínio mg.Kg ⁻¹ | Agilent Technologies 7700 Series | ICP – MS (Método de plasma indutivamente acoplado) |

4.2.8.1 *Umidade*

Para análise de umidade em farinhas foi utilizado o método oficial de estufa AACC 44-15. Neste método prepara-se 2,0 g de amostra e determina-se a umidade final por gravimetria em temperatura de 130°C por 1 hora. Cada análise de umidade foi realizada em duplicata.

4.2.8.2 *Falling number*

A análise de *Falling Number*® foi realizada no equipamento da Perten pelo método AACC 56-81. A quantidade de amostra foi definida utilizando tabela de referência de acordo com a metodologia AACC 56-81, que define a massa de farinha de acordo com a sua umidade. A amostra foi adicionada no tubo viscosímetro já contendo 25 mL de água destilada a $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Os tubos foram tampados com a rolha de borracha e a suspensão foi homogeneizada com agitação vigorosa de 20 a 30 vezes. Feito isso, retirou-se a rolha dos tubos que foram acoplados no viscosímetro e banho maria em temperatura de ebulição ($100 \pm 0,2^\circ\text{C}$). Feito isso, o equipamento inicia a análise automaticamente até o término do teste.

Esta análise fundamenta-se na rápida gelatinização do amido presente numa suspensão aquosa de farinha, quando submetida a tratamento térmico em banho maria fervente e na subsequente liquefação do gel formado pela ação da enzima alfa amilase presente na amostra. O resultado será o tempo de queda (segundos) do embolo do agitador através da suspensão, que será inversamente proporcional à quantidade de enzima alfa amilase presente na amostra (PERTEN, 2016).

4.2.8.3 *Glúten*

A determinação do teor de glúten úmido, glúten seco e glúten index foi realizada utilizando o método AACC 38-12, que emprega lavagem mecânica, usando o sistema Glutomatic® da Perten. Para esta análise foram preparadas $10,0 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}$ de amostra de farinha que foram transferidas para dentro da câmara de lavagem do equipamento. Adicionou-se 4,8 mL de solução salina a 2,0% e fixou-se a câmara de lavagem com a amostra no equipamento que a partir deste ponto, opera automaticamente.

A formação de glúten ocorre devido a presença de solução salina, farinha e o trabalho mecânico, numa operação que dura 20 segundos. Após este tempo ocorre a lavagem automática, com consumo de solução salina, com duração de 300 segundos. Ao término da sequência de lavagem, obtém-se o glúten que após uma centrifugação, se obteve o glúten da parte traseira da peneira (GC), o glúten retido na parte frontal da peneira (GR).

O valor total de glúten úmido (GU) corresponde a soma de GR e GC. O percentual de glúten úmido, em base 14% de umidade está descrito na Fórmula 3:

$$\text{GU (\%)} = \frac{\text{GU} \times 860}{100 - \text{umidade da amostra (\%)}} \quad (3)$$

4.2.9. ANÁLISE DE ALUMÍNIO TOTAL EM GRÃOS E EM PRODUTOS FARINÁCEOS

Para realização da análise de trigo em grão foi realizada previamente uma moagem até a obtenção de uma textura fina.

O preparo de cada amostra moída para a análise de alumínio iniciou-se pela pesagem de 0,3 g \pm 0,2 g em um tubo de teflon, adicionada de um volume de 4 mL de HNO₃ concentrado (P.A.). A operação foi feita em capela e a mistura ficou em repouso por cerca de 10 minutos para completa eliminação dos vapores ácidos.

Após este repouso, adicionou-se 1 mL de H₂O₂, tampou-se os tubos com rolha específica e agitou-se a mistura para solubilizar a amostra. Os tubos foram distribuídos no carrossel do micro-ondas modelo Mars 6, da marca Cem (CASTRO GONZALEZ et al., 2017). O programa de digestão das amostras utilizada equipamento inicia-se com uma rampa de aquecimento, ou seja, um aquecimento gradual até 120°C / 20 min e depois 200°C / 30 min, seguida de resfriamento até a temperatura ambiente.

Após o resfriamento dos tubos, transferiu-se as amostras digeridas para um tubo Falcon, com posterior adição de 100µL de ácido clorídrico e 300µL de isopropanol. O volume foi ajustado até 20mL com água ultra pura.

Juntamente com as amostras de teste, foi preparada uma amostra de referência (com resultado conhecido) e uma amostra branco, ambas em duplicata, para verificação do nível de contaminação dos reagentes e da exatidão da determinação.

Por fim, a leitura da amostra foi realizada pelo método ICP-MS (Espectrometria de Massas com Plasma Induzido) (HAYASHI et al., 2019; LIANG et

al., 2019), no equipamento Agilent Technologies 7700 Series (JIANG et al., 2013; LIANG et al., 2019). A leitura do teor de alumínio na amostra foi expressa em mg.Kg^{-1} , sendo o limite de quantificação deste método de $0,1 \text{ mg.Kg}^{-1}$.

Estas análises foram realizadas no laboratório Nestlé Brasil Ltda, Centro de Tecnologia Analítica de Qualidade – NQAC (*Nestlé Quality Assurance Center*), que possui o método acreditado na norma ABNT ISO/IEC 17025, conforme escopo de acreditação n°CLF0038, no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO.

4.2.10. TAXA DE TRANSFERÊNCIA DO ALUMÍNIO DO SOLO PARA PRODUTOS FARINÁCEOS

O cálculo da taxa de do alumínio para os produtos foi realizada conforme indicado por Cui et al. (2004) na Fórmula 4:

$$TF = \frac{\text{teor do alumínio total no produto (base úmida)}}{\text{teor do alumínio no solo (base seca)}} \quad (4)$$

4.2.11. TRATAMENTO DE DADOS

Os resultados de alumínio total nos produtos farináceos do Experimento 1 foram ajustados utilizando a transformação Box-Cox. Em seguida, foi realizada análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação das médias. Para todos os testes mencionados anteriormente, foi utilizado o intervalo de 95 % de confiança utilizando o software Minitab®.

A área de plantio (bloco I, II e III) foi inserida como co-variável na ANOVA. Isto porque esta variável não foi controlada durante a coleta de dados, e também, para assegurar a precisão do modelo.

No experimento 2, os resultados de alumínio total, *falling number*, glúten úmido e umidade foram expressos na forma de média das repetições acompanhadas de seus desvios padrão. A fim de comparar as médias dos diferentes tratamentos, aplicou-se análise de variância com 5% de significância, e teste de Tukey com auxílio do software Minitab.

As análises de qualidade em trigo em grãos foram demonstradas com a média das repetições seguida dos seus respectivos desvios padrões.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. EXPERIMENTO 1: EFEITO DA CALAGEM EM SOLO NO TEOR DE ALUMÍNIO TOTAL EM PRODUTOS DERIVADOS DE TRIGO

Neste experimento foi avaliada as características de solo nos diferentes tratamentos: ausência e presença de calagem seguida de análise de alumínio nos produtos farináceos farinha de trigo branca, farinha de trigo integral e em farelo.

5.1.1. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A análise composição do solo demonstra as diferenças existentes em condições de ausência e presença de calagem (Tabela 10). A calagem condiciona o solo a um estado equilibrado de pH, composição orgânica e química que, favorece a fertilidade adequada desenvolvimento das plantas.

Tabela 10 – Análises de caracterização do solo na presença e ausência de calagem.

| Parâmetro | | Calagem | |
|--------------------------|-----------------------|--------------|--------------|
| | | Ausência | Presença |
| Fósforo | mg/dm ³ | 13,67 ± 2,16 | 5,93 ± 0,31 |
| Matéria Orgânica | g/dm ³ | 41,00 ± 0,20 | 43,17 ± 1,97 |
| pH | - | 4,07 ± 0,06 | 5,60 ± 0,20 |
| Hidrogênio+Alumínio | cmolc/dm ³ | 12,25 ± 0,32 | 6,11 ± 0,54 |
| Alumínio | cmolc/dm ³ | 1,79 ± 0,13 | N.D. |
| Potássio | cmolc/dm ³ | 0,41 ± 0,03 | 0,50 ± 0,05 |
| Cálcio | cmolc/dm ³ | 0,51 ± 0,14 | 5,30 ± 0,25 |
| Magnésio | cmolc/dm ³ | 0,15 ± 0,04 | 2,52 ± 0,18 |
| Soma de Bases (SB) | cmolc/dm ³ | 1,07 ± 0,15 | 8,33 ± 0,45 |
| Cap. Troca Cat. (CTC) | cmolc/dm ³ | 13,33 ± 0,45 | 14,43 ± 0,15 |
| Saturação de Bases (V%) | % | 8,00 ± 1,00 | 57,67 ± 3,51 |
| % Alumínio (CTC Efetiva) | % | 62,70 ± 3,47 | N.D. |
| % Sat. por Alumínio | % | 62,70 ± 3,47 | N.D. |

N.D.: não detectado ao nível do teste. Resultados são expressos como média ± desvio padrão da média (n = 3). n = número de repetições.

A caracterização de solo, de um modo geral, é essencial para direcionar a estratégia para o seu manejo, como o uso de corretivos e fertilizantes (LOPES; GUILHERME, 2004).

Na interpretação para solos do estado do Paraná, segundo Pauletti; Motta (2019), teores de fósforo em torno de 13 mg.Kg⁻¹ são considerados de médios a altos, e entre 5 a 6 mg.Kg⁻¹ como baixo. Assim, adicionalmente à calagem já realizada, poderia ser indicada doses de fósforo baseadas na resposta da cultura para atingimento de um mínimo de 8 mg.dm⁻³, conforme recomendado por Fontoura et al. (2015).

O teor de alumínio em raízes das plantas é também acompanhado do incremento do teor de fósforo, o que está ligado a um dos mecanismos de defesa da planta à toxidez do alumínio, porém, é no solo que aparentemente ocorre a desintoxicação de Al³⁺ por fósforo (IQBAL, 2014).

A calagem realizada aumentou o pH e o teor de Ca^{2+} trocável, assim como diminuiu o teor de Al^{3+} trocável, similarmente aos resultados de Caires et al. (2006, 2008), para o sistema de plantio direto. Os valores de potássio e de magnésio também são maiores em solo calado, nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas (MENGUTAY et al., 2013; EMBRAPA, 2016).

A soma de bases (SB) é indicada pela soma de cálcio, magnésio e potássio, todos da forma trocável, do complexo de troca de cátions do solo (LOPES; GUILHERME, 2004) e está ligada à saturação por bases, que em solo com calagem foi de $57,67 \pm 3,51\%$, indicando que este solo é fértil.

Conforme observado, não foi detectado teor de alumínio em solo na presença de calagem, indicado que a calagem é um manejo apropriado para corrigir a acidez e prevenir toxidez às plantas, conforme também demonstrado por Caires et al. (2006), nas mesmas condições de aplicação de calagem e de cultivar.

A presença do alumínio no solo está associada com solos ácidos, ou seja, baixos valores de pH (LOPES; SILVA; GUILHERME, 1991; FONTOURA et al., 2015). Segundo a interpretação de Pauletti; Motta (2019), os resultados de pH de 4,07 são classificados como baixo e pH de 5,60 pode ser considerado como muito alto. O menor pH encontrado foi em solo com ausência de calagem.

Nas condições de pH encontradas no solo na ausência de calagem, a predominância de espécies de alumínio é Al^{3+} , já nas condições de solo calado, a predominância é de $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, que não representa toxidez às plantas (SALET, 1998). Adicionalmente, se nota que neste solo, a acidez trocável, representada na Tabela 6 como “hidrogênio+alumínio” é de praticamente o dobro do valor em solo calado. Isto indica uma maior quantidade de alumínio e hidrogênio trocáveis e adsorvidos nas superfícies dos colóides minerais ou orgânicos por forças eletroestáticas (LOPES; GUILHERME, 2004).

Em geral, nas condições do solo calado, os teores de alumínio trocável (Al^{3+}) são baixos e estão de acordo com levantamento da fertilidade dos solos (de 0 a 20 cm de profundidade) na região de abrangência da Cooperativa Agrária realizado em anos anteriores (FONTOURA et al., 2015a). O solo com ausência de calagem apresenta necessidade de correção para uma melhor produtividade. O solo com

calagem apresentou deficiência em fósforo, podendo ser corrigida de acordo com a resposta de cada cultivar.

5.1.2. ANÁLISES DE QUALIDADE EM TRIGO EM GRÃOS

As análises de qualidade do trigo em grãos não demonstraram diferenças em função da calagem (Tabela 11). Fatores como a umidade, peso hectolitro e a presença de impurezas e matérias estranhas em grãos de trigo podem desqualificá-lo comercialmente. Além disso, também podem prejudicar um armazenamento adequado durante o seu uso e processamento (REED, 2013).

Tabela 11 – Análises de qualidade em trigo em grãos para ausência e presença de calagem.

| | Ausência | Presença |
|---------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Peso hectolitro Kg.hectolitro ⁻¹ | 79,49 ± 0,89 | 80,70 ± 0,98 |
| Umidade % | 11,29 ± 0,38 | 11,91 ± 0,39 |
| Matérias estranhas e impurezas % | 0,28 ± 0,02 | 0,21 ± 0,08 |

Resultados são expressos como média ± desvio padrão da média (n = 6). n = número de repetições.

O peso hectolitro, que corresponde à massa de grãos em um volume de cem litros, dos tratamentos são semelhantes, indicando que o enchimento dos grãos no campo não sofreu interferência em função do manejo de calagem.

Já a umidade é uma característica que pode variar de acordo com as condições do ambiente, como índice de chuva e período de colheita, que neste estudo, podem ser consideradas equivalentes, assim não se considerou significativa a diferença encontrada.

O teor de impurezas é maior em trigo na ausência de calagem. Isso pode ser devido a presença de outras plantas tolerantes ao alumínio que acabam crescendo junto no talhão, e que representam uma maior dificuldade de separação na limpeza, conforme demonstrado na Figura 7.

Figura 7 – Vista aérea do experimento de calagem.



Fonte: O Autor (2020).

Na Figura 7, o talhão com presença de calagem apresenta maior uniformidade de coloração, indicando a ausência de outras plantas invasoras. Já no talhão com ausência de calagem, há a presença de outras plantas, que são fisiologicamente diferentes do trigo e que acabam sendo colhidas juntamente com o trigo.

5.1.3. ALUMÍNIO EM PRODUTOS FARINÁCEOS

Os teores de alumínio totais identificados nos diferentes produtos farináceos demonstram diferença para o farelo, enquanto que as farinhas demonstraram índices semelhantes (Tabela 12).

Tabela 12 – Alumínio total nos produtos farináceos: farinha branca, farinha integral e farelo de trigo.

| Calagem | Farelo | Farinha integral | Farinha branca |
|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Presença de calagem | 14,2625 ± 3,4833 ^{aB} | 7,7734 ± 2,2790 ^{bA} | 5,9291 ± 1,8761 ^{bA} |
| Ausência de calagem | 22,3826 ± 3,0350 ^{aA} | 7,8497 ± 2,4428 ^{bA} | 5,9875 ± 1,3080 ^{bA} |

Resultados de alumínio total (mg.Kg^{-1}) são expressos como média \pm desvio padrão da média ($n = 6$). n = número de repetições. Letras iguais minúsculas nas colunas (tipo de produto farináceo) e letras iguais maiúsculas nas linhas (calagem) indicam médias estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a um nível de 5% de significância.

Em farelo, a ausência de calagem favoreceu o aumento de alumínio total. Isto pode ser devido à maior disponibilidade de formas de alumínio trocável no solo (Al^{3+}) (CAIRES et al., 2008), que pode ser transportado até o grão pelo xilema, que conduz a seiva bruta, composta basicamente de água e de minerais (BRIER et al., 2015).

Esta hipótese pode ser reforçada por estudos que demonstraram que o teor de metais de grãos de trigo parecem ter forte relação com o solo de origem, conforme relatado por Zhao et al. (2013).

Já considerando os diferentes produtos farináceos, Cheli et al. (2010) relataram maiores teores dos metais cádmio e chumbo no farelo de trigo do que em porções de sêmola, produto correspondente ao endosperma com granulometria superior à farinha refinada.

A distribuição de minerais nas diferentes porções do grão de trigo foi avaliada por Brier et al. (2015), e mesmo que neste estudo os metais avaliados foram ferro, zinco e cobre, os motivos que justificam a presença destes metais nos grãos, podem ser os mesmos da possível translocação do alumínio, por exemplo, pela presença de fitatos, que possuem alta afinidade com metais.

O farelo de trigo moageiro é composto pelo pericarpo, testa, e aleurona e o acúmulo de minerais no farelo pode estar fortemente associado à presença da camada aleurona no farelo, que possui maiores teores de metais do que porções do endosperma, por também possuir maior quantidade de fitatos do que no endosperma (TANG et al., 2008; BRIER et al., 2015).

Os teores de alumínio encontrados nos tratamentos realizados são similares aos índices de outros estudos como os de Iskander et al. (1990), que relataram

valores de $16,9 \pm 0,46 \text{ mg.Kg}^{-1}$ de alumínio em farelo de trigo, e de Stahl; Taschan; Brunn, (2011) que demonstrou teores entre 1,0 a $19,0 \text{ mg.Kg}^{-1}$ em farinha de trigo. Já índices muito superiores em farinhas de trigo relatados por Ma et al. (2019), estão provavelmente associados ao uso de aditivos alimentares, que não foi o foco deste experimento.

A provável diferença no teor de alumínio total nos produtos farináceos devido a características conferidas por fatores genéticos dos cultivares de trigo, como a tolerância à presença do alumínio do solo relatado por Delhaize; James; Ryan (2012) e Liu et al. (2015) não foi avaliada neste estudo porque foi utilizado um único cultivar de trigo. No entanto, foi verificado que o cultivar avaliado é indicado para fabricação dos produtos farinha de trigo branca e integral, independentemente do manejo do solo, porque ambos tratamentos apresentaram valores finais de alumínio menores do que os desejáveis praticados atualmente, de 10 mg.Kg^{-1} .

5.1.4. TAXA DE TRANSFERÊNCIA DO ALUMÍNIO DO SOLO PARA PRODUTOS FARINÁCEOS

A taxa de transferência é um recurso que tem sido utilizado para avaliar potencial migração dos metais do solo para as diferentes partes da planta, como raiz, caule e folhas (CUI et al., 2004; CAO et al., 2010).

Este índice, que é dado pela razão entre o teor de metal contido na planta e o teor de metal do solo, pode ser calculado quando teores de alumínio são quantificáveis. Neste estudo, o manejo com calagem se mostrou eficiente ao diminuir teores de alumínio trocável, que resultaram ser menores do que o limite de quantificação do método de análise de solo. Nestas condições apresentadas, se pode considerar que a taxa de transferência do solo para o grão é desprezível.

Em contrapartida, em solo ausente de calagem, teores de alumínio foram quantificados e as taxas calculadas para cada tipo de produto farináceo estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Taxa de transferência do alumínio do solo na ausência de calagem para produtos farináceos de trigo.

| Produto | Taxa de transferência |
|------------------|------------------------------|
| Farelo | 0,14 ± 0,02 |
| Farinha integral | 0,05 ± 0,02 |
| Farinha branca | 0,04 ± 0,01 |

Resultados de taxa de transferência (mg.Kg^{-1}) são expressos como média \pm desvio padrão da média ($n = 6$). n = número de repetições.

As taxas de transferência do alumínio para o farelo foram maiores, seguida de farinha integral e branca, reforçando a hipótese de uma potencial migração e que a mesma ocorre em diferentes taxas, de acordo com a porção do grão que compõe a amostra.

Este recurso, também utilizado por Cui et al. (2004), demonstrou taxas de transferência de alumínio do solo em uma variedade de vegetais. Neste estudo, o valor que mais se aproximou da taxa do farelo foi da alface roxa (*Lactuca var.*), com valores de $0,146 \pm 0,005$. E os vegetais que mais se aproximaram da taxa de farinha branca e de farinha integral foram a cebolinha (*A. tuberosum*) e o repolho chinês (*Brassica pekinensis*), com taxas de $0,035 \pm 0,000$, $0,031 \pm 0,013$, respectivamente.

Taxas de transferência do alumínio para folhas de chá foram relatadas por Cao et al. (2010), com um mínimo e máximo de 0,25 e 1,88, respectivamente, para condições similares de pH de solo, porém, em maiores teores de alumínio em solo e em folhas do chá. Adicionalmente, foi demonstrado que a taxa de transferência do alumínio é maior do que de outros metais, sendo decrescente para cobre, zinco, chumbo, arsênio, cádmio e mercúrio (CAO et al., 2010).

Apesar dos produtos integrais terem ganho o interesse dos consumidores devido aos seus benefícios à saúde, há que se considerar que nestes produtos normalmente os contaminantes ocorrem em maiores quantidades (TIBOLA et al., 2015; SAVI et al., 2016; FERNANDES; GUARIENTI, 2016; BELLUCO et al., 2017).

Conforme demonstrado neste estudo, a calagem pode ser um fator contribuinte para assegurar menores taxas de migração possíveis do metal para a planta, principalmente nos produtos integrais provenientes dos grãos de trigo.

5.1.5. CONCLUSÃO

Os resultados deste experimento demonstraram que o manejo de solo com calagem superficial não interfere no teor de alumínio total em farinha branca e em farinha integral, quando avaliado no cultivar TBio Sonic®, em sistema de plantio direto. Já em farelo de trigo, a correção do solo de cultivo realizada por meio da calagem superficial, resulta em redução do teor de alumínio trocável no solo, e por consequência há uma menor absorção e acúmulo no farelo de trigo.

A taxa de transferência de alumínio total do solo na ausência de calagem para o farelo, foram maiores que em farinhas. Desta forma, se recomenda o uso de calagem para minimizar os teores de alumínio, além de garantir melhores produtividades, para o consumo de farelo de trigo com teores mínimos do metal.

O cultivar avaliado é recomendado para fabricação de farinhas, independentemente do manejo de solo, porque os resultados confirmam que a contaminação de alumínio nestas porções é menor do que a referência praticada atualmente na indústria moageira, que é de 10mg.Kg^{-1} .

5.2. EXPERIMENTO 2: RESIDUAL DE FOSFINA NO GRÃO DE TRIGO E SEUS DERIVADOS

5.2.1. DETERMINAÇÃO DE ALUMÍNIO NO SOLO E GRÃO DE TRIGO

O solo de cultivo do experimento 2 não recebeu manejo decorrente deste estudo, que nesta etapa, buscou avaliar pós colheita unicamente. No entanto, suas características iniciais foram avaliadas, e estão demonstradas na Tabela 14.

Tabela 14 – Análises de caracterização do solo.

| Parâmetros | | Resultados |
|--------------------------|-----------------------|------------|
| Fósforo | mg/dm ³ | 26,9 |
| Matéria Orgânica | g/dm ³ | 56,3 |
| pH | - | 5,4 |
| Hidrogênio+Alumínio | cmolc/dm ³ | 5,23 |
| Alumínio | cmolc/dm ³ | N.D. |
| Potássio | cmolc/dm ³ | 0,43 |
| Cálcio | cmolc/dm ³ | 6,89 |
| Magnésio | cmolc/dm ³ | 2,54 |
| Soma de Bases (SB) | cmolc/dm ³ | 9,9 |
| Cap. Troca Cat. (CTC) | cmolc/dm ³ | 15,1 |
| Saturação de Bases (V%) | % | 66 |
| % Alumínio (CTC Efetiva) | % | N.D. |
| % Sat. por Alumínio | % | N.D. |

N.D.: não detectado ao nível do teste. O limite de quantificação para análise de alumínio: 0,5 mmolc.dm⁻³. % Alumínio (CTC Efetiva) e % Sat. por Alumínio são valores calculados.

Nestas condições de acidez, os teores de alumínio trocável (Al³⁺) são baixos e estão de acordo com levantamento da fertilidade dos solos (de 0 a 20 cm de profundidade) na região de abrangência da Cooperativa Agrária realizado em anos anteriores (FONTOURA et al., 2015b).

Mesmo com teores mínimos de alumínio trocável em solo, que não foram detectados pela análise de minerais (Tabela 10), o trigo em grão proveniente do cultivo neste local apresentou teores de alumínio total quantificáveis, conforme a Tabela 15.

Tabela 15 – Teor de alumínio total em grão de trigo.

| Amostra | Alumínio total mg.Kg ⁻¹ |
|---------------|------------------------------------|
| Grão de trigo | 5,59 ± 2,99 |

Alumínio total expresso como média ± desvio padrão da média (n = 3). n = número de repetições.

A variação na concentração de alumínio encontrada no grão de trigo, pode estar relacionada à metodologia de análise, uma vez que não é possível fazer a

análise em matriz composta por grãos inteiros. Faz-se a moagem dos grãos, obtendo produto integral, com porções de endosperma e de farelo na mistura, não sendo possível, desta forma, alcançar uma mistura completamente uniforme das porções da amostra particulada, que depende basicamente do tamanho, da forma, da densidade, teor de umidade, tendência do material a aglomerar-se, como também o procedimento de moagem e mistura (FELLOWS, 2006).

Outro fator crítico é amostragem da alíquota a ser analisada, que segundo o método, é de apenas 0,3 g. Há que se considerar que nesta amostragem, se pode coletar mais farelo do que endosperma, ou vice-versa.

Resultados similares foram encontrados para análise de trigo em grãos na China, utilizando o mesmo método (ICP-MS) e uma quantidade de amostra de 0,5 a 1,0 g. Os resultados demonstram uma média e um desvio padrão de 11,0 e 6,0 mg.Kg⁻¹, respectivamente. Além da questão analítica envolvida, o estudo demonstrou que 80% das amostras apresentaram valores entre 5 a 20 mg.Kg⁻¹, reforçando que a presença do alumínio nos grãos é onipresente (LIANG et al., 2019).

5.2.2. ANÁLISES DE QUALIDADE DOS GRÃOS DE TRIGO

Análise de umidade, peso hectolitro (PH) e impurezas estão relacionadas com a qualidade comercial do trigo.

Os resultados das análises de qualidade e trigo em grãos são mostrados na Tabela 16.

Tabela 16 – Análises de umidade, PH e impurezas em trigo em grãos.

| Parâmetro | Resultado |
|--------------------------------|------------------|
| Umidade % | 12,492 ± 0,001 |
| PH Kg.hectolitro ⁻¹ | 78,389 ± 0,054 |
| Impurezas % | 0,422 ± 0,010 |

Resultados são expressos como média ± desvio padrão da média (n = 9). n = número de repetições.

De acordo com padrões estabelecidos pela IN n°38/2010 (BRASIL, 2010), os resultados apresentados classificam o trigo como Tipo 1, para destinação de

moagem e outras finalidades, pois apresentou um mínimo de PH de 78 Kg.hectolitro⁻¹ e máximo de 1% de impurezas. O resultado de umidade está de acordo com o máximo recomendado de 13 %.

5.2.3. ANÁLISES DE QUALIDADE EM FARINHA BRANCA E FARINHA INTEGRAL

O teor de umidade, *falling number* e glúten úmido são características de qualidade de farinhas que determinam o seu uso tecnológico. Além disso, o padrão de umidade é indispensável para assegurar a estabilidade sanitária da farinha durante o armazenamento. Os resultados das análises de qualidade realizadas nas farinhas brancas e integrais são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Análises de qualidade de farinha branca e integral.

| Tipo de amostra | Umidade % | <i>Falling number</i> s | Glúten úmido % |
|-----------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| FB | 12,6058 ± 0,1013 ^a | 357,52 ± 5,53 ^a | 30,725 ± 0,354 ^a |
| FI | 12,6958 ± 0,2737 ^a | 336,49 ± 7,92 ^b | 27,500 ± 1,122 ^b |

Resultados são expressos como média ± desvio padrão da média (n = 12). n = número de repetições. FB: farinha branca; FI: farinha integral. Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p < 0,05).

O tipo de farinha não influenciou na umidade dos produtos farináceos. Para a fabricação de farinha de trigo branca comercial, é necessário a etapa de umidificação com água, que tem por objetivo ajudar na separação do farelo e endosperma. Porém, neste experimento este procedimento não foi realizado a fim de evitar a influência no teor de alumínio residual total, caso a água apresente teores significativos, que não foi objetivo deste estudo.

O efeito do tipo de amostra mostrou que os resultados de farinha branca e farinha integral são estatisticamente diferentes para os parâmetros de *falling number* e de glúten úmido.

Isto pode ser devido à diferença de composição das farinhas analisadas. Por definição, a farinha branca ou refinada é o produto obtido do processo de trituração ou moagem. Já a farinha integral pode ser definida como o produto obtido por meio da trituração ou moagem, a partir do processamento completo do grão limpo, contendo ou não o gérmen (BRASIL, 2005a).

A presença do farelo interferiu no resultado de glúten úmido. Os valores de glúten úmido em farinhas integrais são normalmente menores do que os de farinha branca ou refinada, porque podem ocorrer perdas do glúten formado na operação de lavagem, onde há a separação das proteínas insolúveis em água (basicamente as proteínas do glúten) dos demais componentes solúveis, que são lixiviados.

Devido à presença do farelo, a lavagem no processo de análise de glúten de farinha integral deve ocorrer em duas etapas, para que seja possível separá-lo (ORO, 2013).

Similarmente, o farelo apresentou influencia no *falling number*, sendo que a farinha integral apresentou os menores valores. Este teste fundamenta-se na rápida gelatinização do amido presente numa suspensão aquosa de farinha, quando submetida a tratamento térmico em banho maria fervente e na subsequente liquefação do gel formado pela ação da enzima alfa amilase presente na amostra. O resultado será o tempo de queda (segundos) do embolo do agitador através da suspensão, que será inversamente proporcional à quantidade de enzima alfa amilase presente na amostra.

Devido a presença do farelo, a proporção de amido na amostra (presente no endosperma) é menor em farinha integral do que em farinha branca. Assim, com menos amido disponível para gelatinização, o êmbolo caiu mais rapidamente, resultando em um tempo menor.

5.2.4. ANÁLISES DE ALUMÍNIO EM FARINHA BRANCA, FARINHA INTEGRAL E FARELO DE TRIGO

Os teores de alumínio nos diferentes derivados do trigo para os percentuais de residuais aplicados estão descritos na Tabela 18.

Tabela 18 – Análise do alumínio total para os percentuais 0, 50, 100 e 200% de dopagem em farinha branca (B), farinha integral (I) e farelo de trigo (F).

| Residual hidróxido de alumínio % | Alumínio total mg.Kg-1 |
|----------------------------------|-----------------------------|
| 0 | 5,0759 ± 2,794 ^a |
| 50 | 5,6521 ± 2,630 ^a |
| 100 | 8,2721 ± 3,052 ^b |
| 200 | 9,0992 ± 3,120 ^b |

Resultados são expressos como média \pm desvio padrão da média ($n = 9$). n = número de repetições. Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A incorporação do residual de fosfina em até 50% não demonstrou diferenças ($p < 0,05$) em relação à quantidade original de alumínio (controle 0%) (Tabela 18). Já a partir da incorporação total do residual da pastilha de fosfina (100%), há incremento significativo em relação ao teor original das amostras (Tabela 18).

Os teores de alumínio total em farinha branca, farinha integral e farelo estão descritos na Tabela 19.

Tabela 19 – Análise do alumínio total em farinha branca (B), farinha integral (I) e farelo de trigo (F).

| Tipo de amostra | Alumínio total mg.Kg-1 |
|------------------------|----------------------------------|
| Farinha branca (FB) | 4,5766 \pm 2,178 ^a |
| Farinha integral (FI) | 6,3381 \pm 2,491 ^b |
| Farelo de trigo (F) | 10,1598 \pm 2,299 ^c |

Resultados são expressos como média \pm desvio padrão da média ($n = 12$). n = número de repetições. Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A contaminação ocorreu mais significativamente no farelo, seguido de farinha integral e farinha branca em todos os tratamentos. Este fato pode ser explicado porque o residual que se apresenta na forma de um pó acinzentado (KHANCHI et al., 2010; REED, 2013), pode ter ficado aderido à superfície do grão, e à medida que ocorreu a moagem, se espalhou de maneira desuniforme nas diferentes porções, mais significativamente no farelo, que corresponde às camadas mais externas do grão, potencialmente exposta ao contaminante.

A hipótese de que o farelo é contaminado com metais em maior proporção do que as farinhas pode ser suportada por estudos como os de Cheli et al. (2010), que verificaram que, apesar do farelo de trigo apresentar maiores teores dos metais cádmio e chumbo, quando comparado com porções de sêmola, que corresponde à porção de endosperma com granulometria superior à farinha refinada, tecnologias como o polimento dos grãos, se utilizados anteriormente à moagem, são capazes de reduzir estes contaminantes, devido à abrasão física que diminui a incrustação do residual aderido superficialmente nos grãos.

Este estudo demonstra o comportamento do residual em quantidades conhecidas e controladas. Mas em uma massa de grãos armazenada em silos, pode-se encontrar áreas de concentração do pó maiores do que em outros locais, mesmo que haja a recomendação do fabricante para não amontoar as pastilhas (BEQUISA, 2019b).

Como não há meios de se garantir uma homogeneidade desta mistura sólido-sólido e os resultados deste trabalho demonstram que há o incremento da contaminação, recomenda-se a remoção total do resíduo em pó, ainda que não haja obrigatoriedade legal.

Isso é possível com a utilização de tecnologias de apresentação de produtos como por exemplo fosfeto de alumínio em sachês ou outras alternativas de princípio ativo, como por exemplo, placas de fosfeto de magnésio, em substituição ao alumínio e também, protegidas por uma embalagem primária.

5.2.5. CONCLUSÃO

O residual de alumínio pela adição de fosfina em grão de trigo, farinhas e farelo, não apresentou interferência das características de qualidade das farinhas. No entanto, esta contaminação se apresentou crescente em farinha branca, farinha integral e farelo.

Esta incorporação de residual não prejudica o uso industrial da matéria prima expurgada com as pastilhas, em termos de produtividade e performance das farinhas. No entanto, em termos de segurança de alimentos e saúde, os resultados confirmam que o residual proveniente da reação das pastilhas de fosfina, se incorporado aos grãos de trigo tratados, podem apresentar um incremento nos teores de alumínio total nos seus derivados. Isto reforça a necessidade de revisão dos meios operacionais da realização do expurgo atual, uma vez que, o incremento de alumínio totais nos produtos farináceos estudados em estágio controlado, pode se repetir em condições reais.

6 CONCLUSÃO GERAL

Este estudo demonstrou que o teor de alumínio total nos produtos farináceos de trigo pode ser resultado de um acúmulo ao longo da cadeia de produção. Fatores como a onipresença do alumínio no solo deve ser considerada para direcionar os manejos necessários para diminuir teores de alumínio trocável, que além de ser tóxico às plantas, podem conferir teores de alumínio total nas partes comestíveis das plantas.

Tratamentos químicos usualmente empregados para o controle de pragas de grãos armazenados, podem contribuir significativamente para o incremento de alumínio nos produtos farináceos devido à incorporação do residual de fosfina (hidróxido de alumínio), que devido à dinâmica do tratamento em silos, é muitas vezes incorporado na massa de grãos, resultando em contaminação decrescente em farelo, farinha integral e farinha branca.

A contaminação por alumínio é maior em farelo do que em farinhas. Este fato aliado ao estímulo para o consumo de produtos integrais devido aos benefícios à saúde, reforça a necessidade de revisão de limites legais que possam direcionar ações nos processos industriais para identificar as fontes potenciais do alumínio e implantar procedimentos operacionais assertivos, de maneira a assegurar os menores residuais possíveis.

7 REFERÊNCIAS

ABITRIGO. **Estimativa de moinhos em atividade no Brasil 2016**. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br/associados/arquivos/01.est_moinhos_ativ_br.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

AENDO, P. et al. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals contamination in duck eggs and meat as a warning scenario in Thailand. **Science of The Total Environment**, v. 689, p. 215–222, nov. 2019.

AHMED, M. K. et al. Human health risk assessment of heavy metals in tropical fish and shellfish collected from the river Buriganga, Bangladesh. **Environmental**

Science and Pollution Research, v. 22, n. 20, p. 15880–15890, 6 out. 2015.

AHMED, S. S. S. J.; SANTOSH, W. Metallomic Profiling and Linkage Map Analysis of Early Parkinson's Disease: A New Insight to Aluminum Marker for the Possible Diagnosis. **PLoS ONE**, v. 5, n. 6, p. e11252, 22 jun. 2010.

AKBARI, H. et al. Data on aluminum concentration in drinking water distribution network of rural water supply in Sistan and Baluchistan province, Iran. **Data in Brief**, v. 20, p. 1804–1809, out. 2018.

ALTUNATMAZ, S. S. et al. Levels of Chromium, Copper, Iron, Magnesium, Manganese, Selenium, Zinc, Cadmium, Lead and Aluminium of honey varieties produced in Turkey. **Food Science and Technology**, n. 10, 10 dez. 2018.

ANTOINE, J. M. R.; FUNG, L. A. H.; GRANT, C. N. Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. **Toxicology Reports**, v. 4, n. March, p. 181–187, 2017.

ASSOCIATION, A. **History of aluminum**. Disponível em: <<https://www.aluminum.org/aluminum-advantage/history-aluminum>>. Acesso em: 24 jan. 2020.

ATSDR, A. FOR T. S. AND D. R. **Toxicological Profile for Aluminum** ATSDR's **Toxicological Profiles** Atlanta U.S. Department of Health and Human Services, , 2008. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp22.pdf>>

BAGRYANTSEVA, O. V. et al. Aluminium: Food-related health risk assessment of the consumers. **Health Risk Analysis**, v. 58, n. 1, p. 59–68, 11 jan. 2016.

BELLUCO, B. et al. Deoxynivalenol in wheat milling fractions: A critical evaluation regarding ongoing and new legislation limits. **Journal of Cereal Science**, v. 77, p. 284–290, set. 2017.

BEQUISA. **Procedimentos para desativação do pó residual de hidróxido de alumínio resultante do processo de fumigação pelo método seco**, 2019a. Disponível em: <https://www.bequisa.com.br/arquivos/produtos/PR1YH9J4_fe03ff2caf0738ad337535bfd12f4200.pdf>

BEQUISA. **Folder de Linha Pós Colheita**. Disponível em: <https://www.bequisa.com.br/revista/index_folder.php?id=3>. Acesso em: 30 nov. 2019b.

BRABENDER. **Instruction Manual No. 880220-002 Quadrumat-Senior BA 00 pt.**

Brabender GmbH & Co. KG, 2009.

BRASIL. Portaria nº685 de 27 de agosto de 1998. Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 ago. 1998.

BRASIL. Instrução Normativa nº8 de 2 de junho de 2005 que aprova o Regulamento Técnico de Qualidade e Identidade da Farinha de Trigo. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 jun. 2005a.

BRASIL. Resolução RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005 que estabelece o Regulamento Técnico para produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 set. 2005b.

BRASIL. Determinação do grau de umidade. In: **Regras para análise de sementes**. 1. ed. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2009. p. 308–316.

BRASIL. Instrução Normativa nº38 de 1º de dezembro de 2010, que estabelece o regulamento técnico do trigo. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 29, p. 2, 1 dez. 2010.

BRASIL. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Ministério da Saúde**, 2011.

BRASIL. Resolução RDC nº42 de 29 de agosto de 2013. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 38, 30 ago. 2013.

BRASIL. **Guia Alimentar Para a População Brasileira**. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

BRASIL. Resolução RDC nº 285/2019. Proíbe o uso de aditivos alimentares contendo alumínio em diversas categorias de alimentos. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 mai. 2019.

BRATAKOS, S. M. et al. Aluminium in food and daily dietary intake estimate in Greece. **Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance**, v. 5, n. 1, p. 33–44, 2012.

BRIER, N. DE et al. Distribution of Minerals in Wheat Grains (*Triticum aestivum* L.) and in Roller Milling Fractions Affected by Pearling. **Journal of Agricultural and**

Food Chemistry, v. 63, n. 4, p. 1276–1285, 4 fev. 2015.

CAIRES, E. F. et al. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 5, p. 502–509, out. 2006.

CAIRES, E. F. et al. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 57–64, jan. 2008.

CAMARGO, C. E. DE O. et al. Linhagens diplóides de trigo: desempenho agrônômico em dois locais do estado de São Paulo e tolerância à toxicidade de alumínio em laboratório. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 253–268, 2006.

CAO, H. et al. Exposure and risk assessment for aluminium and heavy metals in Puerh tea. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 14, p. 2777–2784, 2010.

CASTRO GONZALEZ, N. P. et al. Assessment risk to children's health due to consumption of cow's milk in polluted areas in Puebla and Tlaxcala, Mexico. **Food Additives & Contaminants: Part B**, v. 10, n. 3, p. 200–207, 3 jul. 2017.

CFS. Aluminium in food. Risk Assessment Studies: Report n°35CFS Centre For Food Safety. [s.l: s.n.].

CFS. Guidelines on the use of of Aluminium - containing food additives. Disponível em: <https://www.cfs.gov.hk/english/programme/programme_rafs/files/Guidelines_on_the_use_of_Al_additives_e.pdf>.

CHAMON, A. S. et al. Influence of Cereal Varieties and Site Conditions on Heavy Metal Accumulations in Cereal Crops on Polluted Soils of Bangladesh. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, n. 7–8, p. 889–906, abr. 2005.

CHELI, F. et al. Effects of industrial processing on the distributions of deoxynivalenol, cadmium and lead in durum wheat milling fractions. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 7, p. 1050–1057, set. 2010.

CHEN, Z. et al. Diagnostic Molecular Markers for Phosphine Resistance in U.S. Populations of *Tribolium castaneum* and *Rhyzopertha dominica*. **PLOS ONE**, v. 10, n. 3, p. e0121343, 31 mar. 2015.

CHINA. List of Food Additives That Can No Longer Be Used in China (Translated by CIRIS in 2012). Disponível em: <http://www.cirs-reach.com/China_Chemical_Regulation/List_of_Food_Additives_No_Longer_Used_i

n_China_2012_Translated_by_CIRS.pdf>. Acesso em: 30 out. 2019.

CRESTANI, M. et al. Related Characteristics and Multivariate Analyses in the Evaluation of White Oat Aluminum Tolerance. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, n. 3, p. 247–262, 28 jan. 2011.

CRISPONI, G. et al. The meaning of aluminium exposure on human health and aluminium-related diseases. **BioMolecular Concepts**, v. 4, n. 1, p. 77–87, 1 jan. 2013.

CUI, L. et al. ACCUMULATION AND TRANSLOCATION OF 198 HG IN FOUR CROP SPECIES. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 33, n. 2, p. 334–340, 2014.

CUI, Y. et al. Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning , China. **Environment International**, v. 30, p. 785–791, 2004.

DANTAS, S. T. et al. Determinação da dissolução de alumínio durante cozimento de alimentos em panelas de alumínio. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 291–297, 2007.

DARWISH, W. S. et al. Metal contamination in quail meat: residues, sources, molecular biomarkers, and human health risk assessment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 20, p. 20106–20115, 10 jul. 2018.

DAVID, E.; KOPAC, J. Aluminum recovery as a product with high added value using aluminum hazardous waste. **Journal of Hazardous Materials**, v. 261, p. 316–324, 2013.

DE BRIER, N. et al. The impact of pearling as a treatment prior to wheat roller milling on the texture and structure of bran-rich breakfast flakes. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 668–674, jun. 2015.

DEKANT, W. Metal salts with low oral bioavailability and considerable exposures from ubiquitous background: Inorganic aluminum salts as an example for issues in toxicity testing and data interpretation. **Toxicology Letters**, v. 314, n. May, p. 1–9, out. 2019.

DEL GUERCIO, A. M. F.; CAMARGO, C. E. DE O. Herança da tolerância à toxicidade de alumínio em trigo duro. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 775–780, 2011.

DELHAIZE, E.; JAMES, R. A.; RYAN, P. R. Aluminium tolerance of root hairs underlies genotypic differences in rhizosheath size of wheat (*Triticum aestivum*) grown on acid soil. **New Phytologist**, v. 195, n. 3, p. 609–619, ago. 2012.

DIAS, J. C. **O grão rei: os caminhos do trigo no Brasil do campo à mesa**. 1. ed. São Paulo: Barleus, 2012.

DZULFAKAR, M. A. et al. Risk assessment of aluminum in drinking water between two residential areas. **Water (Switzerland)**, v. 3, n. 3, p. 882–893, 2011.

EMBRAPA. **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde** (C. de Mori et al., Eds.) Brasília Embrapa, , 2016.

EXLEY, C. **Aluminium and Alzheimer's Disease: The science that describes the link**. 1. ed. [s.l.] Elsevier B.V., 2001.

FAO/WHO. **CODEX STAN 192-1995 (Rev. 2015) general standard for food additives**. [s.l: s.n.].

FARONI, L. R. D. et al. Qualidade da farinha obtida de grãos de trigo fumigados com dióxido de carbono e fosfina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 354–357, 2002.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERREIRA, P. C. et al. Alumínio como fator de risco para doença de Alzheimer. **Revista Latino-Americana De Enfermagem**, v. 16, n. 1, 2008.

FERREIRA, P. C. et al. Aluminum Concentrations in Water of Elderly People's Houses and Retirement Homes and Its Relation with Elderly Health. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 83, n. 4, p. 565–569, 29 out. 2009.

FILIPPINI, T. et al. Aluminum and tin: Food contamination and dietary intake in an Italian population. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 52, p. 293–301, 2019.

FONTOURA, S. M. V. et al. **Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto no Centro-sul do Paraná**. 1. ed. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), 2015a.

FONTOURA, S. M. V. et al. Capítulo 2: Principais solos e sua fertilidade na região de abrangência da Cooperativa Agrária Agroindustrial. In: **Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto no centro-sul do Paraná**. 1. ed. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), 2015b. p. 37–41.

FREITAS, M. B. DE; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. DE. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro:

enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, n. 3, p. 651–660, 2001.

GARCIA-OLIVEIRA, A. et al. Differential Physiological Responses of Portuguese Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes under Aluminium Stress. **Diversity**, v. 8, n. 4, p. 26, 7 dez. 2016.

GBOGBO, F. et al. Risk of heavy metal ingestion from the consumption of two commercially valuable species of fish from the fresh and coastal waters of Ghana. **PLOS ONE**, v. 13, n. 3, p. e0194682, 23 mar. 2018.

GEYIKOGLU, F. et al. The genotoxic, hepatotoxic, nephrotoxic, haematotoxic and histopathological effects in rats after aluminium chronic intoxication. **Toxicology and Industrial Health**, v. 29, n. 9, p. 780–791, 15 out. 2013.

GUO, J. et al. Dietary exposure to aluminium from wheat flour and puffed products of residents in Shanghai, China. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 32, n. November 2015, p. 2018–2026, 2 nov. 2015.

HACHEZ-LEROY, F. Aluminium in health and food: a gradual global approach. **European Review of History: Revue européenne d'histoire**, v. 20, n. 2, p. 217–236, abr. 2013.

HAN, C. et al. Introgression of genes from bread wheat enhances the aluminium tolerance of durum wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 129, n. 4, p. 729–739, 8 abr. 2016.

HARTWIG, A.; JAHNKE, G. Metalle und ihre Verbindungen als Kontaminanten in Lebensmitteln: Arsen, Cadmium, Blei und Aluminium. **Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz**, v. 60, n. 7, p. 715–721, 2017.

HAYASHI, A. et al. Daily intake of total and inorganic arsenic, lead, and aluminum of the Japanese: Duplicate diet study. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 77, n. December 2018, p. 77–83, 2019.

IPCS. **Environmental Health Criteria 194 For Aluminium** International Programme on Chemical Safety. Genebra: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc194.htm>>.

IQBAL, M. T. Phosphorus Alleviates Aluminum Toxicity in Al-Sensitive Wheat Seedlings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 4, p. 437–450, 21 fev. 2014.

ISA, Z. M. et al. Mathematical modelling and numerical simulation of phosphine flow during grain fumigation in leaky cylindrical silos. **Journal of Stored Products**

Research, v. 67, p. 28–40, maio 2016.

ISKANDER, F. Y. et al. Aluminium Content of Egyptian Breads. **Food Chemistry**, v. 35, p. 197–208, 1990.

ISKANDER, F. Y.; DAVIS, K. R. Mineral and trace element contents in bread. **Food Chemistry**, v. 45, p. 269–277, 1992.

ISMAIL, A. et al. Estimated daily intake and health risk of heavy metals by consumption of milk. **Food Additives & Contaminants: Part B**, v. 8, n. 4, p. 1–6, 22 set. 2015.

JECFA. **Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives 74th Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) meeting - Food additives and contaminants. Summary and conclusions**. Roma: FAO/WHO, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/documents/card/en/c/417d81c0-c377-4f8e-99f8-ab0424ee3bea/>>.

JECFA. **JOINT FAO/WHO FOOD STANDARDS PROGRAMME CODEX COMMITTEE ON CONTAMINANTS IN FOODS 10th Session WORKING DOCUMENT FOR INFORMATION AND USE IN DISCUSSIONS RELATED TO CONTAMINANTS AND TOXINS IN THE GSCTFF**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-10%252FWD%252Fcf10_INF1e.pdf>.

JIANG, Q. et al. Dietary exposure to aluminium of urban residents from cities in South China. **Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment**, v. 30, n. 4, p. 698–704, 2013.

JIAO, R. et al. Influence of coagulation mechanisms on the residual aluminum – The roles of coagulant species and MW of organic matter. **Journal of Hazardous Materials**, v. 290, p. 16–25, jun. 2015.

KHANCHI, A. R. et al. Evaluation of the Factors Affecting the Phosphine Residue in the Fumigation–Aeration Process of Stored Wheat Using Orthogonal Array Design. **Food Analytical Methods**, v. 3, n. 3, p. 169–174, 4 set. 2010.

KIMURA, M. et al. Minimizing residual aluminum concentration in treated water by tailoring properties of polyaluminum coagulants. **Water Research**, v. 47, n. 6, p. 2075–2084, abr. 2013.

KLOTZ, K. et al. The Health Effects of Aluminum Exposure. **Deutsches Arzteblatt Online**, v. 114, n. 39, p. 653–659, 29 set. 2017.

KORKMAZ GÖRÜR, F. et al. Radioactivity and heavy metal concentrations of some commercial fish species consumed in the Black Sea Region of Turkey. **Chemosphere**, v. 87, n. 4, p. 356–361, abr. 2012.

KOSTIC, L. et al. Liming of anthropogenically acidified soil promotes phosphorus acquisition in the rhizosphere of wheat. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, n. 3, p. 289–298, 24 abr. 2015.

KUZNETSOVA, I. A.; ARESHIDZE, D. A.; KOZLOVA, M. A. The influence of different aluminium compounds on the hippocampal morphofunctional state and conditioning in mice. **Toxicology and Environmental Health Sciences**, v. 9, n. 3, p. 215–221, 1 set. 2017.

LI, G. et al. Dietary exposure to aluminium in the popular Chinese fried bread youtiao. **Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment**, v. 34, n. 6, p. 972–979, 2017.

LIANG, J. et al. A Preliminary Investigation of Naturally Occurring Aluminum in Grains, Vegetables, and Fruits from Some Areas of China and Dietary Intake Assessment. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 3, p. 701–710, 2019.

LIMA, U. DE A. **Matérias-primas dos alimentos**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

LIU, M. et al. Genetic characterization of aluminum tolerance in winter wheat. **Molecular Breeding**, v. 35, n. 11, p. 205, 17 nov. 2015.

LIU, W. et al. Spatial responses of antioxidative system to aluminum stress in roots of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. **Science of The Total Environment**, v. 627, p. 462–469, jun. 2018.

LOMBI, E.; STEVENS, D. P.; MCLAUGHLIN, M. J. Effect of water treatment residuals on soil phosphorus, copper and aluminium availability and toxicity. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 6, p. 2110–2116, jun. 2010.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Boletim técnico nº2: Interpretação de análise de solo - Conceitos e aplicações**. Disponível em: <http://anda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/boletim_02.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2020.

LOPES, A. S.; SILVA, M. DE C.; GUILHERME, L. R. G. **Boletim técnico nº1: Acidez do solo e calagem**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Calagem_boletim_tecnicoID-80pHHoncbJ.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2020.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRAÇA-NETO, J. B.; HENNIG, A. A. Monitoramento da liberação do gas PH3 por pastilhas de fosfina usadas para

expurgo de sementes. **Informativo Abrates**, v. 21, n. 3, p. 57–60, 2011.

LORINI, I. et al. **Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas**. 1. ed. Brasília: [s.n.].

LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. **Armazenagem de grãos**. 1. ed. Campinas: [s.n.].

LU, W.; MA, Y.; LIN, C. Status of aluminium in environmental compartments contaminated by acidic mine water. **Journal of Hazardous Materials**, v. 189, n. 3, p. 700–709, maio 2011.

MA, J. et al. A longitudinal assessment of aluminum contents in foodstuffs and aluminum intake of residents in Tianjin metropolis. **Food Science and Nutrition**, v. 7, n. 3, p. 997–1003, 2019.

MALHAT, F. Distribution of Heavy Metal Residues in Fish from the River Nile Tributaries in Egypt. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 87, n. 2, p. 163–165, 25 ago. 2011.

MARTINEZ, C. S. et al. Aluminum exposure at human dietary levels promotes vascular dysfunction and increases blood pressure in rats: A concerted action of NAD(P)H oxidase and COX-2. **Toxicology**, v. 390, n. June, p. 10–21, 2017.

MEENA, M. C.; MITTAL, S.; RANI, Y. Fatal aluminium phosphide poisoning. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 8, n. 2, p. 65–67, 1 jun. 2015.

MELO, I. S. V. DE et al. Consumption of minimally processed food is inversely associated with excess weight in adolescents living in an underdeveloped city. **PLOS ONE**, v. 12, n. 11, p. e0188401, 30 nov. 2017.

MENGUTAY, M. et al. Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. **Plant Soil**, v. 368, p. 57–72, 2013.

MOHAMED, F. E. B. et al. Assessment of Hair Aluminum, Lead, and Mercury in a Sample of Autistic Egyptian Children: Environmental Risk Factors of Heavy Metals in Autism. **Behavioural Neurology**, v. 2015, p. 1–9, 2015.

MOLD, M. et al. Aluminium in Brain Tissue in Multiple Sclerosis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 8, p. 1777, 18 ago. 2018.

MONDOLFO, L. F. **Aluminium alloys: structure and properties**. 2. ed. [s.l.] Butterworth & Co, 1976.

NANDA, B. B. et al. Determination of trace concentration of aluminium in raw rice samples using instrumental neutron activation analysis and particle induced gamma-ray emission methods. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 310, n. 3, p. 1241–1245, 9 dez. 2016.

NGUYEN, T. T.; COLLINS, P. J.; EBERT, P. R. Inheritance and Characterization of Strong Resistance to Phosphine in *Sitophilus oryzae* (L.). **PLOS ONE**, v. 10, n. 4, p. e0124335, 17 abr. 2015.

OGIMOTO, M. et al. Aluminium content of foods originating from aluminium-containing food additives. **Food Additives & Contaminants: Part B**, v. 9, n. 3, p. 185–190, 2 jul. 2016.

ONIPE, O. O.; JIDEANI, A. I. O.; BESWA, D. Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 50, n. 12, p. 2509–2518, dez. 2015.

OOI, T. Y. et al. Optimization of aluminium recovery from water treatment sludge using Response Surface Methodology. **Journal of Environmental Management**, v. 228, n. September, p. 13–19, dez. 2018.

ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: IPSIS Gráfica e Editora, 2019.

PERTEN. **The chemistry behind the Falling Number® method**. Disponível em: <<https://www.perten.com/Products/Falling-Number/The-Falling-Number-Method/How-does-the-Falling-Number-method-work/>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

PETERS, S. et al. Long-term effects of aluminium dust inhalation. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 70, n. 12, p. 864–868, dez. 2013.

PEYDAYESH, M. et al. Ubiquitous aluminium contamination in water and amyloid hybrid membranes as a sustainable possible solution. **Chemical Communications**, v. 55, n. 74, p. 11143–11146, 2019.

RATHER, I. A. et al. The Sources of Chemical Contaminants in Food and Their Health Implications. **Frontiers in Pharmacology**, v. 8, n. NOV, 17 nov. 2017.

REED, C. R. **Managing stored grain to preserve quality and value**. 3. ed. Manhattan: AACC International, 2013.

RITTIRONG, A.; SAENBOONRUANG, K. Quantification of aluminum and heavy

metal contents in cooked rice samples from Thailand markets using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and potential health risk assessment. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 30, n. 5, p. 372–380, 2018.

ROBA, C. et al. Heavy metal content in vegetables and fruits cultivated in Baia Mare mining area (Romania) and health risk assessment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 7, p. 6062–6073, 12 abr. 2016.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano**FCT Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa. Lisboa: [s.n.]. Disponível em: <<https://run.unl.pt/handle/10362/6323>>.

RUSS, T. C. et al. Aluminium and fluoride in drinking water in relation to later dementia risk. **The British Journal of Psychiatry**, p. 1–6, 14 mar. 2019.

SAĞLAM, Ö.; EDDE, P. A.; PHILLIPS, T. W. Resistance of *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) to Fumigation with Phosphine. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 5, p. 2489–2495, out. 2015.

SALET, R. L. **TOXIDAZ DE ALUMÍNIO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

SÁNCHEZ-IGLESIAS, S. et al. Brain oxidative stress and selective behaviour of aluminium in specific areas of rat brain: potential effects in a 6-OHDA-induced model of Parkinson's disease. **Journal of Neurochemistry**, v. 109, n. 3, p. 879–888, maio 2009.

SANTOS, E. J. DOS et al. Determination of aluminium phosphide (AIP) in fumigants by ICP OES. **Analytical Methods**, v. 10, n. 41, p. 5047–5050, 2018.

SAVI, G. D. et al. Deoxynivalenol in the wheat milling process and wheat-based products and daily intake estimates for the Southern Brazilian population. **Food Control**, v. 62, n. 2016, p. 231–236, abr. 2016.

SHU-XUAN, D. et al. Effects of Al species on coagulation efficiency, residual Al and floc properties in surface water treatment. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 459, p. 14–21, out. 2014.

SILVA, S. et al. Differential aluminium changes on nutrient accumulation and root differentiation in an Al sensitive vs. tolerant wheat. **Environmental and Experimental Botany**, v. 68, n. 1, p. 91–98, mar. 2010.

SILVEIRA, S. F. DA S. et al. Desempenho de genótipos de aveia branca em resposta ao estresse por alumínio. **Bragantia**, v. 72, n. 4, p. 319–325, 2013.

SINGH, S. et al. Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: A review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 137, p. 177–193, 2017.

SINHA, N. Aluminium phosphide poisoning. **Indian Journal of Medical Specialities**, v. 9, n. 3, p. 167–170, jul. 2018.

STAHL, T. et al. Evaluation of human exposure to aluminum from food and food contact materials. **European Food Research and Technology**, v. 244, n. 12, p. 2077–2084, 6 dez. 2018.

STAHL, T.; TASCHAN, H.; BRUNN, H. Aluminium content of selected foods and food products. **Environmental Sciences Europe**, v. 23, n. 1, p. 1–11, 2011.

SULTANA, M. S. et al. Health risk assessment for carcinogenic and non-carcinogenic heavy metal exposures from vegetables and fruits of Bangladesh. **Cogent Environmental Science**, v. 3, n. 1, p. 1–17, 7 fev. 2017.

SZABÓ, A.; GYIMES, E.; VÉHA, A. Aluminium toxicity in winter wheat. **Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria**, v. 8, n. 1, p. 95–103, 1 jan. 2015.

TANG, J. et al. Mineral element distributions in milling fractions of Chinese wheats. **Journal of Cereal Science**, v. 48, n. 3, p. 821–828, nov. 2008.

TBCA. **Tabela Brasileira de composição de alimentos (TBCA)**. São Paulo Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC), , 2019. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/tbca>>. Acesso em: 4 fev. 2020

THABIT, T. M. A. M.; ELGEDDAWY, D. I. H. Determination of Phosphine Residues in Wheat and Yellow Corn with a New Developed Method Using Headspace and SIM Mode GC-MS. **Journal of AOAC International**, v. 101, n. 1, p. 288–292, 1 jan. 2018.

TIBOLA, C. S. et al. Distribution of Fusarium mycotoxins in wheat milling process. **Food Control**, v. 53, n. 2015, p. 91–95, jul. 2015.

TIBOLA, C. S.; FERNANDES, J. M. C.; GUARIENTI, E. M. Effect of cleaning, sorting and milling processes in wheat mycotoxin content. **Food Control**, v. 60, p. 174–179, fev. 2016.

TINGGI, U.; SCHOENDORFER, N. Analysis of lead and cadmium in cereal products and duplicate diets of a small group of selected Brisbane children for estimation of daily metal exposure. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 50, n. November 2017, p. 671–675, dez. 2018.

TORTOE, C. et al. Trace metal concentrations in three pastry products prepared from

root and tuber and cereal crops composite flours. **Cogent Chemistry**, v. 4, n. 1, p. 1–8, 17 jan. 2018.

US EPA. **Ground Water & Drinking Water Secondary Drinking Water Regulations: Guidance for Nuisance Chemicals** EPA United States Environmental Protection Agency US, 2013. Disponível em: <<https://www.epa.gov/dwstandardsregulations/secondary-drinking-water-standards-guidance- nuisance-chemicals>>

WANG, W. et al. Factors effecting aluminum speciation in drinking water by laboratory research. **Journal of Environmental Sciences**, v. 22, n. 1, p. 47–55, jan. 2010.

WATER QUALITY ASSOCIATION. **Aluminum fact sheet** Aluminum Fact Sheet, 2013. Disponível em: <https://www.wqa.org/Portals/0/Technical/Technical_Fact_Sheets/2014_Aluminum.pdf>

WHO. **Guidelines for Drinking-Water Quality**. Geneva: [s.n.]. Disponível em: <https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf>.

YAN, H. et al. Phosphine Analysis in Postmortem Specimens Following Inhalation of Phosphine: Fatal Aluminum Phosphide Poisoning in Children. **Journal of Analytical Toxicology**, v. 42, n. 5, p. 330–336, 1 jun. 2018.

YEH, T. S. et al. ScienceDirect Investigation of aluminum content of imported candies and snack foods in Taiwan. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 24, n. 4, p. 771–779, 2016.

ZHAO, H. et al. Multi-element composition of wheat grain and provenance soil and their potentialities as fingerprints of geographical origin. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 391–397, maio 2013.

ZHOU, L. et al. Identification of new sources of aluminum resistance in wheat. **Plant and Soil**, v. 297, n. 1–2, p. 105–118, 15 ago. 2007.

ZIOŁA-FRANKOWSKA, A. et al. Factors affecting the aluminium content of human femoral head and neck. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 152, p. 167–173, nov. 2015.