

BIOFORTIFICAÇÃO AGRÔNOMICA COM SELÊNIO NO BRASIL COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTAR A QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS

A. R. dos Reis^{1*}, E. Furlani Júnior², M. F. Moraes³ e S. P. de Melo³

¹UNESP – Univ Estadual Paulista, Campus de Tupã, SP, Brasil

²UNESP - Univ Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, SP, Brasil

³UFMT – Univ Federal do Mato Grosso, Barra do Garças, MT, Brasil

RESUMO

Há fortes evidências de deficiência de selênio (Se) em solos, forragens e produtos agrícolas do Brasil. A faixa de deficiência de Se em solos varia de 100 a 600 $\mu\text{g kg}^{-1}$, no entanto, os valores máximos encontrados, na maioria dos casos, em solos agricultáveis foram aproximadamente 210 $\mu\text{g kg}^{-1}$. A variação genotípica das culturas para acumular Se nas partes comestíveis depende do seu teor no solo e a escolha da variedade ou cultivar com maior capacidade de absorção e acúmulo de Se pode contribuir para melhorar a qualidade dos alimentos. O Brasil possui fortes evidências de deficiência de Se na população, no entanto, nenhuma pesquisa abrangente ao nível do país sobre o assunto está disponível. Além disso, a biofortificação com Se em produtos agrícolas não faz parte do Programa HarvestPlus do Brasil. É necessário mais pesquisas relacionadas ao teor de Se no solo em diferentes estados brasileiros. Em áreas onde a biodisponibilidade de Se é baixa, uma alternativa eficiente é a suplementação de Se por meio de fertilizantes para aplicação via solo ou foliar, o que corrige os baixos níveis de Se nas pastagens, animais e humanos, como o ocorreu com sucesso na Finlândia, Nova Zelândia e Austrália.

Palavras-chave: Saúde humana, fertilidade do solo, nutrição mineral de plantas, micronutrientes.

AGRONOMIC BIOFORTIFICATION OF CROPS WITH SELENIUM IN BRAZIL AS A STRATEGY TO IMPROVE FOOD QUALITY

ABSTRACT

There are conclusive evidences of Se deficiencies in Brazilian soils, pasture grass and agriculture products. Se deficiency values in soils are considered to range from 100 to 600 $\mu\text{g kg}^{-1}$. However, in this mini-review, the highest Se content shown in Brazilian agriculture soils was approximately 210 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (very low Se levels). Genotypic variation of crops to accumulate Se in edible parts is an important agronomic trait to select or screening genotypes with high capacity to uptake and efficiency use of fertilizers. The amount of Se content in plants is strongly related to available Se in soils. There are evidences of low Se intake in Brazilian population, but no accurate and conclusive study has been done. Biofortification of crops with Se is not included in the HarvestPlus Program of Brazil. Therefore, more research on soil-Se levels and Se levels in agricultural products covering all Brazilian States is needed. It is well known that the application of Se containing fertilizers is efficacious at correcting low Se levels in human and animal diets such as in Finland, New Zealand and Australia.

Keywords: Human health, soil fertility, mineral nutrition of plants, micronutrients.

* andrebbeis@tupa.unesp.br

INTRODUÇÃO

Os alimentos são a fonte primária de nutrientes e sua demanda cresce com o aumento da população mundial. Em 1800, havia um bilhão de habitantes no planeta terra. Atualmente, crescendo a uma taxa média de 1,37%, a população mundial é de 7,2 bilhões de habitantes (GERLAND, 2014). Para 2100, estima-se que a população mundial pode chegar a 12,3 bilhões de pessoas (GERLAND, 2014). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população brasileira aumentou em 10 vezes no período de 1900 a 2000, passando de 17,4 milhões de pessoas para aproximadamente 170 milhões. Atualmente, a população brasileira é de 187 milhões e, em 2050, estima-se que haverá 260 milhões de brasileiros (IBGE, 2014).

A produção de cereais tem mantido a mesma taxa do crescimento populacional. Estima-se que a demanda global por alimentos poderá duplicar no período 1990-2030, com aumento de duas vezes e meia a três nos países em desenvolvimento (GRAHAM et al., 2001). Por outro lado, a desnutrição tem aumentado, atingindo quase metade da população mundial, especialmente mulheres grávidas, adolescentes e crianças (WELCH, 2001; GRAHAM et al., 2007). Isto se deve, em parte, ao melhoramento genético vegetal voltado para ganho em produtividade e desta forma apresentando relação inversa ao conteúdo de minerais nos grãos (GARVIN et al., 2006; MURPHY et al., 2008).

As deficiências ocasionadas pela falta de ferro (Fe), iodo (I), Se, zinco (Zn) e vitamina A são atualmente as que causam maior preocupação em relação à saúde humana, principalmente nos países em desenvolvimento. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), mais de 2 bilhões de pessoas são anêmicas em decorrência da deficiência de Fe (ALLEN et al., 2006). Estima-se que um terço da população mundial vive em países

considerados de alto risco em relação à deficiência de Zn, sendo sugerido que um quinto da população mundial pode não estar ingerindo este micronutriente em quantidade suficiente (HOTZ & BROWN, 2004). Combs Junior (2001) estima que haja de 0,5 a 1,0 bilhão de pessoas com provável carência de Se e, em relação ao I, tem sido levantado que 2 bilhões de pessoas no mundo estão ingerido quantidade insuficiente de iodo, ao passo que mais de 800 milhões de pessoas são consideradas deficientes em I (WELCH, 2008).

Nos países que compõe a América Latina, as deficiências mais frequentes são de Fe, I e vitamina A. No Brasil, o Fe e I são os casos mais comuns, afetando principalmente crianças e gestantes, em níveis muito variáveis dependendo da região e das diferenças de hábitos alimentares e de desenvolvimento (BRESSANI, 2000). Há poucas informações sobre selênio no Brasil, todavia são grandes as evidências de deficiência deste micronutriente em algumas regiões do país, conforme estudos avaliando-se teores de Se em solos, produtos agrícolas e dietas (MORAES et al., 2009).

O Se é um elemento considerado escasso, com distribuição bastante irregular na crosta terrestre e, além do material de origem, seu teor no solo depende fortemente do regime hídrico de cada região (HARTIKAINEN, 2005). Os teores de Se nos produtos agrícolas alimentares são fortemente dependentes da presença deste elemento no solo e também da regulação em função espécie/genótipo vegetal, embora devido ao pouco número de trabalhos realizados haja dúvidas quanto à significância agrônômica da variação ou regulação genotípica em sua acumulação nas plantas cultivadas (LYONS et al., 2005; KOPSELL & KOPSELL, 2006).

Até o momento a adição de Se em áreas agrícolas juntamente com fertilizantes NPK parece ser a forma efetiva e segura de

contornar a problemática da deficiência deste micronutriente na alimentação humana e animal, conforme resultados de décadas de acompanhamento em programas realizados em países do Norte da Europa, ex. Finlândia (HARTIKAINEN, 2005). Após a adoção dos programas houve grande redução dos índices de mortalidade, principalmente em relação a doenças do coração, câncer e incidência de deficiência de vitamina E. Uma nutrição adequada em Se também ajuda a reduzir o hipertireoidismo (bócio), uma vez que Se faz parte de uma enzima chave no metabolismo da tireóide.

A busca pelo aumento do teor de Se na parte comestível das plantas pode provocar

mudanças no metabolismo e estado nutricional das culturas, visto que o Se interfere no metabolismo de enxofre e, provavelmente, indiretamente afete também todo o metabolismo de nitrogênio (LYONS et al., 2005). Há também indicações de que o Se possa estar envolvido no retardamento da senescência vegetal e aumento de resistência das plantas ao déficit hídrico (DJANAGUIRAMAN et al., 2004, 2005). Portanto, faz-se necessário conhecer melhor a influência do acúmulo de selênio e sua influência no metabolismo de nitrogênio, fotossíntese e senescência das culturas.

EVIDÊNCIAS DE DEFICIÊNCIA DE SELÊNIO EM SOLOS DO BRASIL

Existe pouca informação a respeito do conteúdo de Se em solos brasileiros. A Tabela 1 apresenta a compilação de estudos sobre o teor de Se em solos do Brasil. Há muita variação no teor total de Se no solo, porém todos os valores encontrados estão abaixo da faixa crítica considerada deficiente.

Os solos do estado de São Paulo possuem teores de Se variando de 68 a 220 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (FARIA, 2009) e solos do estado de Goiás de 1 a 8 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (FICHTNER et al. 1990). Em regiões como Pirassununga-SP que apresenta maiores teores de enxofre (S)

no solo, não foi detectado teores de Se no solo (FARIA, 2009). A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (2005) dispõe valores orientadores de referência de qualidade e prevenção para solos do Estado de São Paulo em que, para o elemento Se, são 0,25 e 5 mg kg^{-1} (teor total), respectivamente.

Sob condições naturais o nível de Se na água é muito baixo, normalmente varia de alguns décimos a 2 ou 3 $\mu\text{g L}^{-1}$, já para animais esse valor é de 50 $\mu\text{g Se L}^{-1}$ e para água de irrigação de 20 $\mu\text{g Se L}^{-1}$ (ABREU, 2010).

Tabela 1. Teores de enxofre e selênio nos solos do Brasil.

Local amostrado	Teores de S (g kg ⁻¹)	Teores de Se (µg kg ⁻¹)	Referência
Matão	6-10	2,3-15	FARIA (2009)
São Paulo	-	0-800	PAIVA NETO & GARGANTINI (1956)
São Paulo	-	38-212*	ANNO (2001)
Itirapina	6-8	0-0,26	FARIA (2009)
Goiás	-	1-8	FICHTNER et al. (1990)
Piracicaba	5-10	5-155	FARIA (2009)
Cerrado brasileiro	-	10-80	CARVALHO (2011)
Piracicaba ¹	10-16	90-206	FARIA (2009)
Piracicaba ²	4-32	0-90	FARIA (2009)
Analândia	5-13	0-25	FARIA (2009)
Pirassununga	8-25	0	FARIA (2009)
Pirassununga	6-15	0-59	FARIA (2009)
Faixa de teores deficientes	-	100-600	LYONS et al. (2003)

Abreviações: Piracicaba¹ – NITOSSOLO VERMELHO, Piracicaba² - ARGISSOLO AMARELO, Analândia - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO.

FONTE: Adaptado de MORAES et al. (2009).

O Brasil possui fortes evidências de deficiência de Se na população, no entanto, nenhuma pesquisa completa sobre o assunto está disponível (MORAES et al., 2009). FERREIRA et al. (2002) relataram que alimentos consumidos no Brasil possuem consideravelmente baixo teor de Se, quando comparados a padrões internacionais, como por exemplo nos Estados Unidos, o que é talvez, um dos fatores determinantes do baixo teor de Se nos solos brasileiros. O mesmo foi observado por FARIA (2009) em plantas de Brachiaria. Já na castanha-do-Pará, que é um alimento considerado fonte de Se, a literatura apresenta teores que podem variar de 0,03 a 512 mg Se kg⁻¹ (ABREU, 2010).

Em áreas onde a biodisponibilidade de Se é baixa, uma alternativa é a suplementação de Se via fertilizantes comerciais. Em 1984, o Ministério da

Agricultura e Florestas da Finlândia decidiu iniciar a suplementação de fertilizantes minerais com selenato de sódio. A princípio, a suplementação era de 16 mg kg⁻¹ de Se para cereais e hortaliças e de 6 mg kg⁻¹ de Se para pastagens. Após alguns anos e inúmeras pesquisas, a partir de 1998 o teor de Se em fertilizantes passou a ser de 10 mg kg⁻¹ (EUROLA et al., 2003). Essa suplementação melhorou o valor nutritivo da cadeia alimentar do solo para plantas, animais e humanos, fazendo com que o nível de Se nos alimentos esteja dentro dos limites considerados seguros e adequados e também melhorou a produtividade das plantas (HARTI-KAINEN, 2005).

A legislação brasileira não inclui o Se como um micronutriente, como pode ser verificado no Art. 3º, V, c do Decreto 86955/82 (Brasil, 1982). Entretanto, essa inclusão do Se em fertilizantes foi muito

discutida e defendida por Malavolta (1996), em um relatório apresentado à uma empresa de fertilizantes que tentou lançar no Brasil fertilizantes contendo Se em 1996. Todavia, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento não liberou alegando não

existir pesquisas nacionais que indicassem a necessidade de um fertilizante contendo Se. Além disso, a biofortificação com Se em produtos agrícolas não está no Programa HarvestPlus do Brasil.

Aplicação de Se como estratégia de biofortificação e melhoria da qualidade de produtos agrícolas.

A desnutrição é consequência da alta ingestão de alimentos básicos (arroz, milho e trigo), pobres em minerais e vitaminas, em detrimento de grãos de leguminosas, frutas, verduras e produtos de origem animal. Isto é comum em países de regiões em desenvolvimento, como Ásia, África e América Latina (WELCH, 2001; DIBB et al., 2005).

A biofortificação baseia-se no uso das variações genóticas, intra e

interespecíficas, no melhoramento de plantas visando à obtenção de produtos agrícolas alimentares com maiores teores de nutrientes e vitaminas (WELCH et al., 2008). As poucas pesquisas com este foco são recentes no meio científico brasileiro e tem despertado interesse devido ao seu potencial de aplicação na melhoria da qualidade dos alimentos, além de avaliar a variação genotípica quanto à acumulação de selênio em plantas cultivadas (Tabela 2).

Tabela 2. Variação genotípica na acumulação de selênio por diversas culturas.

Tipo de planta	Nº variedades	Variação ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Referência
Festuca - pastagem	15	82 -147	McQUINN et al. (1991)
Pimentão	24	133 - 1.197	GOLUBKINA et al. (2000)
Soja (grãos)	06	12 - 45	YANLING et al. (2002)
Trigo (grãos)	100	9 - 244	LYONS et al. (2005)
Trigo (grãos)	40	37 - 120	LYONS et al. (2003)
Trigo (grãos)	175	33-440	ZHAO et al. (2009)
Trigo (grãos)	42	24-116	BONA et al. (2009)
Triticale (grãos)	96	22-140	BONA et al. (2009)
Arroz (grãos)	151	29 - 103	ZHANG et al. (2006)
Arroz (grãos)	35	15 - 122	MORAES et al. (2009)
Brócolis - híbridos	20	50 - 95	FARHNHAM et al. (2007)
Brócolis - linhagens	15	34 - 89	FARHNAHM et al. (2007)

FONTE: MORAES et al. (2011).

Sabe-se que a biofortificação visa produzir variedades melhoradas que apresentam maior conteúdo de minerais e vitaminas, complementando as intervenções em nutrição existentes, com o objetivo de proporcionar uma maneira sustentável e de baixo custo para alcançar as populações com limitado acesso aos sistemas formais de mercado e de saúde (REIS et al., 2013; ÁVILA et al. 2014).

Variedades biofortificadas apresentam o potencial de fornecer benefícios contínuos, ano após ano, nos países em desenvolvimento, a um custo recorrente inferior ao da suplementação e da fortificação pós-colheita (GRAHAM et al., 2007).

A suplementação da ração de animais com Se é uma possível estratégia para aumentar os níveis de Se na população. Na

Nova Zelândia, foi observado um aumento do conteúdo de Se na alimentação após a introdução da suplementação em Se para animais (THOMPSON & ROBINSON, 1980).

Desde 1984 a adição de selenato em fertilizantes NPK para uso em culturas e pastagens na Finlândia tem sido um método efetivo para aumentar o nível de Se na população (REIS et al., 2013). No mundo existe uma variabilidade substancial em cereais quanto aos teores de Zn, Fe e outros nutrientes (GRAHAM et al., 2007).

Os teores de Se nos produtos agrícolas alimentares são fortemente dependentes da presença deste elemento no solo e também da regulação em função espécie/genótipo vegetal, embora devido ao pouco número de trabalhos realizados haja dúvidas quanto à

significância agrônômica da variação/regulação genotípica em sua acumulação nas plantas cultivadas (LYONS et al., 2003; LYONS et al., 2005; KOPSELL & KOPSELL, 2006). Existem várias barreiras que precisam ser melhores compreendidas para seleção de plantas visando maiores acúmulos de micronutrientes (Fe, Zn e Se) nas partes comestíveis (WELCH, 2001).

Essas barreiras são resultado do fino controle dos mecanismos homeostáticos que regulam a absorção, translocação e redistribuição de metais em plantas, permitindo acúmulo de níveis adequados, mas não-tóxicos nos tecidos vegetais (WELCH & GRAHAM, 2004).

Papel do Se na fisiologia e bioquímica de plantas

O Se pode aumentar o crescimento e melhorar o estado nutricional de plantas vasculares (RIOS et al., 2010). Ainda é pouco conhecido o papel na formação de grãos, mas SEREGINA et al. (2001) sugerem a interação entre Se e nitrogênio (N) no aumento da produtividade de trigo. Os resultados, porém, foram variáveis conforme a cultivar utilizada. Tal fato demonstra a importância da variação genotípica para o acúmulo de nutrientes como o Se.

SEREGINA et al. (2001) verificaram maior eficiência do Se na formação do grão de trigo quando associado a maiores doses de N, apresentam significativo efeito na altura de plantas e estas apresentaram maior tolerância à seca. A aplicação de Se aumentou a atividade de enzimas do ciclo do N, conforme dados compilados na Tabela 3.

Além da função nutricional, o selênio apresenta importante proteção antioxidante em plantas (DJANAGUIRAMAN et al., 2005). Dependendo da dosagem utilizada, o

Se pode ativar algumas enzimas como a dismutase de superóxido, catalase, redutase da glutatona, peroxidase de guaiacol e peroxidase de ascorbato. Essas enzimas são ativadas na presença de Se reduzindo a taxa de peroxidação lipídica e formação de peróxido de hidrogênio nas células de tecido vegetal, o que resulta na redução da senescência (DJANAGUIRAMAN et al., 2004).

O fornecimento de selênio na soja diminuiu significativamente a peroxidação lipídica, indicando um possível papel na senescência, pois durante esse processo há produção de radicais livres de oxigênio. A aplicação foliar selenato de sódio (50 ppm) em soja aos 78 dias após emergência, aumentou a produtividade e diminuiu a degradação de clorofilas durante o ciclo da cultura, sendo mantida área fotossinteticamente ativa por maior período (DJANAGUIRAMAN et al., 2005). Estudos sobre a aplicação de Se em várias culturas estão compilados na Tabela 3.

Tabela 3. Efeito da aplicação de Se na atividade enzimática de plantas e animais.

Enzima	Função	[Se]	Espécie	AT	Referência
H ₂ O ₂	Dano celular	50 mg/L	Soja	↓	DJANAGUINAMAN et al. (2005)
SOD	Dismutação do O ₂ ⁻	50 mg/L	Soja	↑	
MDA	Peroxidação	50 mg/L	Soja	↓	
GPX	Antioxidante	50 mg/L	Soja	↑	
CLOR	Fotossíntese	50 mg/L	Soja	↑	
GSH	Antioxidante	4 mg/kg	Pastagem	↑	CARTES et al. (2004)
SOD	Antioxidante	4 mg/kg	Feijão	↑	AGGARWAL et al. (2010)
CAT	Antioxidante	4 mg/kg	Feijão	↑	
APX	Antioxidante	4 mg/kg	Feijão	↑	
GR	Antioxidante	4 mg/kg	Feijão	↑	
NR	Metabolismo do N	0-80 µM	Alface	↑	
NiR	Metabolismo do N	0-80 µM	Alface	↑	RIOS et al. (2010)
GS	Metabolismo do N	0-80 µM	Alface	↑	
GOGAT	Metabolismo do N	0-80 µM	Alface	↑	
Animais					
GPX	Antioxidante	0.3 mg/kg	Frango	↑	PAYNE & SOUTHERN (2005)
GPX	Antioxidante	0.2 mg/kg	Ovelhas	↑	HUMANN-ZIEHANK et al. (2011)
MPO	Antioxidante	1 mg/kg	Gado	↑	GUPTA et al. (2005)
MPO	Antioxidante	1 mg/kg	Gado	↑	GUPTA et al. (2005)

Abreviações: AT – Atividade enzimática, H₂O₂ – peróxido de hidrogênio, SOD – superóxido dismutase, MDA – peroxidação lipídica, GPX – glutathiona peroxidase, CLOR – clorofila, GSH – glutathiona reduzida, CAT – catalase, APX – ascorbato peroxidase, GR – glutathiona redutase, NR – redutase do nitrato, NiR – redutase do nitrito, GS – glutamina sintetase, GOGAT – glutamina oxoglutarato aminotransferase, MPO – mieloperoxidase.

Papel do Se na fisiologia e bioquímica de animais

Desde 2000 o órgão americano "Food and Drug Administration (FDA)" aprovou a utilização de Se orgânico como suplemento realizadas com o foco de melhor entender a relação dessa fonte com o desempenho animal (OLIVEIRA, 2011). O selênio orgânico depositado no peito do frango é reciclado pelo organismo e concentrado no fígado e plasma, portanto aumenta a atividade enzimática da glutathiona peroxidase e, conseqüentemente, reduz a peroxidação lipídica nas células dos animais.

em dietas de frango de corte. Desde a aprovação do uso de Se orgânico em rações de frangos, inúmeras pesquisas tem sido Muitos autores afirmam que o Se orgânico produz efeitos benéficos e fisiológicos quando comparado ao Se inorgânico em frango de corte. Frangos alimentados com Se inorgânico e sem suplementação necessária obtiveram baixa atividade enzimática devido à mitigação de selênio no plasma e no fígado (PAYNE & SOUTHERN, 2005).

CONCLUSÃO

São necessárias mais pesquisas relacionadas ao teor de Se no solo em diferentes estados brasileiros. Em áreas nas quais a biodisponibilidade de Se é baixa, uma alternativa eficiente é a suplementação de Se por meio de fertilizantes via solo ou foliar, o que corrige os baixos níveis de Se nas pastagens, animais e humanos.

Estudos de variação genotípica das culturas é um parâmetro importante para

selecionar genótipos mais eficientes quanto ao acúmulo de selênio nas partes comestíveis, bem como selecionar genótipos com maior eficiência no uso de fertilizantes.

Experimentos relacionados a formas, fontes e doses de aplicação de Se devem ser desenvolvidos em várias culturas e estados, com solos representativos das regiões brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L.B. Sorção de selênio em solos do bioma cerrado. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) Faculdade Federal de Lavras, 2010, 108p.

AGGARWAL, M.; SHARMA, S.; KAUR, N.; PATHANIA, D.; BHANDHARI, K.; KAUSHAL, N.; KAUR, R.; SINGH, K.; SRISVASTAVA, A.; NAYYAR, H. Exogenous proline application reduces phytotoxic effects of selenium by minimising oxidative stress and improves growth in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. **Biological Trace Elements Research**, v.140, p.354-367, 2011.

ALLEN, L.; BENOIST, B.; DARY, O.; HURRELL, R. Guidelines on food fortification with micronutrients. Geneva: WHO/FAO, 2006.341p.

ANNO, R. M. Trabalho de conclusão do Curso de Graduação em Zootecnia. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, USP, Pirassununga, 2001. 30p.

ÁVILA, F.W.; YANG, Y.; FAQUIN, V.; RAMOS, S.J.; GUILHERME, L.R.G.; THANNHAUSER, T.W.; LI, L. Impact of selenium supply on Se-methylselenocysteine and glucosinolate accumulation in selenium-biofortified Brassica sprouts. **Food Chemistry**, n. 165, p. 578–586, 2014.

BÓNA, L.; ADÁNYI, N.; FARKAS, R.; SZANICS, E.; SZABÓ, E.; HAJÓS, G.Y.; PÉCSVÁRADI, A.; ÁCS, E. Variation in crop nutrient accumulation: selenium content of wheat and triticale grains. **Acta Alimentaria**, v. 38, n. 1, p. 9-15, 2009.

BRESSANI, R. Micronutrient policies for agriculture in Latin America. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 21, n. 4, p. 538-541, 2000.

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

CARVALHO, G.S. Selênio e mercúrio em solos sob cerrado nativo. Tese de Doutorado (Ciências do Solo) da Universidade Federal de Lavras, 2011. 93p.

COMBS JUNIOR, G.F. Selenium in global food systems. **British Journal of Nutrition**, v. 85, n. 5, p. 517-547, 2001.

DIBB, D.W.; ROBERTS, T.L.; WELCH, R.M. (2005). From quantity to quality – the importance of fertilizers in human nutrition. In: Proceedings of the 15th International Plant Nutrition Colloquium, Beijing, 2005. p. 20-25.

DJANAGUIRAMAN, M.; DURGA DEVI, D.; SHANKER, A.K.; BANGARUSAMY, U. Influence of selenium on antioxidants enzymes and yield of soybean. **Journal of Agricultural Research Management**, v.3, p. 1-4, 2004.

DJANAGUIRAMAN, M.; DURGA DEVI, D.; SHANKER, A.K.; SHEEBA, JA.; BANGARUSAMY, U. Selenium – an antioxidative protectant in soybean during senescence. **Plant and Soil**, v. 272, p. 77-86, 2005.

EUROLA, M.; ALFTHAN, G.; ARO, A.; EKHOLM, P.; HIETANIEMI, V.; RAINIO, H.; RANKANEN, R.; VENALAINEN, E. Results of the Finnish selenium monitoring program 2000-2001. **AgriFood Research Reports**, no. 36. MTT AgriFood Research Finland, 2003.

FARIA, L.A. Levantamento sobre selênio em solos e plantas do Estado de São Paulo e sua aplicação em plantas forrageiras. Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, 2009. 57p.

FARNHAM, M.W.; HALE, A.J.; GRUSAK, M.A.; FINLEY, J.W. Genotypic and environmental effects on selenium concentration of broccoli heads grown without supplemental selenium fertilizer. **Plant Breeding**, v. 26, n. 2, p. 195-200, 2007.

FICHTNER, S. S.; PAULA, A. N.; JARDIN, E. C.; SILVA, E. C.; LOPES, H. O. S. Estudo da composição mineral de solos, forragens e tecido animal de bovinos do município de Rio Verde, Goiás. IV - cobre, molibdênio, selênio. Anais das Escolas de Agronomia e Veterinária, 20(1): 1-6, 1990.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da população

brasileira. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>> Acessado em: 25 jun. 2014.

FERREIRA, K.S.; GOMES, J.C.; BELLATO, C.R.; JORDÃO, C.P. Concentração de selênio em alimentos consumidos no Brasil. **Pan American Journal of Public Health**, v.11, n. 3, p.172-177, 2002.

GARVIN, D.F.; WELCH, R.M.; FINLEY, J.W. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentrations of US hard red winter wheat germplasm. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 13, p. 2213-2220, 2006.

GERLAND, P.; RAFTERY, A.E.; SVCIKOVA, H.; LI, N.; GU, D.; SPOORENBERG, T.; ALKEMA, L.; FOSDICK, B.K.; CHUNN, J.; LALIC, N.; BAY, G.; BUETTNER, T.; HEILIG, G.K.; WILMOTH, J. World population stabilization unlikely this century. **Scienceexpress**, p. 1-5, 2014.

GOLUBKINA, N.A.; YURIEV, A.N.; GINS, V.K.; KONONKOV, P.F.; HOOTSOPARIA, T.I.; SOKOLOVA, A.J.; PIVOVAROV, V.P.; PYSHNAYA, O.N. The accumulation of selenium in different accessions of sweet pepper. Capsicum and Enggplant Newsletter, n. 19, p. 23-26, 2000. GRAHAM, R.D.; STANGOULIS, J.C.R.; GENC, Y.; LYONS, G.H. Selenium can increase growth and fertility in vascular plants. In C.J. Li et al. (Eds), **Plant nutrition for food security human health and environmental protection**. Tsinghua University Press. p. 208-209, 2001.

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.M.; SAUNDERS, D.A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H.E.; BONIERBALE, M.; HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C.A.; BEEBE, S.E.; POTTS, M.J.;

KADIAN, M.; HOBBS, P.R.; GUPTA, R.K.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, v. 92, p. 1-74, 2007.

GUPTA, S.; GUPTA, H.K.; SONI, J. Effect of vitamin E and selenium supplementation on concentrations of plasma cortisol and erythrocyte lipid peroxides and the incidence of retained fetal membranes in crossbred dairy cattle. **Theriogenology**, v.64, p.1273-1286, 2005.

HARTIKAINEN, H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 18, p. 309-318, 2005.

HOTZ, C.; BROWN, K.H. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations. **Food and Nutrition Bulletin**, Boston, 25(1):S130-S162 (Supplement, 2), 2004.

HUMANN-ZIEHANK, E.; WOLF, P.; RENKO, K.; SCHOMBURG, L.; BRUEGMANN, M.L.; ANDREAE, A.; BRAUER, C.; GANTER, M. Ovine pulmonary adenocarcinoma as an animal model of progressive lung cancer and the impact of nutritional selenium supply. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 25S, p. S30-S34, 2011.

KOPSELL, D.A.; KOPSELL, D.E. Selenium. In: BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. (Eds). **Handbook of Plant Nutrition**. Boca Raton: CRC Press, 2006. p. 515-549, 2006.

LAL, R. Soil management in the developing countries. **Soil Science**, v. 165, n. 1, p. 57-72, 2000.

LYONS, G.; STANGOULIS, J.; GRAHAM, R. High-selenium wheat: biofortification for better health. **Nutrition Research Reviews**, v. 16, n. 1, p. 45-60, 2003.

LYONS, G.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; STANGOULIS, J.; GRAHAM, R. Selenium concentration in wheat grain: Is there sufficient genotypic variation to use in breeding? **Plant and Soil**, v. 269, n. 1-2, p. 369-380, 2005.

MALAVOLTA, E. Selênio em fertilizantes. Piracicaba: CENA-USP, 1996. 16p. Relatório.

McQUINN, S.D.; SLEPER, D.A.; MAYLAND, H.F.; KRAUSE, G.F. Genetic variation for selenium content in tall fescue. **Crop Science**, v. 31, n. 3, 617-620, 1991.

MORAES, M.F.; WELCH, R.M.; NUTTI, M.R.; CARVALHO, J.L.V.; WATANABE, E. Evidences of selenium deficiency in Brazil: from soil to human nutrition. In: BANUELOS, G.R., LIN, Z.Q., YIN, X.B. (Eds). First International Conference on Selenium in the Environment and Human Health, 2009. Suzhou. Selenium: deficiency, toxicity and biofortification for human health. 116p. Hefei: **University of Science and Technology of China Press**, 2009. p.73-74.

MORAES, M.F.; RAMOS, S.J.; GUILHERME, L.R.G. Beneficial roles of selenium in plants. In: BANUELOS, G.R., LIN, Z.Q., YIN, X.B. (Eds). Second International Conference on Selenium in the Environment and Human Health, 2011. Suzhou. Selenium: Global perspectives of impacts on humans, animals and the environment. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2011. p. 111-112.

MURPHY, K.M.; REEVES, P.G.; JONES, S.S. Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars. **Euphytica**, v. 163, n. 3, p. 381-390, 2008.

OLIVERIA, T.F.B. Efeito de diferentes níveis e fontes de selênio no desempenho e

características de carcaça de frangos de corte. 2012, 83p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

PAIVA NETO, J. E.; GARGANTINI, H. Dosagem de selênio no solo. **Bragantia**, v. 15, n. 1, p. 13-16, 1956.

PAYNE, R.L.; SOUTHERN, L.L. Changes in glutathione peroxidase and tissue selenium concentration of broilers after consuming a diet adequate in selenium. **Poultry Science**, v. 84, n. 8, p.1268-1276, 2005.

REIS, A.R.; MORAES, M.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L.R.G. Agronomic biofortification of upland rice with selenium to improve human health. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 27S1, p. 42-42, 2013.

RIOS, J.J.; BLASCO, B.; ROSALES, M.A.; SANCHEZ-RODRIGUES, E.; LEYVA, R.; CERVILLA, L.M.; ROMERO, L.; RUIZ, J.M. Response of nitrogen metabolism in lettuce plants subjected to different doses and forms of selenium. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, p.1914-1919, 2010.

SEREGINA, I.I.; NILOVSKAYA, N.T.; OSTAPENKO, N.O. The role of selenium in the formation of the grain yield in spring wheat. **Agrokimiya**, v.1, p. 44-50, 2001.

THOMPSON, C.D.; ROBINSON, M.F. Selenium in human health and disease with emphasis on those aspects peculiar to New Zealand. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 33, p. 303-323, 1980.

WELCH, R.M. Micronutrients, agriculture and nutrition: linkages for improved health and well being. In: SINGH, K.; MORI, S.; WELCH, R.M. (eds). Perspectives on the

Micronutrient Nutrition of Crops. Jodhpur: **Scientific Publishers**, p.247-289, 2001.

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, 2008. cap.12, p.287-309.

YANLING, Z.; GENXING, P.; JIN, C.; TONGBAI, X.; YALING, D. Effect of genotype on selenium uptake and accumulation by soybean in low - Se soils. **Soybean Science**, 21(4): 263-266, 2002.

ZHANG, W. A forecast analysis on world population and urbanization process. *Environment, Development and Sustainability*, v. 10, n. 6, p. 717-730, 2008.

ZHAO, F.J.; SU, Y.H.; DUNHAM, S.J.; RAKSZEGI, M.; BEDO, Z.; McGRATH, S.P.; SHEWRY, P.R. Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. **Journal of Cereal Science**, v. 49, n. 2, p. 290-295, 2009.