

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

DOUGLAS DELAQUA

**BIOFORTIFICAÇÃO DA CULTURA DO TRIGO COM  
SELÊNIO**

CAMPINAS/SP

2017

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

DOUGLAS DELAQUA

## **BIOFORTIFICAÇÃO DA CULTURA DO TRIGO COM SELÊNIO**

Trabalho de Graduação apresentado por Douglas Delaqua, como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Cristina Andrade Corbi.

CAMPINAS/SP

2017

**FICHA CATALOGRÁFICA – Biblioteca Fatec Campinas – CEETEPS**

D338b

DELAQUA, Douglas

Biofortificação da cultura do trigo com selênio./ Douglas Delaqua. Orientadora: Prof. Dra. Fabiana Cristina Andrade Corbi. – Campinas, 2017.

49p.; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Faculdade de Tecnologia de Campinas. Curso de Processos Químicos, 2017.

1. Fitotoxicidade. 2. Fortificação. 3. Desnutrição. 4. Selenato de sódio. 5. Produtividade  
I. CORBI, Fabiana Cristina Andrade. II. Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 631.8

**Catálogo na Fonte:** Bibliotecária Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

**TG PQ17.1**

**DOUGLAS DELAQUA**

**Biofortificação da cultura do trigo com selênio**

Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos pelo CEETEPS/Faculdade de Tecnologia – Fatec Campinas.

Campinas, 04 de julho de 2017.

**BANCA EXAMINADORA**

*Facorbi*

---

Profª. Drª. Fabiana C. Andrade Corbi (Presidente)  
Fatec Campinas

*Santos*

---

Profª. Drª. Haydée Siqueira Santos (Membro)  
Fatec Campinas

*Aline Renée Coscione*

---

Drª. Aline Renée Coscione (Membro)  
IAC Campinas

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que me guiou e sempre esteve me dando forças.

Aos meus pais, José Luiz Delaqua e Regina Maria Ribeiro Delaqua que sempre fizeram acreditar que um sonho é possível.

Ao meu irmão Diogo Delaqua e minha cunhada Aline Prado, obrigado pelo apoio, incentivo e por ter acreditado em mim.

A meus avós Geraldo Dellaqua e Ivone Calderoni Dellaqua, por me amar e me alegrar nas horas difíceis e estressantes, e sempre me apoiar em todas as minhas decisões.

A minha orientadora Dr<sup>a</sup>. Fabiana Corbi pelos ensinamentos, questionamento, apoio, incentivos e por ser um espelho de um profissional que quero seguir.

A pesquisadora do Instituto Agronômico de Campinas e co-orientadora Dr<sup>a</sup>. Aline Coscione pela paciência, compreensão, apoio, incentivo, amizade, ensinamentos e pelas preciosas sugestões e por sempre acreditar em mim e me incentivar a continuar, muito obrigado.

Aos pesquisadores do Instituto Agronômico de Campinas Dr<sup>a</sup>. Mônica Ferreira e Ronaldo Berton pela oportunidade, apoio, amizade, ensinamentos e pelas preciosas sugestões e por sempre acreditar em mim, muito obrigado.

Aos amigos do IAC (Instituto Agronômico de Campinas) Luciana Taminato, Silvia Bandoni, Kelly Cristina, Giovana Soares, Fernanda Manfrin, Janete Araújo, Thalia Oliveira e em especial Mariana Cineis agradeço pelas inúmeras ajudas de todos os dias e dicas de extrema valia e por passarem essa etapa ao meu lado, e por serem principalmente meus amigos, muito obrigado.

Aos amigos da pós-graduação do IAC (Instituto Agronômico de Campinas) Ruan Carnier, Isabella Lucon e em especial Jéssica Corbo que foram fundamentais na ajuda das pesquisas, incentivo, apoio, dedicação e companheirismo e principalmente por serem meus amigos, muito obrigado.

Aos professores da Fatec de Campinas pelos ensinamentos e disponibilidade para sanar minhas dúvidas mesmo após o fim das disciplinas;

A diretora da Fatec de Campinas Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Haydée Siqueira pelos ensinamentos e disponibilidade para sanar minhas dúvidas e ajuda na orientação do trabalho.

Aos meus queridos amigos da Fatec de Campinas Priscila, Andressa, Marlon, Kaine, Alice, Fernanda e Aparecida pelas risadas, ensinamentos, e principalmente pela amizade.

## RESUMO

No Brasil, os poucos estudos realizados com selênio têm alertado para uma possível deficiência deste elemento na população brasileira, particularmente nos grupos populacionais de baixo poder aquisitivo que não consomem produtos de origem animal e vegetal com a frequência adequada. Alguns estados brasileiros demonstram baixa ingestão do elemento, como em São Paulo e Mato Grosso, por exemplo, e alta no Pará, devido a grandes quantidades de castanha-do-brasil ingeridas na região. A adição de elementos essenciais à saúde humana por meio de adubação no solo agrícola é considerada uma estratégia promissora para a biofortificação de alimentos. Nesse caso, a cultura do trigo mostra-se bastante interessante devido ao fato de ser um dos alimentos mais consumidos pelos brasileiros. No presente trabalho, com o objetivo de aumentar a concentração de selênio nos grãos de trigo, foi instalado um experimento em condições de campo, onde o selênio foi adicionado em aplicação foliar, na forma de selenato de sódio, na época do florescimento. Após a maturação fisiológica de campo do cultivar, as amostras de planta foram coletadas e extraídas através do método EPA3051, para serem analisadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), a fim de verificar a concentração de selênio na parte aérea e nos grãos da cultura do trigo, além da avaliação da produtividade do cultivar. O resultado obtido em relação à taxa da produtividade foi maior com a aplicação da dose de  $5 \text{ g.ha}^{-1}$ , intermediária entre as doses aplicadas, o que sugere que o desenvolvimento do trigo é mais eficiente com a aplicação de pequenas quantidades de selênio. Além disso, o trigo biofortificou na dose recomendada pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) e contribuiu para um aumento de 87% na ingestão diária recomendada (IDR) para esse elemento, sem ultrapassar o limite máximo de tolerância (LMT) de  $0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  de selênio.

**Palavras-chave:** fitotoxicidade; fortificação; desnutrição; selenato de sódio; produtividade.

## ABSTRACT

In Brazil, the few selenium studies have warned of a possible deficiency of this element in the Brazilian population, particularly in the low-income population groups that do not consume animal and vegetable products with the adequate frequency. Some Brazilian states show low ingestion of the element, as São Paulo and Mato Grosso, while others show high, as Pará, due to the large quantity of Brazil nut consumed in the region. The addition of essential elements to human health through agricultural soil fertilization is considered a promising strategy for biofortification of food. In this case, the wheat crop is very interesting due to the fact that it is one of the most consumed foods by Brazilians. In order to increase the concentration of selenium in wheat grains, an experiment was installed in field conditions, where selenium was added in foliar application, in the form of sodium selenate, at the time of flowering. After the physiological maturation of the cultivating field, the plant samples were collected and extracted by EPA3051 method, for analysis in inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES), in order to verify the concentration of selenium in the aerial part and in the grains of the culture of wheat, in addition to evaluating the productivity of the grow crops. The results obtained in relation to the yield rate were higher with the application of the dose of 5 g.ha<sup>-1</sup>, intermediate between the applied doses, which suggests that wheat development is more efficient with the application of small amounts of selenium. In addition, the wheat biofortified at the rate recommended by the FAO (Food and Agriculture Organization) and contributed to an increase of 87% in Recommended Daily Intake (RDI) for that element, without exceeding the tolerance limit (LMT) of 0.3 mg.kg<sup>-1</sup> of selenium.

**Keywords:** phytotoxicity; fortification; malnutrition; sodium selenite; productivity.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Imagem aérea da área experimental.....	25
<b>Figura 2</b> - Características do trigo IAC 385.....	27
<b>Figura 3</b> - Área útil da parcela .....	28
<b>Figura 4</b> - Coleta do cultivar de trigo.....	29
<b>Figura 5</b> - Curva de calibração .....	33
<b>Figura 6</b> - Teor de selênio nos grãos de trigo em função das quantidades de selênio aplicadas via foliar.....	34
<b>Figura 7</b> - Efeito das doses de selênio sobre a concentração de selênio na parte aérea do trigo .....	36
<b>Figura 8</b> - Produtividade do trigo em função das quantidades de selênio aplicadas via foliar.....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Fontes de selênio no solo .....	17
<b>Tabela 2</b> - Recomendação de ingestão de selênio em diferentes estágios de vida.	22
<b>Tabela 3</b> - Concentração de selênio nos alimentos mais consumidos pelos brasileiros .....	23
<b>Tabela 4</b> - Consumo médio de selênio na dieta de diferentes estados brasileiros ..	24
<b>Tabela 5</b> - Características físico-químicas do solo.....	26
<b>Tabela 6</b> - Concentrações finais dos elementos na curva de calibração .....	31
<b>Tabela 7</b> - Linhas espectrais empregadas nas leituras de cada elemento em ICP-OES.....	32
<b>Tabela 8</b> - Médias de peso do caule, peso de espiga e número de espigas para a cultura de trigo.....	38
<b>Tabela 9</b> - Teores dos elementos nos grãos de trigo .....	39
<b>Tabela 10</b> - Eficiência de absorção de selênio pela cultura do trigo .....	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	OBJETIVOS	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>15</b>
2.1	A CULTURA DO TRIGO - <i>TRITICUM AESTIVUM</i>	15
2.2	OCORRÊNCIA GEOQUÍMICA DO SELÊNIO	15
2.3	SELÊNIO NO SOLO	16
2.4	SELÊNIO NA PLANTA	18
2.5	BIOFORTIFICAÇÃO DE ALIMENTOS COM SELÊNIO	19
2.6	SELÊNIO EM SERES HUMANOS E ANIMAIS	21
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>25</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO	25
3.2	SOLO	26
3.3	ENSAIOS EM CONDIÇÕES DE CAMPO	26
3.4	ANÁLISE DE SELÊNIO	30
3.5	EXTRAÇÃO DE SELÊNIO DA PLANTA E GRÃOS	30
3.6	ANÁLISE DE MACRO E MICRONUTRIENTES NO GRÃO	31
3.7	EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO DE SELÊNIO PELAS PLANTAS	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>33</b>
4.1	DESEMPENHOS DA EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DO SELÊNIO	33
4.2	CONCENTRAÇÕES DE SELÊNIO NO GRÃO DE TRIGO	34
4.3	DISTRIBUIÇÕES DE SELÊNIO NA PLANTA	35
4.4	PRODUTIVIDADE	36
4.5	PRODUÇÃO AGRONÔMICA DO TRIGO	38
4.6	AVALIAÇÕES DO ESTADO NUTRICIONAL DO GRÃO	38
4.7	EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO DE SELENIO	39
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>41</b>
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nos últimos tempos, a busca pela saúde perfeita vem sendo cada vez mais intensificada. Com isso, as pessoas estão cada vez mais procurando alimentos que supram todas as necessidades diárias de vitaminas e minerais sem o uso de complementos vitamínicos sintéticos, além de tentar evitar doenças causadas pela falta de determinada substância essencial, seja ela de macro ou micro importância (CORBO, 2014).

Por este fato, o estudo de fontes de nutrientes para os seres humanos, plantas e animais se tornam extremamente necessários. Um desses importantes nutrientes é o selênio, que, embora seja tóxico em altas concentrações, em pequenas quantidades é um micronutriente essencial para o ser humano (CORBO, 2014).

O selênio atua como um antioxidante mineral, protege o tecido celular dos danos causados pelo oxigênio, além de apresentar um papel ativo no sistema imunológico reduzindo o risco de infecções por vírus. É também importante para o crescimento e para assegurar um metabolismo adequado, melhora a contagem de espermatozoides e se mostra capaz de prevenir doenças crônicas não transmissíveis como o câncer, trombose arterial e diabetes, além de aumentar a resistência no sistema imunológico. Como micronutriente, muito pouco selênio é necessário para manter uma boa saúde e sua ingestão excessiva, acima de  $400 \mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ , pode causar problemas à saúde (COZZOLINO, 2000).

Apesar disso, a concentração de selênio nos alimentos de origem vegetal consumidos no Brasil é considerada baixa em relação aos padrões internacionais, e aventam-se, como possível fator determinante, os baixos teores de selênio encontrado nos solos agrícolas (FERREIRA *et al.*, 2002).

## 1.2 JUSTIFICATIVA

No Brasil ainda há poucos estudos em relação ao selênio, desde a sua distribuição nos solos até novas formas de aumentar a quantidade do mesmo ingerida pela população. Alguns estados brasileiros demonstram baixa ingestão deste elemento, como em São Paulo e Mato Grosso, por exemplo, já o estado do Pará apresenta alta ingestão de selênio, sendo que este alto consumo se deve às grandes quantidades de castanha-do-brasil ingeridas na região (BOAVENTURA, COZZOLINO, 1993).

O selênio é raramente encontrado em seu estado natural. Normalmente combina-se tanto com metais como com não metais, para formar tanto compostos orgânicos como inorgânicos. Está distribuído irregularmente pelo solo e é encontrado nas rochas sedimentares das regiões mais secas em todo o mundo. Dentre os vários fatores que controlam a mobilidade do selênio nos solos, pode-se destacar o pH, o tipo de argila, os fatores de formação do solo, o potencial de oxirredução e o conteúdo de matéria orgânica presente no solo (GISSEL-NIELSEN, 2002; CARTES *et al.*, 2005).

De modo geral, o selenato de sódio quando aplicado via foliar, pode apresentar melhor desempenho na absorção e translocação do selênio para a planta. Podendo assim, ser mais eficiente do que quando esse é aplicado na forma de selenito de sódio via foliar ou na forma de selenato de sódio via solo (CORBO, 2014).

Entretanto, é de fundamental importância analisar a melhor maneira de aplicar esse elemento, a fim de avaliar a eficiência de absorção do selênio para planta, nos alimentos mais consumidos pelos brasileiros, como por exemplo, no trigo, que é considerado como o terceiro mais consumido. Por isso, é necessário realizar ensaio de campo, a fim de biofortificar a cultura do trigo adicionando selenato de sódio via foliar.

Para determinação quantitativa do selênio, pode-se utilizar métodos espectroscópicos, como a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES, do inglês *Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry*). Esta é uma técnica multielementar de emissão que tem como princípio a excitação de elétrons de um átomo para um maior nível energético,

quando se fornece energia através do plasma de argônio, em temperaturas elevadas (SANTANA, 2014). Como este estado excitado apresenta-se instável, os elétrons tendem a retornar ao estado fundamental através da perda de energia por emissão de um fóton, em comprimentos de onda característicos de cada elemento, que são medidos por um sistema de detecção. Se a energia absorvida pelo átomo for alta, um elétron pode ser completamente dissociado e formar um íon com carga positiva, um processo chamado de ionização. A energia requerida nesse processo é conhecida como potencial de ionização, diferente para cada elemento. Esta propriedade característica dos elementos tornou a técnica muito útil na determinação analítica elementar (CIENFUEGOS, VAITSMAN, 2000).

A técnica apresenta uma série de vantagens quando comparada a métodos de absorção atômica em chama (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2007), o que explica o crescente interesse de laboratórios e instituições de pesquisa pela mesma para determinação de analitos em diferentes amostras. Dentre as vantagens estão a determinação simultânea em uma ampla faixa de concentração, devido à obtenção de bons espectros de emissão para muitos elementos sob mesmas condições, alta precisão, exatidão e sensibilidade, determinação de elementos traço devido aos baixos limites de detecção, rapidez e baixo ruído (SOARES *et al.*, 2010).

### **1.3 OBJETIVOS**

O trabalho teve como objetivo obter uma recomendação referente à adição do selênio via foliar no grão do trigo, processo conhecido como biofortificação, de modo a dobrar a quantidade de selênio neste e avaliar a eficiência de absorção de selênio com aplicação via foliar.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 A CULTURA DO TRIGO - *TRITICUM AESTIVUM***

Segundo a legislação brasileira, através da Instrução Normativa Nº 38, de 30 de novembro de 2010, considera-se trigo os grãos provenientes das espécies *Triticum aestivum L.* e *Triticum durum L.* Comercialmente este grão é classificado em cinco tipos: trigo branco, trigo pão, trigo melhorado, trigo para outros usos e trigo durum. O *Triticum aestivum L.* (trigo comum) é o de maior interesse comercial por ser utilizado na panificação para produção de bolos, biscoitos, massas e derivados. Essa gramínea é a segunda maior cultura do mundo em produção, sendo que a safra mundial de trigo nos últimos anos ficou na média de 719,8 milhões de toneladas (*United States Department of Agriculture - USDA, 2016*). Segundo LANTMANN *et al.* (2005), o Brasil consome, em média, 10 milhões de toneladas de trigo por ano.

A estrutura do trigo está dividida em três regiões: gérmen, pericarpo e semente. O gérmen é o embrião de uma nova planta, rico em açúcares e lipídeos, correspondendo a 3% do grão. O pericarpo é a casca ou involucro protetor da semente, que se apresenta rico em celulose e corresponde a 18% do grão. Já a semente, é constituída pela cobertura e endosperma, rica em amido e proteínas, ou seja, corresponde a região da qual se faz a extração da farinha de trigo (EMBRAPA, 2009).

### **2.2 OCORRÊNCIA GEOQUÍMICA DO SELÊNIO**

O selênio foi descoberto em 1817 pelo químico sueco Jons Jakob Berzelius, quando investigava a produção de ácido sulfúrico. Berzelius observou um depósito vermelho na parede de câmaras de chumbo que, ao ser aquecido com maçarico, liberava um odor fétido que se considerava até então característico do telúrio. Mais tarde, com a ajuda de técnicas analíticas, foi possível observar que não havia vestígios de telúrio e sim, de um novo elemento, com propriedades muito semelhantes à do telúrio, ao qual foi dado o nome de selênio, derivado do grego

*selene*, que significa lua, devido a sua semelhança com telúrio, que significa terra (MELLOR, 1995).

O selênio já foi considerado um agente cancerígeno e altamente tóxico à saúde humana e animal (KOHRLER, 1999). Em 1957, Schwartz e Foltz descobriram essencialidade para animais (NAVARRO-ALARCON; MARTINEZ, 2000; REILLY, 1996) e, em 1979, com o descobrimento da doença de Keshan - cardiomiopatia fatal, causada pela deficiência de selênio entre a população Chinesa, foi revelada sua essencialidade na nutrição humana (SHILS *et al.*, 1994).

O selênio é classificado como um metaloide ou semimetal, significando que ele exibe propriedades tanto dos metais quanto dos elementos químicos não metálicos. Possui o símbolo Se, número atômico 34 e massa atômica 78,96μ, fazendo parte do grupo 16 da tabela periódica. Possui grande similaridade com o enxofre, especialmente quanto às suas formas alotrópicas e compostos (NEAL, 1995).

O selênio ocorre naturalmente no ambiente, podendo ser encontrado nos diferentes reservatórios naturais (água, ar e solo) como selênio na forma elementar ( $\text{Se}^0$ ), na forma menos oxidada como selenito ( $\text{SeO}_3^{-2}$ ), na forma de seleneto ( $\text{Se}^{-2}$ ) e na forma de selenato ( $\text{SeO}_4^{-2}$ ). Também pode ser encontrado nas formas orgânicas, como compostos metilados, seleno-aminoácidos, selenoproteínas e seus derivados ou como dióxido de selênio nas cinzas provenientes da calcinação de minérios sulfetados (FISHBEIN, 2001).

### 2.3 SELÊNIO NO SOLO

A ocorrência de selênio nos solos está associada ao intemperismo e à composição química do material de origem. De acordo com a *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (2003), o processo de intemperismo de rochas contribui com a liberação de 100 a 200 toneladas de selênio anualmente. Normalmente, o selênio encontra-se associado à fração argila do solo e é encontrado em maiores concentrações em xistos ( $0,06 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), do que em calcários e arenitos. Em rochas fosfatadas também foram relatadas concentrações muito elevadas de selênio (até  $300 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e parece que há pouca correlação entre selênio e  $\text{P}_2\text{O}_5$  (NEAL, 1995). Portanto, a deposição de selênio no ambiente

geológico é muito variável, refletindo as propriedades de diferentes tipos de rochas (FORDYCE *et al.*, 2008).

Segundo KABATA-PENDIAS (2001), o selênio presente no solo se origina de diferentes fontes, de acordo com Tabela 1.

**Tabela 1** - Fontes de selênio no solo.

Origem do selênio no solo	
Litogênica	Material de origem com alto teor de selênio.
Pedogenética	Material acrescido nos horizontes A e B dos solos, devido a fixação pela matéria orgânica, hidróxidos de ferro e manganês e argilominerais (principalmente montmorilonita)
Atmosférica	Deposição pelas chuvas, especialmente em locais perto de oceanos e mares. (O selênio está presente na atmosfera devido a atividades vulcânicas, emissões industriais e volatilização do mar e da superfície do solo)
Fitogênica	Volatilização de plantas e de microrganismos do solo e queima de vegetação selenífera
Antropogênica	Dá-se de duas formas: pela agricultura (se aplicado nos solos, adubação foliar, tratamento de sementes e adubos fosfatados) e pela indústria (fundição de alguns minerais, perda de minerais, alguns lodos de esgoto)

Fonte: Adaptado de KABATA-PENDIAS, 2001.

Em condições naturais, a concentração de selênio na água é bastante baixa, não passando de 2 ou 3  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (WHO, 1987). Na atmosfera, contribuições oriundas de fontes naturais por formas voláteis do elemento são insignificantes, apresentado de 0,1 a 10  $\text{ng.m}^{-3}$ .

Na crosta terrestre o selênio ocupa o 70º lugar em abundância na natureza entre os 98 elementos existentes. Sua abundância é relativamente baixa, sendo reportadas concentrações que variam de 0,05 a 0,09 mg.kg<sup>-1</sup> (NEAL, 1995).

A mobilidade e biodisponibilidade do selênio no solo dependem de diversos fatores, tais como: pH, o tipo de argila, o potencial de oxidação-redução, a presença de espécies aniônicas ou óxidos de ferro e o conteúdo de matéria orgânica disponível no solo (CARTES *et al.*, 2005; COZZOLINO, 2005; GISSEL-NIELSEN, 2002).

Segundo NEAL (1995), à medida que seu estado de oxidação é aumentado, o selênio torna-se mais móvel e menos retido no solo. Em regiões de alta umidade e/ou de solos ácidos, o selenito é a espécie química predominante (NEAL, 1995; NAKAMARU *et al.*, 2005). Sob condições de neutralidade ou alcalinidade, o selenito tende à oxidação, passando para a forma de selenato (GIRLING, 1984; GEERING *et al.*, 1968).

Sendo assim forma, o selenato é a mais encontrada em solos alcalinos, enquanto que a forma selenito predomina em solos bem drenados com pH próximo à neutralidade ou ácidos. O selenato é relativamente móvel na solução do solo, mas o íon selenito é fortemente adsorvido por óxidos e/ou hidróxidos de ferro e alumínio e, num menor grau, por argilas e pela matéria orgânica do solo (WHITE & BROADLEY, 2008).

Embora os solos seleníferos possam ter concentrações de selênio acima de 1200 mg.kg<sup>-1</sup>, a concentração de selênio na maioria dos solos está na faixa de 0,01 a 2,0 mg.kg<sup>-1</sup>, sendo considerados deficientes quando abaixo de 0,1 a 0,6 mg.kg<sup>-1</sup>. Algumas pesquisas evidenciam que os solos brasileiros são pobres em selênio devido a sua formação geológica (GUPTA U.C; GUPTA, S.C, 2000).

## **2.4 SELÊNIO NA PLANTA**

O grande interesse em saber como o selênio é absorvido e se comporta nas plantas é devido à sua importância na nutrição humana. As raízes das plantas podem absorver selênio na forma de selenato, selenito ou compostos orgânicos de selênio, tais como selenocisteína e selenometionina. Contudo, não são capazes de absorver o selênio elementar na forma coloidal (WHITE *et al.*, 2004).

A eficiência de absorção de selênio pelas plantas varia de acordo com a concentração de selênio encontrada no solo, com a forma química disponível de selênio, com o tipo de solo (DHILLON & DHILLON, 2003) e também com pH do solo, quanto maior, maior será absorção de selênio (KABATA-PENDIAS, 2001).

O selênio na forma selenato é transportado através da membrana plasmática das células da raiz das plantas por transportadores de sulfato (HAWKESFORD & ZHAO, 2007) e, enviado ao xilema e transportado para a parte aérea, onde é assimilado na forma de compostos orgânicos de selênio e redistribuído dentro da planta (LI *et al.*, 2008). Enquanto que o selenito é rapidamente convertido em compostos orgânicos de selênio na raiz e carregado por transportadores de fosfato (LI *et al.*, 2008).

A temperatura também é um fator determinante na absorção do selênio. Em um solo pobre em selênio, as plantas absorvem muito mais quando a temperatura é maior do que 20°C, comparado às estações frias cuja temperatura atinge valores menores que 15°C (LINDBERG & LANNEK, 1970).

As chuvas também têm influência sobre a concentração de selênio em pastagens. REUTER (1975) observou que baixas concentrações de selênio em plantas ocorriam frequentemente em áreas com alta precipitação de chuvas.

## **2.5 BIOFORTIFICAÇÃO DE ALIMENTOS COM SELÊNIO**

O economista Howarth E. Bouis, do Instituto Internacional de Pesquisa sobre Políticas Alimentares (IFPRI), foi o responsável pelo início da biofortificação de alimentos, em 1993. Neste ano, foi apresentada a ideia de genótipos a um grupo de melhoristas de plantas, visando maiores teores tanto de minerais quanto de vitaminas nos alimentos (CORBO, 2014).

É sabido que a população mundial cresce vertiginosamente e que há um aumento na demanda de produtos agrícolas em todo o mundo. Com isso a qualidade desses alimentos assim como a fertilidade dos solos cultivados pode ser prejudicada (CORBO, 2014).

Os alimentos biofortificados podem complementar as deficiências nutricionais, beneficiando-os de uma maneira sustentável e de baixo custo, atendendo assim populações mais carentes. A biofortificação dos alimentos pode acontecer de duas

formas: a) genética: melhorando geneticamente as plantas para absorverem mais de um determinado nutriente ou b) biofortificação agrônômica: por meio de adubação via solo, aplicação foliar ou pelo tratamento de sementes (WELCH, 2008).

CHILIMBA *et al.* (2009) obtiveram resultados significativos quando aplicaram selênio em milho. Em uma dose de 100 g selênio.ha<sup>-1</sup>, obtiveram até 1,6 mg de selênio por kg nos grãos. SHARMA *et al.* (2009), trabalhando com canola adubada com duas fontes de selênio, nas formas de selenito e selenato, em doses que variaram de 0 a 4 mg.kg<sup>-1</sup>, conseguiram até 214,5 mg de selênio por kg nas sementes.

FERNANDES (2011) observou a eficiência da aplicação de selênio no solo, na forma selenito, como estratégia para aumentar a concentração desse elemento na cultura do arroz, brócolis e rabanete e, conseqüentemente, suprir as necessidades deste elemento na alimentação humana. Neste trabalho, o autor concluiu que para realizar a biofortificação desses alimentos com selênio, são necessário cerca de 162 a 712 g.ha<sup>-1</sup> para a cultura do arroz, de 22 a 423 g.ha<sup>-1</sup> para a cultura do brócolis e de 227 a 504 g.ha<sup>-1</sup> de selênio para a cultura do rabanete, com as maiores quantidades aplicadas ocorrendo em solo argiloso.

CORBO (2014) observou o efeito da aplicação de selenato de sódio em campo via solo, para a produção e concentração de selênio nos grãos para plantas de feijão, sendo que a dose de 500 g.ha<sup>-1</sup> promoveu a biofortificação e aumentou a produção vegetal, causando aumento em 40% quando comparado com a testemunha. Este aumento na produção de grãos deve-se ao efeito protetor do selênio, por aumentar a atividade antioxidante, causando a ativação da enzima catalase e a redução da peroxidação lipídica (HARTIKAINEN *et al.*, 2000; RAMOS *et al.* 2011).

Apesar de a essencialidade do selênio para os seres humanos e animais ser conhecida e importante, as pesquisas realizadas no Brasil para o aumento do teor desse elemento nos solos e a sua fitodisponibilidade, ainda são muito escassas, existindo ainda indicativo de baixo consumo de selênio pela população (MAIHARA, 2004).

## 2.6 SELÊNIO EM SERES HUMANOS E ANIMAIS

O selênio é considerado um elemento traço essencial para humanos e animais devido às suas propriedades antioxidantes e anticancerígenas. Há evidências de que a deficiência de selênio pode afetar o sistema imunológico, a fertilidade, principalmente a do sexo masculino, aumentar os riscos de infecções virais e a função da tireoide (RAYMAN, 2002).

O selênio age como antioxidante mineral, junto com a vitamina E, protegendo as membranas das células dos danos causados pelos radicais livres, diminuindo assim o risco de câncer e doenças do coração e vasos sanguíneos (JUNIOR, 2001).

Para RAYMAN (2002) o selênio é também importante para o crescimento, reprodução e para assegurar um metabolismo adequado. Estima-se que 0,5 a 1,0 bilhão de pessoas estão com provável carência de selênio no mundo (JUNIOR, 2001).

Inúmeros estudos mostram que o selênio interage com elementos tóxicos, como arsênio, cádmio, mercúrio, cobre, prata, chumbo e platina, podendo reduzir a toxicidade desses elementos e prevenir possíveis manifestações toxicológicas (MARTENS *et al.*, 2012). Analisando amostras de tecido cerebral (área occipital e hipotálamo) de macacos expostos ao metilmercúrio, BJÖRKMAN *et al.*, (1995) encontraram associação significativa entre as concentrações dos elementos mercúrio e selênio, indicando que o selênio desempenha importante papel na retenção de mercúrio no cérebro.

Estudos epidemiológicos mostram resultados positivos do selênio atuando na redução de câncer de tireoide, pele, mama, ovário, próstata e trato gastrointestinal, principalmente o colorretal (COMBS, 2005; WHANGER, 2004).

Segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2002), a recomendação diária de selênio para os seres humanos deve ser de acordo com o peso, idade e gênero. A ingestão de selênio varia de 6  $\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$  para recém-nascidos a 34  $\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$  para homens de 19 – 65 anos. Entretanto, a ingestão excessiva, acima de 400  $\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ , deve ser evitada (YANG & XIA, 1995). A Tabela 2 mostra a ingestão diária recomendada de acordo com peso médio. ALMONDES *et al.* (2010) sugerem que o uso de uma suplementação diária contendo 200  $\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$  de selênio pode diminuir o risco de câncer.

**Tabela 2** - Recomendação de ingestão de selênio em diferentes estágios de vida.

Recomendação de ingestão de referência (RID)	Selênio ( $\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ )						
	1-3 anos	4-8 anos	9-13 anos	14-18 anos	> 19 anos	Gestantes	Lactantes
EAR <sup>1</sup>	17	23	35	45	45	49	59
RDA <sup>2</sup>	20	30	40	55	55	60	70
UL <sup>3</sup>	90	150	280	400	400	400	400

<sup>1</sup>EAR (*estimated average requirement*): necessidade média estimada; <sup>2</sup>RDA (*recommended dietary allowance*): ingestão dietética recomendada; <sup>3</sup>UL (*tolerable upper intake level*): limite máximo tolerável de ingestão.

Fonte: Adaptado de COZZOLINO, 2012.

A toxicidade por selênio está associada com o seu consumo excessivo, e ocorre pela ingestão de doses acima de 1 g de selênio ou  $22 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de peso corpóreo. A toxicidade leva aos seguintes sintomas: distúrbios gastrointestinais, gosto metálico na boca, odor de alho exalado nas vias respiratórias, infarto do miocárdio, falência renal e morte (COZZOLINO, 2012). Além de queda de cabelo, unhas quebradiças, os dentes com manchas brancas e maior incidência de cárie, reações na pele (lesões com aparência inflamada e eruptiva) e alterações no sistema nervoso (COMBS, 2005).

Animais e seres humanos obtêm selênio por meio da alimentação. O teor de selênio nos alimentos é um reflexo das concentrações encontradas nos solos, portanto a concentração de selênio nos alimentos pode apresentar variações. Em função de sua importância faz-se necessário conhecer a composição nutritiva dos alimentos, para garantir um consumo adequado do selênio pela população (COMBS, 2005).

A castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, família *Lecythidaceae*) é o alimento mais rico neste mineral conhecido atualmente, apresentando concentrações entre 8

e  $126 \mu\text{g.g}^{-1}$  de selênio. Também, alimentos como fruto do mar, carnes vermelhas, cogumelos, alho, brócolis, fígado e rins são considerados boa fonte de selênio e, como fonte pobre em selênio, pode-se considerar aves, ovos, leites e derivados, frutas e vegetais (MENEZEZ & SOUZA, 2004). A concentração de selênio nos alimentos mais consumidos pelos brasileiros está apresentada na Tabela 3, com exceção de castanha-do-brasil, que está presente na tabela apenas por que é o alimento com maior concentração de selênio, porém não é muito consumido (COZZOLINO, 2012).

**Tabela 3** - Concentração de selênio nos alimentos mais consumidos pelos brasileiros.

<b>Alimento</b>	<b>Concentração de selênio (<math>\mu\text{g.g}^{-1}</math>)</b>
Açúcar	tr*
Alface	0,01
Alho	0,02
Arroz	0,04
Banana	0,01
Batata	0,01
Café	tr*
Carne bovina	0,02
Castanha-do-brasil	40
Cebola	0,01
Farinha de trigo	0,42
Feijão	0,03
Frango cozido	0,07
Laranja	0,01
Leite em pó	0,03
Linguiça	0,07
Macarrão	0,01
Margarina	tr*
Óleo	tr*
Ovo (clara)	0,06
Pão francês	0,25
Queijo	0,06
Tomate	tr*

\*tr = traços

Fonte: Adaptado de COZZOLINO, 2012.

O brasileiro consome em média de 18 a 139  $\mu\text{g}$  de selênio por dia, conforme apresentado na Tabela 4, o que pode ser considerado de baixo a adequado de acordo com (COZZOLINO, 2012).

**Tabela 4** - Consumo médio de selênio na dieta de diferentes estados brasileiros.

<b>Estado</b>	<b>Concentração média de selênio (<math>\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}</math>)</b>
Amazonas	94,5
Mato Grosso	19
Santa Catarina I e II*	52 e 139
São Paulo	18

\*Santa Catarina I = grupo de menor poder aquisitivo e II grupo de maior poder aquisitivo.

Fonte: Adaptado de COZZOLINO, 2012.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento de biofortificação foi conduzido no Centro Experimental Central do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC na cidade de Campinas-SP, localizado a 22°89' Latitude Sul e 47°1' Longitude Oeste, com altitude de aproximadamente 650 m, conforme apresentado na Figura 1. O clima na cidade de Campinas é do tipo Cwa (classificação de Köppen), tropical úmido, com verão quente e úmido e inverno seco. A temperatura média anual é de 21,7 °C com precipitação média anual de 1381 mm.

**Figura 1** - Imagem aérea da área experimental



Fonte: Do autor, 2016.

### 3.2 SOLO

O solo que foi utilizado para o plantio é classificado como Latossolo Vermelho Escuro-distrófico, de textura argilosa (EMBRAPA, 2006) e algumas de suas características físico-químicas analisadas em amostras de profundidades de 0-20 cm, podem ser observados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Características químicas para o teor de matéria orgânica (MO); fósforo (P); cálcio (Ca); magnésio (Mg); potássio (K); soma de bases trocáveis (SB); acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de catiônica e saturação por bases (V%) e análise física do solo (camada de 0 a 20 cm).

Profundidade	pH CaCl <sub>2</sub>	MO	P	Ca	Mg	K	SB	H+Al	CTC	V
cm		g kg <sup>-1</sup> <sub>1</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						%
0 - 20	5,9	18	55	59	26	1,2	86	18	104	83
Profundidade	Argila	Silte	Areia Total		Classificação textural					
cm	-----g kg <sup>-1</sup> -----									
0 - 20	628	103	269		Argilosa					

2 mm > Areia grossa > 0,5 mm > Areia fina > 0,05 > Silte > 0,002 mm > Argila

Fonte: Do autor, 2016.

### 3.3 ENSAIOS EM CONDIÇÕES DE CAMPO

Toda a parte de plantio, irrigação, adubação, aplicação do selenato de sódio via foliar, colheita e monitoramento do cultivar foram realizados em colaboração com o Instituto Agrônomo de Campinas – SP, o qual forneceu todas as condições necessárias para que o ensaio em campo fosse realizado.

A variedade de trigo utilizada no experimento foi o trigo IAC 385, por se tratar de um cultivar indicado para regiões com temperaturas mais elevadas como no

estado de São Paulo. O cultivo ocorreu em campo no período de novembro de 2016 a março de 2017, com 5 repetições para cada tratamento, totalizando 25 parcelas da parte aérea e 25 parcelas do grão. Algumas características do cultivar de trigo IAC 385 estão descritas na Figura 2. As adubações de plantio e de cobertura foram realizadas de acordo com a análise de solo e com base no Boletim 100 do IAC (RAIJ *et al.*, 1996).

**Figura 2** - Características do trigo IAC 385

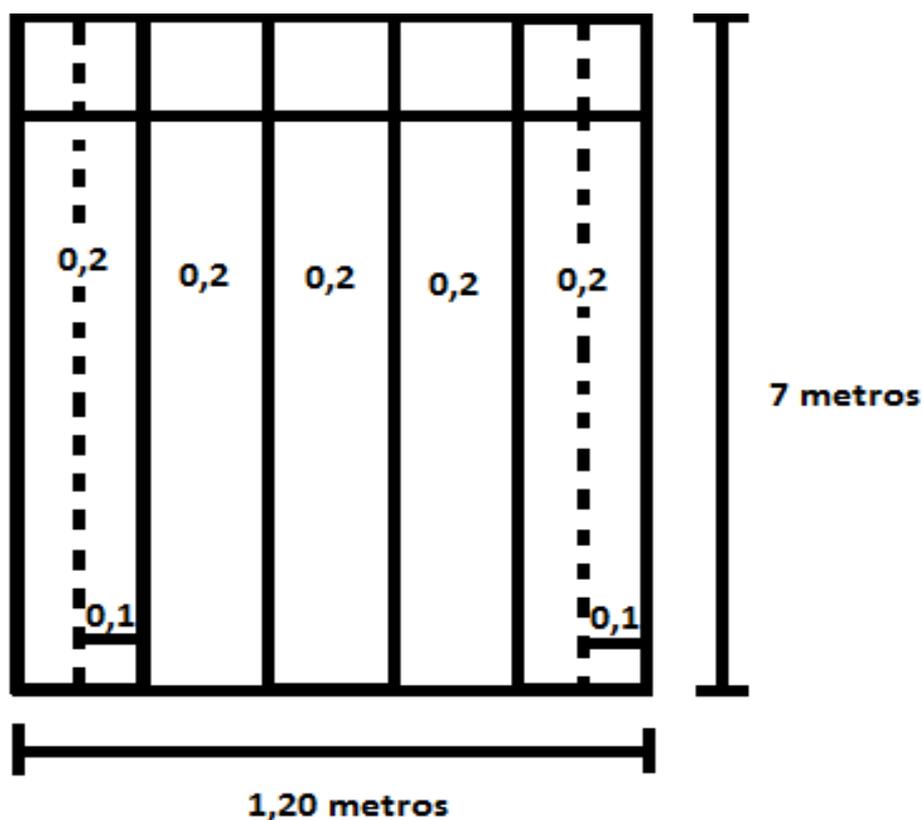
Ano de lançamento	2010 (N.referência RNC 26658 )
Procedência	Instituto Agrônomo de Campinas
Origem	Cruzamento:TRAPI#1/YACO//BAV.92
Tipo de cultura	Sequeiro/Irrigado
Ciclo	130 a 140 dias (intermediário/tardio)
Espigamento	60/70. dias após a emergência
Epoca de plantio	01 de abril a 31 de maio (de acordo com a região e ou com irrigação)
Espaçamento entrelinhas	0,17 a 0,20m
Gasto de sementes	125 a 140kg/ha
Estande	300 a 350 plantas/m <sup>2</sup>
Características da planta	Porte: semi-prostado Altura da planta: 85 a 90 cm Cor da aurícula: ausência de antocianina
Características da espiga	Forma: fusiforme Cor na maturação:Clara Arista: normal
Tipo de grão	Duro/Melhorador
Produtividade média	3000 a 5000. kg/ha
Resistência a doenças	Moderadamente Resistente: á Ferrugem da folha,Oídio Moderadamente suscetível: As manchas foliares causadas por <i>Bipolaris sorokiniana</i> e <i>Drechslera tritici-repentis</i> e Moderada resistência à Brusone Suscetibilidade á Giberela moderada
Regiões indicadas para plantio	Regiões Triticolas do Estado de São Paulo:Região de VCU II sequeiro e irrigado, na Região de VCI III sequeiro e na Região IV somente com irrigação por aspersão.
Observações	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Destaca-se pela rusticidade</li> <li>▪ Resistência ao acamamento: boa</li> <li>▪ Resistente à debulha natural e à germinação na espiga.</li> <li>▪ Suscetibilidade média ao alumínio tóxico do solo.</li> <li>▪ Exigência média em fertilidade do solo</li> <li>▪ Qualidade industrial: trigo melhorador.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de CATI, 2010.

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com cinco doses de selênio e cinco repetições. As parcelas foram constituídas por seis linhas de 7 m de

comprimento, 1,2 m de largura, espaçadas de 0,2 m entre linhas, sendo as quatro linhas centrais menos a bordadura de 1,4 m considerada como área útil de 5,6 m<sup>2</sup>, como mostra a Figura 3. O trigo foi plantado no espaçamento de 20 cm entre linhas de semeadura, mantendo em cada linha 70 a 80 sementes.

**Figure 3** – Área útil da parcela.



Fonte: Do autor, 2016.

Os tratamentos constituíram de cinco doses de selênio, na forma de selenato de sódio, nas concentrações de 0; 5; 10; 20 e 50 g.ha<sup>-1</sup> aplicados via foliar por ocasião do florescimento. O controle fitossanitário foi realizado de acordo com as necessidades da cultura e acompanhado por técnicos do Instituto Agrônomo de Campinas.

Após a maturação fisiológica dos grãos, foram coletadas 10 plantas em pontos ao acaso da área útil da parcela para determinação dos componentes de produção, conforme ilustra a imagem apresentada nas Figuras 4 a) e b).

Posteriormente, o material vegetal colhido foi seco em estufa de ventilação forçada (60° C) até atingir a massa constante, moídos em moinho tipo Willey e

armazenado em potes plásticos para determinação do teor de selênio e macro e micronutrientes nos grãos de trigo, no laboratório do Instituto Agrônomo.

**Figura 4** - Coleta do cultivar de trigo

a)



b)



Fonte: Do autor, 2017.

### 3.4 ANÁLISE DE SELÊNIO

A análise de selênio foi realizada também em colaboração com o Instituto Agronômico de Campinas. A concentração de selênio, na parte aérea e nos grãos de trigo, foi realizada pela técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Além disso, foram realizadas avaliações de análises estatísticas efetuadas pelo programa Sisvar, análises de variância e regressão para as doses empregadas além do teste de Tukey a 5% de probabilidade para a comparação entre as médias dos tratamentos.

### 3.5 EXTRAÇÃO DE SELÊNIO DA PLANTA E GRÃOS

Para a digestão do material vegetal, foi pesado 1 g de cada amostra em triplicata e colocado em tubo de micro-ondas. Foram adicionados 4 mL de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 30 % (v/v) em cada um dos tubos que foram mantidos cobertos de um dia para o outro. Depois desse período foi adicionado 6 mL de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) concentrado em cada tubo e, após 2 horas, este material foi submetido ao aquecimento em aparelho de micro-ondas (CEM/modelo MARS 5 XPRESS) e digerido pelo método EPA3051 (US-EPA, 1995), a uma potência de 1200 W, durante o processo de extração foram emitidas ondas por 15 minutos para elevar a temperatura a 200 °C em uma pressão de 120 psi. A temperatura e pressão foram mantidas por 5 minutos. Após a completa digestão, os tubos foram retirados do aparelho e mantidos na capela com exaustão para esfriarem e serem abertos após 30 minutos. Após 30 minutos de descanso, os extratos foram filtrados em papel de filtro, “faixa lenta” e avolumados para 25 mL.

Os teores de selênio dos extratos foram obtidos através da leitura em espectrômetro ICP-OES Varian Vista MPX™, utilizando o software ICP Expert II (Agilent Technologies) em um comprimento de onda de 196,026 nm nas concentrações da curva de 0; 0,005; 0,0125; 0,025; 0,1; 0,3; 0,5; 1 e 1,5 mg.L<sup>-1</sup>. O gás utilizado para formação do plasma foi o argônio 5.0 (White Martins).

O controle de qualidade para a extração e determinação do selênio foi confirmado pelo emprego de duas amostras certificadas com um valor alto e um

baixo, denominadas amostras controle, sendo elas: folha de espinafre (NIST 1570a, Gaithersburg, MD, EUA) – com valor nominal de selênio de:  $0,115 \pm 0,0043 \text{ mg.kg}^{-1}$ , e folha de tomate (NIST 1573a, Gaithersburg, MD, EUA) – com valor nominal de selênio de:  $0,054 \pm 0,03 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Após a leitura das amostras, procederam-se os cálculos das concentrações totais em  $\text{mg.kg}^{-1}$  de cada um dos elementos, utilizando-se a Equação 1.

$$\text{Concentração (mg.kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{leitura (convertida em mg.L}^{-1}\text{)} \times \text{volume balão (L)} \times \text{diluição}}{\text{massa da amostra (kg)}} \quad (1)$$

### 3.6 ANÁLISE DE MACRO E MICRONUTRIENTES NO GRÃO

Adicionalmente, foi realizada a determinação dos teores de alguns macro e micronutrientes por ICP-OES. As concentrações da curva de calibração multielementar dos elementos determinados estão apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6** - Concentrações finais dos elementos na curva de calibração

Elemento	Concentração nas soluções da curva de calibração ( $\text{mg.L}^{-1}$ )						
Boro (B)	0,0	0,01	0,025	0,05	0,2	0,6	1,0
Cálcio (Ca)	0,0	0,50	1,25	2,5	10,0	30,0	50,0
Cobre (Cu)	0,0	0,05	0,125	0,25	1,0	3,0	5,0
Ferro (Fe)	0,0	0,1	0,25	0,5	2,0	6,0	10,0
Manganês (Mn)	0,0	0,1	0,25	0,5	2,0	6,0	10,0
Magnésio (Mg)	0,0	0,50	1,25	2,5	10,0	30,0	50,0
Fósforo (P)	0,0	0,25	0,625	1,25	5,0	15,0	25,0
Zinco (Zn)	0,0	0,05	0,125	0,25	1,0	3,0	5,0

Fonte: Do autor, 2017.

Os comprimentos de onda em que foi realizada a leitura de cada um dos elementos citados acima estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7** - Linhas espectrais empregadas nas leituras de cada elemento em ICP-OES

<b>Elemento</b>	<b>Comprimento de onda (nm)</b>
Boro (B)	208,956
Cálcio (Ca)	315,887
Cobre (Cu)	324,754
Ferro (Fe)	259,940
Manganês (Mn)	293,305
Magnésio (Mg)	383,829
Fósforo (P)	213,618
Zinco (Zn)	206,200

Fonte: Do autor, 2017.

### 3.7 EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO DE SELÊNIO PELAS PLANTAS

A eficiência de absorção (EA) de selênio pelas plantas de trigo foi avaliada através da Equação 2.

$$EA(\%) = \frac{ASe(mg.kg^{-1}) - A0(mg.kg^{-1})}{SeAp(mg.kg^{-1})} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

ASe = concentração de selênio acumulado na parte aérea ( $mg.kg^{-1}$ ), nos tratamentos que receberam dose de selênio;

A0 = concentração de selênio acumulado na parte aérea ( $mg.kg^{-1}$ ), nos tratamentos que não receberam selênio (controle);

SeAp = quantidade de selênio aplicada ( $mg.kg^{-1}$ ).

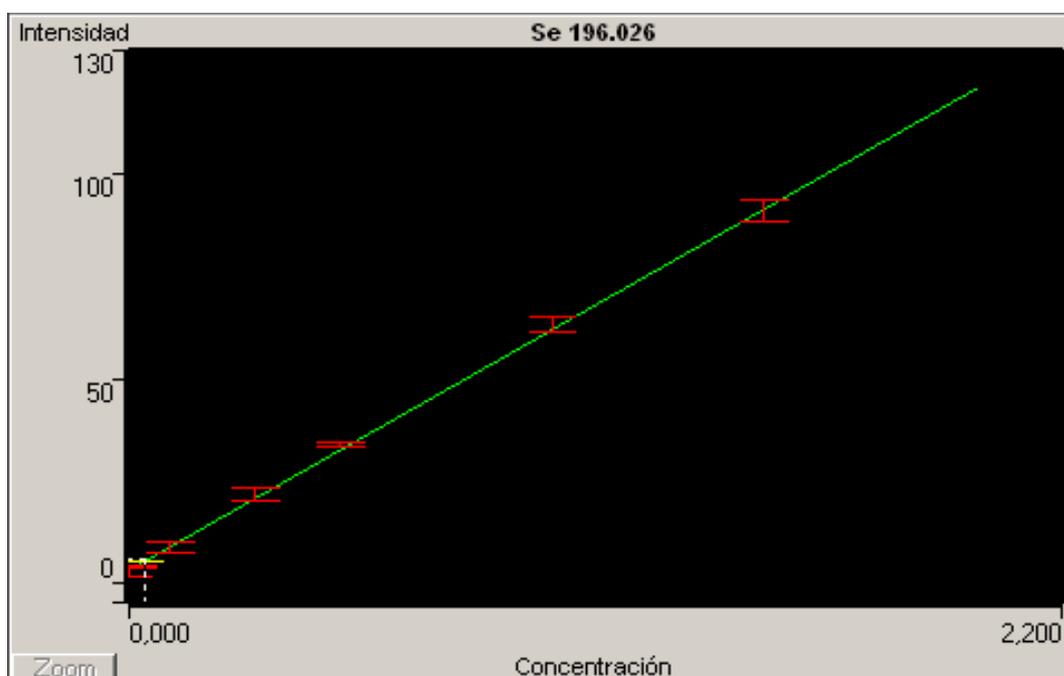
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DESEMPENHOS DA EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DO SELÊNIO

A metodologia utilizada tanto para a extração quanto para determinação apresentou um resultado bastante satisfatório, pois foi possível detectar desde níveis baixos de selênio até níveis mais elevados. Esses resultados foram confirmados pelos valores encontrados nas amostras certificadas.

O valor de selênio detectado para a amostra de menor concentração foi de  $0,0547 \text{ mg.kg}^{-1}$ , sendo que o valor poderia variar entre ( $0,024$  a  $0,084 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), e para a amostra de maior concentração o valor encontrado foi de  $0,1153 \text{ mg.kg}^{-1}$ , sendo que o valor poderia variar entre ( $0,1107$  a  $0,1193 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Além disso, fatores como calibração, e linearidade do equipamento contribuíram para o bom desempenho da determinação. Na Figura 5 está apresentada a curva de calibração obtida.

**Figura 5** – Curva de calibração

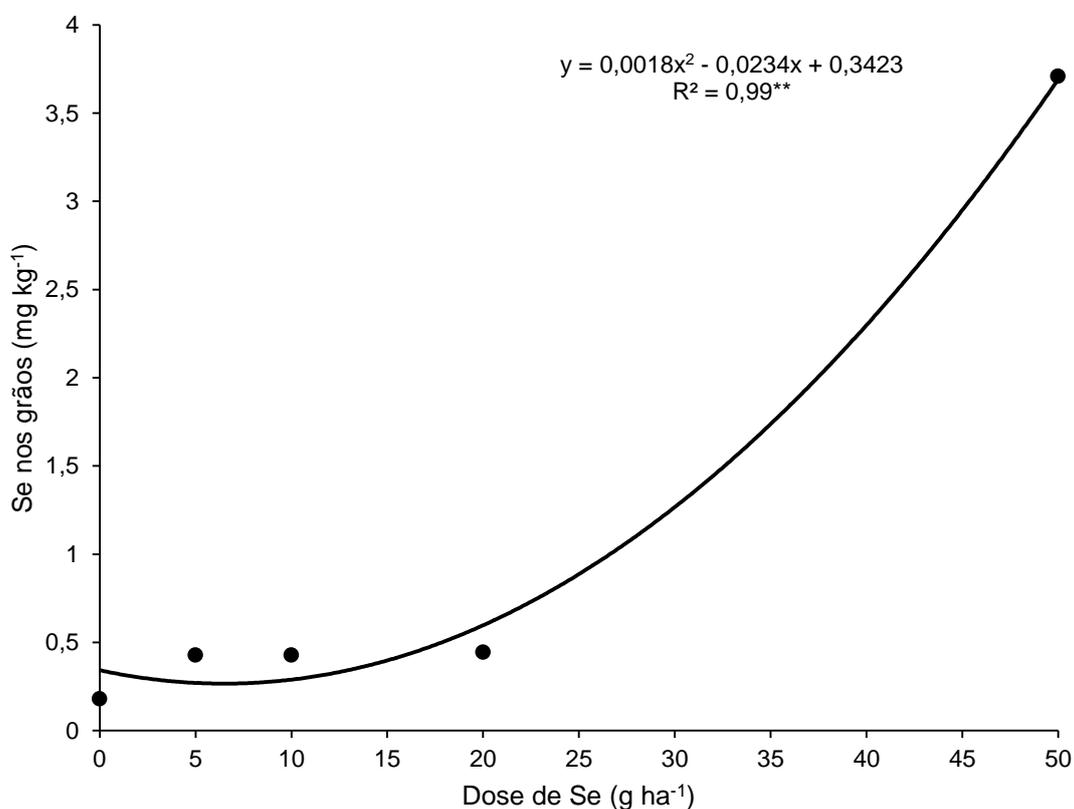


Fonte: Do autor, 2017.

## 4.2 CONCENTRAÇÕES DE SELÊNIO NO GRÃO DE TRIGO

A adição de doses crescentes de selênio como selenato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ) aplicadas, via foliar, aumentou significativamente ( $p < 0,05$ ) os teores desse elemento na cultura estudada, conforme apresentado na Figura 6. Os maiores teores foram obtidos com a dose de  $50 \text{ g. ha}^{-1}$  de selênio, correspondendo a um aumento na ordem de 2031% da concentração no grão de trigo, em relação à dose zero.

**Figura 6** - Teor de selênio nos grãos de trigo em função das quantidades de selênio aplicadas via foliar.



Fonte: Do autor, 2017.

A concentração de selênio no grão variou de  $0,18$  a  $3,71 \text{ mg.kg}^{-1}$  de selênio, conforme apresentado na Figura 6. A adição do selenato de sódio via foliar, mostrou-se eficiente para realizar a biofortificação, porém de acordo com o Ministério

da Saúde (2006), o limite máximo de tolerância (LMT) em alimentos sólidos para selênio é de  $0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ , e a maior dose aplicada, excede esse valor permitido.

Considerando-se o consumo médio de trigo por pessoa no Brasil de  $164 \text{ g.dia}^{-1}$  e, a recomendação diária de  $55 \text{ } \mu\text{g.dia}^{-1}$  de selênio segundo a FAO (*Food and Agriculture Organization*), estima-se que o trigo biofortificado com a dose de  $5 \text{ g.ha}^{-1}$  que irá contribuir para o aumento de 87% na ingestão diária recomendada (IDR) para esse elemento. Este aumento não ultrapassaria o limite máximo de tolerância (LMT) de  $0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  de selênio, permitido pelo Ministério da Saúde (2004). Na dose de  $50 \text{ g.ha}^{-1}$  o aumento seria de 1013% da IDR, mas ultrapassaria o limite máximo de tolerância de  $0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ , bem menor que a concentração de  $3,7 \text{ mg.kg}^{-1}$  obtida para essa dose, neste estudo.

### 4.3 DISTRIBUIÇÕES DE SELÊNIO NA PLANTA

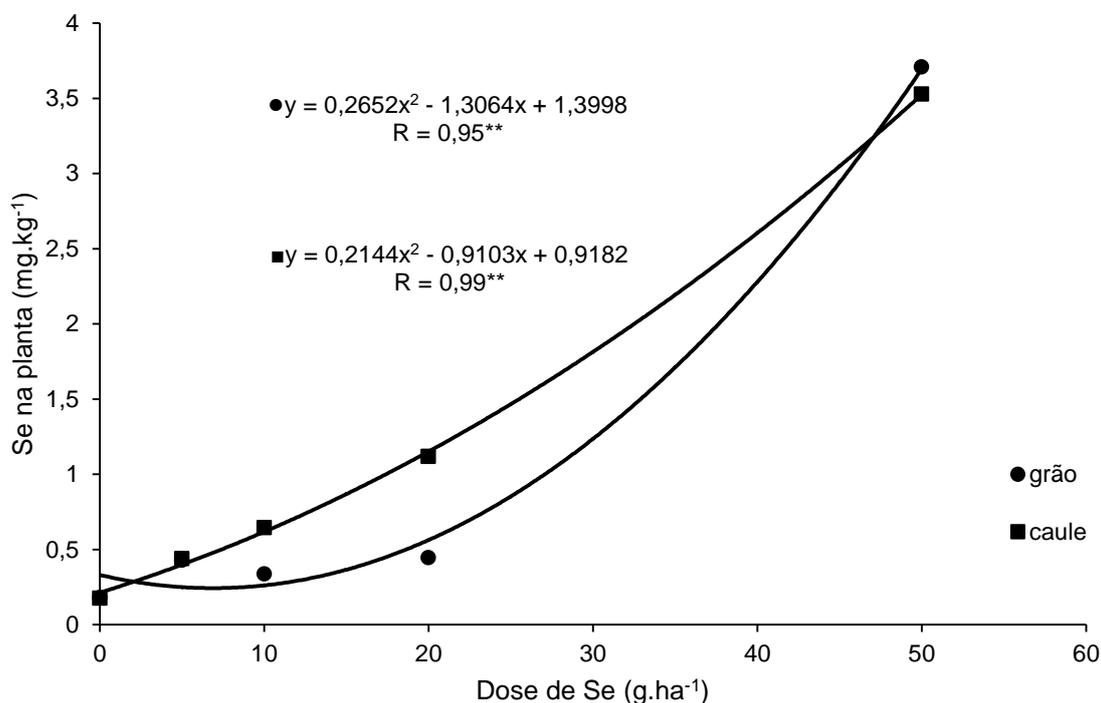
A distribuição de selênio nas diferentes partes da planta apresentou efeito significativo ( $p < 0,05$ ) como mostra a Figura 7. Verifica-se que a acumulação desse elemento foi sempre maior na parte aérea, seguida da semente, o que pode ser justificado pela capacidade da cutícula lipídica que cobre a superfície das folhas em absorver compostos polares solúveis em água (SILVA *et al.*, 2007).

Esses resultados corroboram com vários outros autores, os quais relataram que doses crescentes de selênio podem causar aumento significativo do teor desse elemento em culturas agrícolas (DUCSAY *et al.*, 2009; BROADLEY *et al.*, 2010).

Um comportamento diferente foi observado para a maior dose de  $50 \text{ g.ha}^{-1}$ , que transloucou este elemento com maior eficiência para o grão, mesmo que esta dose tenha apresentado níveis fitotóxicos, como observado na produtividade do trigo.

Possivelmente, esse maior acúmulo do teor de selênio no grão em relação a parte aérea na dose de  $50 \text{ g.ha}^{-1}$ , deve-se pela competição do selênio com o elemento enxofre, que utiliza o mesmo transportador e, como a planta foi exposta a alta concentração do selênio, este passou a competir com o enxofre e, conseqüentemente, foi mais eficiente na translocação para o grão, porém esta dose mostrou efeitos fitotóxicos para a cultura estudada.

**Figura 7** - Efeito das doses de selênio sobre a concentração de selênio na parte aérea do trigo.



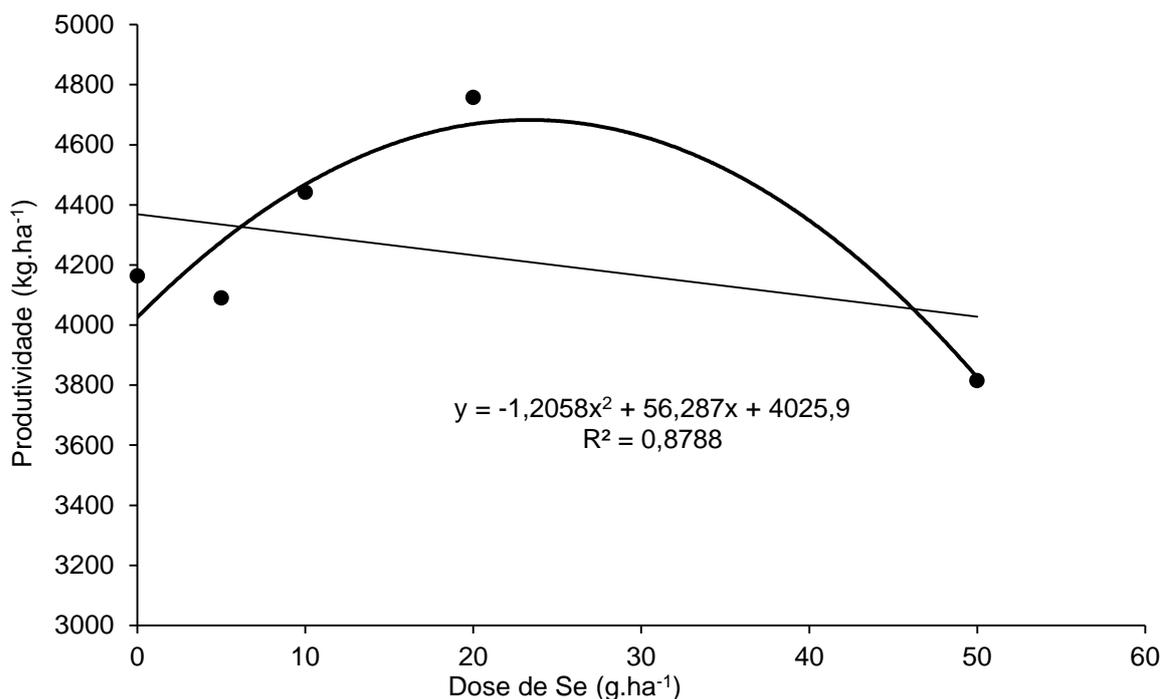
Fonte: Do autor, 2017.

#### 4.4 PRODUTIVIDADE

Na Figura 8, observa-se que a aplicação do selênio via foliar apresentou dano na produtividade na maior dose testada em relação à testemunha. A partir desses dados verifica-se que tal fato pode estar relacionado ao efeito fitotóxico causado pelo acúmulo de selênio na parte aérea da cultura, que pode ter comprometido o metabolismo vegetal e ter causado aumento da produção de espécies reativas a oxigênio, como peróxido de hidrogênio (HAWRYLAK-NOWAK *et al.*, 2015).

Sabe-se, que a peroxidação lipídica das membranas celulares é um dos principais indicadores do processo de estresse oxidativo (TURAKAINEN *et al.*, 2005; RAMOS *et al.*, 2011).

**Figura 8** - Produtividade do trigo em função das quantidades de selênio aplicadas via foliar.



Fonte: Do autor, 2017.

GERM *et al.*, (2007) ao pulverizar plantas de batata, com solução de até 10 mg.L<sup>-1</sup> de selenato de sódio, via foliar, não observaram sintomas de toxidez visíveis, nem efeitos na fotossíntese e na eficiência em capturar energia, mas observaram redução de 49% da matéria seca, relatado também por NASSER (2015) que obteve redução de aproximadamente 67% da produção de tubérculo de batata.

Neste trabalho, quando esse elemento foi aplicado, via foliar, nas dosagens 10 e 20 g.ha<sup>-1</sup> no cultivar de trigo, observou-se efeito positivo do selênio na produtividade de 6% e 14%, respectivamente, em relação à testemunha. Porém não houve diferença significativa nas análises estatísticas realizadas. Provavelmente, esse fato deve-se aos efeitos benéficos que o selênio proporciona a planta em baixas concentrações, como o aumento da atividade antioxidante das plantas, levando assim a uma maior produção vegetal. Esses resultados corroboram com os obtidos por CORBO (2014) para feijão, com selenato de sódio, via solo, que obteve aproximadamente 40% de aumento na produtividade, quando comparado à testemunha.

Por isso, a aplicação foliar desse elemento deve ser em concentrações menores, para evitar que as plantas sejam expostas a estresses bióticos e abióticos, a fim de evitar morte celular, causado pelo efeito fitotóxico que o selênio promove.

#### 4.5 PRODUÇÃO AGRONÔMICA DO TRIGO

Os resultados da análise de variância demonstraram que o peso do caule, peso da espiga e o número de espiga não mostraram efeito significativo com o aumento das doses selênio em relação à testemunha, conforme Tabela 8.

**Tabela 8** - Médias de peso do caule, peso de espiga e número de espigas para a cultura do trigo.

Dose de selênio	Peso Caule	Peso Espiga	Número Espiga
-----g ha <sup>-1</sup> -----	-----g-----		-----n°-----
0	36,1	47,5	21
5	34,9	42,4	21
10	33,3	46,1	18
20	35,2	51,3	20
50	35,5	52,5	21
C.V%	2,62	7,61	5,58
Média	34,9	47,9	20

\*A ausência de letras indica que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor, 2017.

#### 4.6 AVALIAÇÕES DO ESTADO NUTRICIONAL DO GRÃO

Devido às propriedades nutricionais que o trigo fornece aos seres humanos, torna-se relevante avaliar não somente o teor de selênio nos grãos, mas também os efeitos de outros minerais como ferro, zinco, cobre e manganês na presença de selênio, considerados macro e micronutrientes, conforme apresentado na Tabela 9.

Em relação aos micronutrientes, dentro do intervalo de concentração de selênio nos grãos de trigo neste estudo, houve uma relação quadrática significativa ( $p < 0,05$ ) para os teores de cobre e manganês nos grãos.

Esse efeito, provavelmente, ocorreu devido à competição (antagonismo) do selênio com estes elementos, pois com aumento das doses de selênio, aplicada via foliar, diminuíram os teores de cobre e manganês nos grãos. Esse efeito também foi relatado por RAMOS *et al.* (2011), ao aplicarem selenato e selenito em alface, observaram que a adição do selênio diminuiu os teores de Mn e Cu em ambas as formas de selênio.

Tabela 9 - Teores dos elementos nos grãos de trigo para os teores de macro nutrientes fósforo (P); cálcio (Ca); magnésio (Mg); enxofre (S) e micro nutrientes; boro (B); cobre (Cu); ferro (Fe); manganês (Mn); zinco (Zn) e selênio (Se).

Dose de selênio	P	Ca	Mg	S	B	Cu*	Fe	Mn*	Zn	Se
--g.ha <sup>-1</sup> --	-----g.kg <sup>-1</sup> -----				-----mg.kg <sup>-1</sup> -----					
0	2,1	0,51	0,89	1,5	1,41	2,18	56,2	53,7	31,1	0,178
5	2,02	0,6	0,83	1,59	1,73	2,04	57,7	53,1	27,7	0,338
10	1,8	0,48	0,74	1,56	1,44	1,31	55	47,5	27,4	0,428
20	2	0,55	0,77	1,54	1,57	1,63	71,9	48,9	26,9	0,445
50	1,94	0,54	0,77	1,55	1,04	1,5	53	51,2	25,3	3,708

\*diferença estatística pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor, 2017.

#### 4.7 EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO DE SELÊNIO

Os indicadores de eficiência de absorção em relação à dose zero de selenato de sódio, em função das quantidades aplicadas de selenato de sódio via foliar

encontram-se na Tabela 10. Verifica-se que as maiores porcentagens de eficiência de absorção e acúmulo de selênio na cultura do trigo ocorreu na dose de 50 g.ha<sup>-1</sup> de selênio. Provavelmente, esse fato deve-se aumento da dose de selenato, que proporcionou maior acúmulo de selênio na parte aérea da cultura do trigo.

**Tabela 10** - Eficiência de absorção de selênio pela cultura do trigo

Dose de selênio	Teor de selênio na parte aérea -----g ha <sup>-1</sup> -----	Eficiência de absorção de selênio %
0	1,5	-
5	3,5	42
10	4,3	22
20	6,8	23
50	30,2	56

Fonte: Do autor, 2017.

RÍOS *et al.*, (2008); RAMOS *et al.*, (2010); BOLDRIN *et al.*, (2011) também observaram que o selenato proporcionou maior eficiência de absorção e elevou o acúmulo de selênio na parte aérea das plantas. LI *et al.*, (2008) relataram que o selenato nas raízes não é facilmente convertido em formas orgânicas, sendo altamente móvel no xilema.

Desta forma, a aplicação de selênio via foliar pode ser uma alternativa promissora no sentido de enriquecer os grãos, sem se correr o risco de alcançar concentrações tóxicas para as plantas e animais. Porém, quando o selênio é aplicado em altas concentrações, este pode causar efeito fitotóxico para a cultura e, conseqüentemente, diminuir a produtividade do trigo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O selênio é um elemento essencial para a saúde humana e animal, apesar de seus benefícios não serem amplamente conhecidos pela população. Os alimentos ingeridos muitas vezes contém selênio, porém em pouca quantidade para suprir a demanda necessária. A castanha-do-brasil é considerada como o alimento mais rico em selênio, apresentando a concentração de 40  $\mu\text{g}$  de selênio a cada 1 un.dia<sup>-1</sup>, o que pode suprir a demanda necessária, porém, este alimento é consumido em pequena escala. A farinha de trigo é um dos alimentos mais consumidos pela população brasileira, contudo, apresenta apenas a concentração de 0,42  $\mu\text{g}$  de selênio a cada 100 g<sup>-1</sup>, tornando extremamente necessária a realização de biofortificação de selênio neste alimento, a fim de que seja realmente possível suprir a ingestão diária recomendada (IDR).

Após a realização da biofortificação da cultura de trigo com a adição de selênio, pode-se concluir que a taxa da produtividade foi maior com a aplicação da dose de 10 g.ha<sup>-1</sup>, intermediária entre as doses aplicadas. Isto sugere que o desenvolvimento do trigo é mais eficiente com a aplicação de pequenas quantidades de selênio, além disso, o trigo biofortificado na dose recomendada pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) contribuiu para um aumento de 87% na IDR para esse elemento, sem ultrapassar o limite máximo de tolerância (LMT) de 0,3 mg.kg<sup>-1</sup> de selênio.

O trigo diminuiu sua produção conforme ocorreu o aumento nas doses aplicadas. Com isso, constatou-se que a partir da dose de 20 g.ha<sup>-1</sup>, o selênio já possui efeitos adversos que provocam a diminuição da produtividade do trigo e assim, ultrapassam os valores recomendados para biofortificação.

A adição de selênio na forma de selenato de sódio aumentou os teores de alguns micronutrientes, e também alguns macronutrientes. Isto sugere que a absorção desses elementos é similar à do selênio e por isso, houve também a contribuição para o aumento dos mesmos.

A biofortificação agrônômica com selênio na forma de selenato de sódio via solo em feijão foi alcançada a partir da dose de 50 g.ha<sup>-1</sup>, representando 8,2% da ingestão diária recomendada (IDR) para esse elemento. Em contra partida, na

cultura do trigo foi necessário uma dose de  $5 \text{ g.ha}^{-1}$ , resultando em uma contribuição de 87% na (IDR), muito superior quando comparada a do feijão, Apresentando um método muito vantajoso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxicological Profile for Selenium.** Geórgia: 2003. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp92.pdf>>. Acesso em: 01/05/2016.

ALMONDES, K. G. S.; LEAL, G. V. S.; COZZOLINO, S. M. F.; PHILIPPI, S. T.; RONDÓ, P. H. C. O papel das selenoproteínas no câncer. **Revista Associação Médica Brasileira**, v. 56, n. 4, p. 484-488, 2010.

BJÖRKMAN L, MOTTET K, NYLANDER M, VAHTER M, LIND B, FRIBERG L. **Selenium concentrations in the brain after exposure to methylmercury: relations between the inorganic mercury fraction and selenium.** Arch Toxicol; v.69, p.228-234, 1995.

BOAVENTURA, G. T.; COZZOLINO, S. M. F. Selenium bioavailability in the regional urban diet of Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 43, n. 4, p. 223-229, 1993.

BOLDRIN, P. F. **Biofortificação agrônômica com selênio em arroz.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavaras, 2011.

BROADLEY, M.R.; ALCOCK, J.; ALFORD, J.; CARTWRIGHT, P.; FOOT, I.; FAIRWEATHER-TAIT, S.J.; HART, D.J.; HURST, R.; KNOTT, P.; MCGRATH, S.P.; MEACHAM, M.C.; NORMAN, K.; MOWAT, H.; SCOTT, P.; STROUD, J.L.; TOVEY, M.; TUCKER, M.; WHITE, P.J.; YOUNG, S.D. & ZHAO, F.J. **Selenium biofortification of highyielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilisation.** Plant Soil. v. 332, p. 5-18, 2010.

CARTES, P.; GIANFREDA, L.; MORA, M.L. **Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms.** Plant soil, v. 276, p. 359-367, 2005.

CATI; 2010. Disponível em: [http://www.cati.sp.gov.br/Cati/\\_produtos/SementesMudas/cultivares/TRIGO\\_IAC\\_385.pdf](http://www.cati.sp.gov.br/Cati/_produtos/SementesMudas/cultivares/TRIGO_IAC_385.pdf). Acessado em: 18/03/2017.

CHILIMBA, A.D.C.; BLACK, C.R.; LAMMEL, J. MEACHAM, M.C.; YOUNG, S.D.; BROADLEY, M.R. Agronomic biofortification of maize (*Zea mays* L.) with selenium in Malawi. In: **SELENIUM DEFICIENCY TOXICITY AND BIOFORTIFICATION FOR HUMAN HEALTH**, Suzhou, China, p.77-78, 2009.

CIENFUEGOS, F.; VAITSMAN, D. **Análise Instrumental.** Rio de Janeiro: Interciência, 2000.

COMBS G.F., Jr **Current evidence and research needs to support a health claim for selenium and cancer prevention.** J Nutr: p.343–347, 2005.

CORBO, J. Z. F. **Biofortificação da cultura do feijão e do milho com selênio.** 2014. p.71. Dissertação (Mestrado em agricultura Tropical e Subtropical: Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agronômico de Campinas: Campinas, 2014.

COZZOLINO, S. M. F. **A importância dos micronutrientes na saúde das populações.** Brasil Alimentos, São Paulo, n.5, p.18 – 22, 2000.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes.** 1. ed. Barueri, SP, Manole, 2005.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes.** 4. ed. Barueri, SP, Manole, 2012.

DUCSAY L., LOŽEK O., VARGA L. **The influence of selenium soil application on its content in spring wheat.** Plant, Soil and Environment. v. 55, p. 80–84, 2009.

DHILLON, K. S.; DHILLON, S. K. **Distribution and management of seleniferous soils.** Advances in Agronomy, New York, v. 79, n. 1, p. 119-184, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. Rio de Janeiro, 306 p, 2006.

(EMBRAPA) - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro, 2009.

FERREIRA, K. S.; GOMES, J. C.; BELLATO, C. R.; JORDÃO, C. P. Concentrações de selênio em alimentos consumidos no Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 11, n. 3, p. 172-177, 2002.

FERNANDES, K. F. M. **Biofortificação do arroz, do brócolis e do rabanete com selênio e predição de sua disponibilidade no solo.** 2011. 49p. Dissertação (Mestrado em agricultura Tropical e Subtropical: Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2011.

FISHBEIN, L. Selenium. In: Merian, E. (Ed.). **Metals and their compounds in the environment: occurrence, analysis and biological relevance.** Weinheim, VHC, p.1309-1342, 2001.

Food and Agriculture Organization. **Human Vitamin and Mineral Requirements**. Chapter 15: Selenium. USA: FAO Corporate Document Repository, 2002. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/004/Y2809E/y2809e00.HTM>>. Acesso em: 14 ago. 2016.

FORDYCE, F M, COOPER, R M AND STONE P. **Food Standards Agency Scotland Project S14042 - Task 1 Definition of Low and High Selenium Agricultural Settings in Scotland**. British Geological Survey Commissioned Report, CR/08/042. (Edinburgh: British Geological Survey), 2008.

GEERING, H.R.; CARY, E.E.; JONES, L.H.P. & ALLAWAY, W.H. **Solubility and redox criteria for the possible forms of selenium in soils**. Soil Sci. Soc. Am. J., p.36-40, 1968.

GERM M.; KREFT I.; STIBILJ V. **Urbanc-Bercic O. Combined effects of selenium and drought on photosynthesis and mitochondrial respiration in potato**. Plant Physiol. Bioch. v.45, p. 62-67, 2007.

GIRLING, C.A. **Selenium in agriculture and the environment**. Agric., Ecosyst. Environ., v. 11, p.37-65, 1984.

GISSEL-NIELSEN, G. Selenium. In: **Encyclopedia of Soil Science**. Ed. LAL, R. Pp. 1476. DEKKER, M. Inc. School of Natural Resources, USA, 2002.

GUPTA, U.C.; GUPTA, S.C. **Selenium in soils and crops, its deficiencies in livestock and humans: Implications for management**. Comm. in Soil Scie. and Plant Anal. p.1791-1807, 2000.

HARTIKAINEN, H.; XUE, T.L. & PIIRONEN, V. **Selenium as an antioxidant and pro-oxidant in ryegrass**. Plant Soil, p.193-200, 2000.

HAWKESFORD, M.J.; ZHAO, F.J. **Strategies for increasing the selenium content of wheat**. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p.282-292, 2007.

HAWRYLAK-NOWAK B. **Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions**. Plant Growth Regul, v. 70, p. 149 -157, 2015.

HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. R. **Princípios de Análise Instrumental**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

JUNIOR, G.F. C. **Selenium in global food systems**. **British Journal of Nutrition**, v.85, p.517-547, 2001.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**, 3.ed. Flórida: CRC Press. 2001.

KOHRLE, J. **The trace element selenium and the thyroid gland**. Biochimien., v. 81, p. 527 – 533, 1999.

LANTMANN, A. F.; CASTRO, C.; WIETHOLTER, S. **O potássio na cultura do trigo** In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. (Org.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, p.723-744, 2005.

LI, H.F., McGRATH, S.P., ZHAO, F.J. **Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite**. New Phytologist, v. 145, p. 831-842, 2008.

LINDBERG, P.; LANNEK, N. **Amounts of selenium in Swedish forages, soils and animal tissues**. p.421, 1970.

MAIHARA, V. A. Daily dietary selenium intake of selected Brazilian population groups. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Lousanne, v. 259, n. 3, p. 465-468, 2004.

MARTENS, I.B.G.; MARTENS, A.; COZZOLINO, S.M.F. Selenio. In: COZZOLINO, S.M.F., org. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 4.ed. Barueri: Manole, p.721-765, 2012.

MELLOR, J. W. **Química Inorgânica Moderna**. Editora Globo, 3ª edição, p. 919-920, 1995.

MENEZES, H. C.; SOUZA, M. L. **Processamentos de amêndoa e torta de castanha-do-brasil e farinha de mandioca: parâmetros de qualidade**. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 120-128, 2004.

Ministério da Saúde. **Guia Alimentar para a População Brasileira. – Promovendo a alimentação saudável**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

NASSER, V.G. **Biofortificação da cultura da batata com selênio**. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. p.26, 2015.

NAVARRO-ALARCÓN, M.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, M.C. **Essentiality of selenium in the human body: relationships with different diseases**. *Science of the Total Environment*, v.249, p. 347-371, 2000.

NAKAMARU, Y.; TAGAMI, K. & UCHIDA, S. **Distribution coefficient of selenium in Japanese agricultural soils**. *Chemosphere*, p.1347-1354, 2005.

NEAL, R.H.; Selenium. In: ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. 2.ed. New York: Wiley. p.260-283. 1995.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Boletim Técnico 100. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, p.285, 1996.

RAMOS S.J.; FAQUIN, V.; GUILHERME, L.R.G.; CASTRO, E.M.; AVILA, F.W.; CARVALHO, G.S.; BASTOS, C.E.A.; OLIVEIRA, C. **Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite**. Plant Soil and Environment, v.56, p.584-588, 2010.

RAMOS, S.J.; **Biofortificação, variação genotípica e metabolismo envolvendo selênio em plantas de alface e brócolis**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. p.116, 2011.

RAYMAN, M.P. **The argument for increasing selenium intake**. Proceedings of the Nutrition Society, London, v. 61, n. 2, p. 203-215, 2002.

REILLY C. **Selenium in food and health**. New York: Blackie Academic & Professional; 1996.

REUTER, D.J. **Selenium in soils and plant: A review in relation to selenium deficiency in South Australia**. Agricultural Record 2, p.44-50, 1975.

REUTER, D.J. **The recognition and correction of trace element deficiencies**. New York: Academic Press. 1975.

RÍOS, J.J.; ROSALES, M.A.; BLASCO, B.; CERVILHA, L.; ROMERO, L. & RUIZ, J.M. **Biofortification of Se and induction of the antioxidant capacity in lettuce plants**. Sci. Hortic., 116:248-255, 2008.

SANTANA, A. M. **Análise química de elementos potencialmente tóxicos em baterias e pilhas por FAAS e ICP OES**. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/124472/000837283.pdf?sequenc e=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 09 nov. 2016.

SILVA, J. F.; SILVA, J.F.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A. **Herbicida: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas**. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p. 367. 2007.

SHARMA, S.; BANSAL, A.; DHILLON, S.K.; DHILLON, K.S. **The effects of selenium accumulation on biochemical composition of rapeseed (*Brassica napus*)**. In: SELENIUM DEFICIENCY TOXICITY AND BIOFORTIFICATION FOR HUMAN HEALTH, 2009, Suzhou, China, p.85-86. 2009.

SHILS, M.E.; OLSON, J.A. & SHIKE, M. **Modern Nutrition in Health and Disease**. Lea & Febiger, USA. v. 1, p. 932, 1994.

SOARES, R.; ESCALEIRA, V.; MONTEIRO, M. I. C.; PONTES, F. V. M.; SANTELLI, R. E.; BERNARDI, A. C. C. Uso de ICP OES e titrimetria para determinação de cálcio, magnésio e alumínio em amostras de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1553 – 1559, 2010.

TURAKAINEN, M.; HARTIKAINEN, H.; SEPPANEN, M. Selenium in plants. In: EUROLA, M.; HIETAMNIEMI, V. **Twenty years of selenium fertilization**. Helsinki: Agrifood, 2005. 108 p. (Proceedings. Agrifood reports, 69). Disponível em: <<http://www.mtt.fi/met/pdf/met69.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Test methods for evaluating solid waste: physical/chemical methods**. 3 ed. Washington, DC: U.S. EPA, 1995. (SW-846, Method 3051).

United States Department of Agriculture - USDA. **World agricultural supply and demand estimates**. Washington: USDA. Disponível em: Acesso em: 28 de setembro. 2016.

WELCH, R. M. Linkages between trace elements in food crops and human health. In: ALLOWAY, B. J. (Ed). **Micronutrient deficiencies in global crop production**, New York: Springer, p. 287-309, 2008.

WHANGER, P. **Selenium and its relationship to cancer: an update**. Brit. J. Nutr. v.91, p. 11-28, 2004.

WHITE P.J.; BOWEN H.C.; PARMAGURU P.; FRITZ M.; SPRACKLEN W.P.; SPIBY R.E.; MEACHAM M.C.; MEAD A.; HARRIMAN M.; TRUEMAN L.J. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany** 55, p.1927–1937. 2004.

WHITE, P.J.; BROADLEY, M.R. **Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine**. New Phytologist, v. 182, p. 49-84, 2008.

(WHO) - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Environmental Health Criteria for Selenium**. Geneva: WHO, 1987. Disponível

em:<<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc58.htm>>. Acesso em:  
14/03/2016.

**YANG G-Q, XIA YM. Studies on human dietary requirements and safe range of dietary intakes of selenium in China and their application in the prevention of related endemic diseases. Biomed Environ Sci v. 8, p.187–201, 1995.**