

UNIVERSIDADE BRASIL
CURSO DE AGRONOMIA

BIOFORTIFICAÇÃO DE ALIMENTOS COM SELÊNIO

FOOD BIOFORTIFICATION WITH SELENIUM

Rafael Gustavo Monelli

DESCALVADO

2016

RAFAEL GUSTAVO MONELLI

BIOFORTIFICAÇÃO DE ALIMENTOS COM SELÊNIO

Orientadora: Prof.^aDra Valéria Peruca de Melo

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora, como parte das exigências da matriz curricular do curso de graduação em Agronomia da Universidade Brasil – Campus Descalvado – SP.

DESCALVADO

2016

M75b Monelli, Rafael Gustavo
Biofortificação de alimentos com selênio / Rafael Gustavo Monelli. Descalvado: [s.n.], 2016.
35p. : il. ; 29,5cm.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Graduação em Agronomia.

Orientadora: Prof^a Dra. Valéria Peruca de Melo

1. Alimentação nutritiva. 2. Alimento enriquecido. 3. Micronutrientes. I. Título.

CDD 631.80

DEDICATÓRIA

Dedico à minha família, à minha orientadora, amigos, professores e todos aqueles que me apoiaram e incentivaram para que eu concluísse esta etapa em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus, por permitir que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À minha mãe, Cleusa Monelli, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu pai, José Carlos Monelli, que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que, para mim, foi muito importante.

À minha orientadora, Prof.^aDra Valéria Peruca de Melo, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

À todos os professores, por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais, sem nominar, terão os meus eternos agradecimentos.

À todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	09
2. OBJETIVO	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 Repolho - Aspectos Gerais	11
3.2 Alface -Aspectos Gerais	12
3.3 Batata -Aspectos Gerais	13
3.4 Arroz -Aspectos Gerais	14
3.5 Feijão – Aspectos Gerais.....	15
3.6 Selênio	16
3.6.1 Papel Fisiológico do Selênio	17
3.6.2 Selênio no Solo	18
3.6.3 Adubação com Selênio	19
.....	
3.6.4 Selênio nas Plantas	19
.....	
3.6.5 Selênio – Consumo à Saúde	21
.....	
3.7 Biofortificação.....	21
3.8 Estudos realizados com aplicação de Selênio em diferentes culturas.....	23
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

BIOFORTIFICAÇÃO DE ALIMENTOS COM SELÊNIO

RESUMO

O objetivo deste trabalho de revisão foi relatar os conhecimentos e pesquisas existentes sobre o uso da biofortificação em alimentos, que visa enriquecer os vegetais que fazem parte da dieta da população. Sabe-se que a demanda de alimentos irá aumentar, devido ao aumento da população, e buscam-se soluções para terem alimentos saudáveis em menos tempo de cultivo. Foi apresentado a cultura do repolho, alface, batata, arroz e feijão, que são alimentos consumidos em larga escala no nosso país. A adição de elementos essenciais à saúde humana por meio de adubação no solo agrícola é considerada uma estratégia promissora para a biofortificação de plantas com selênio (Se). Os teores de selênio (Se) nas plantas estão relacionados com a disponibilidade deste elemento no solo e a capacidade de absorção e acúmulo pelas plantas. Com intuito de produzir alimentos nutricionalmente mais completos e saudáveis para consumo humano e animal, uma estratégia utilizada é a biofortificação. Pesquisas comprovam que os alimentos biofortificados são uma fonte alternativa para a população ter acesso a uma alimentação nutritiva, de forma sustentável e baixo custo.

Palavras-chave: Alimentação nutritiva, Alimento enriquecido, Micronutrientes.

FOOD BIOFORTIFICATION WITH SELENIUM

ABSTRACT

The aim of this review article was to report existing knowledge and research on the use of Biofortification in food, which aims to enrich the vegetables that are part of the diet of the population. It is known that the demand for food will increase, due to increased population, and are sought solutions to have healthy food in less cultivation time. The cabbage crop was presented, lettuce, potatoes, rice and bean, which are foods eaten in enough quantity in our country. The addition of elements essential to human health through fertilization in agricultural soil is considered a promising strategy for Biofortification plants with selenium (Se). The levels of selenium (Se) in the plant are related to the availability of this element in the soil and the ability of absorption and accumulation by the plants. In order to produce more nutritionally complete and healthy foods for human consumption and animal, a strategy used is biofortification. Research has shown that biofortified foods are an alternative source for the population have access to nutritious food, sustainable and low-cost way.

Keywords: Nutritious feeding, Enriched food, Micronutrients.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos, as pessoas têm dispensado maior atenção com a saúde e com as fontes de vitaminas dos alimentos. Desta forma, a busca pela saúde perfeita vem se intensificando a cada dia e, com isso, cresce a procura por alimentos que supram todas as necessidades diárias de vitaminas e minerais, sem que ter que realizar a reposição com vitaminas sintéticas, e evitando doenças causadas pela falta de substâncias essenciais.

Por esse fato, o estudo de fonte de nutrientes para seres humanos, plantas e animais vem se tornando cada vez mais necessário. E, dentre esses nutrientes, destaca-se o selênio (Se), que embora seja tóxico em altas concentrações, é um micronutriente para o ser humano. É basicamente um antioxidante mineral, protege o tecido celular, o sistema imunológico e reduz o risco de infecção causada por vírus. Além disso, vem sendo demonstrada a atividade anticancerígena de algumas formas de Se no cólon, pulmão, pele e em outros órgãos (STRATTON et al., 2003).

No Brasil, comparado com os padrões internacionais, os alimentos que possuem origem vegetal, apresentam baixa concentração de Selênio. Assim, existe a técnica de biofortificação, que pode ser uma forma de tentar solucionar esse problema de ausência desse elemento nos alimentos (FERREIRA et al., 2002), a qual aumenta a concentração de um determinado elemento em culturas agrícolas, através de adubação, introduzindo no solo ou por melhoramento genético (GRAHAM et al., 2007), buscando assim, atender as necessidades humanas e animais (RÍOS et al., 2008), sendo muito utilizada no caso do selênio.

Ainda são poucas as informações sobre aplicação de selênio em plantas no Brasil. Porém, são grandes as evidências de deficiência desse elemento em várias plantas e regiões do país (MAIHARA et al., 2004).

Nesse contexto, considerando a importância de estudar a biofortificação de culturas agrícolas com Se, associada à falta de informações a esse respeito no Brasil, o presente trabalho tem como objetivo mostrar os diferentes resultados em diversas culturas.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo principal mostrar um estudo sobre algumas culturas que bastante consumidas em todo o mundo, e resultados até então obtidos a respeito da aplicação de selênio (Se) para a biofortificação desses alimentos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Repolho - Aspectos Gerais

De acordo com Silva Júnior (1989), o repolho (*Brassicaoleracea* var. *capitata* L.) é uma espécie que tem alto valor em questão de importância socioeconômica da família dessa cultura. Sua produção é uma das mais eficientes dentro da categoria das hortaliças, possui alta faixa de crescimento, ótimo valor nutritivo e se destaca como fonte de vitamina C.

É uma planta com alta taxa de cálcio, proteína, um alimento de qualidade para grande parte da população. É uma planta herbácea, folhosa, com grande versatilidade (FILGUEIRA, 2008; LÉDO et al., 2000), cultivada por pequenos produtores, é uma cultura que requer bastante mão-de-obra (SILVA JÚNIOR, 1987; SILVA JÚNIOR et al., 1988; FILGUEIRA, 2008).

A temperatura é um fator limitante para a produção do repolho, pois a mesma é uma hortaliça de clima temperado (SILVA JÚNIOR, 1987; FILGUEIRA, 2008).

No Brasil o sistema de produção acontece com o preparo do solo por meio de aração e gradagens, muitas vezes feito por encanteiramento, até mesmo em terrenos declivosos. Para o bom encanteiramento é utilizado a enxada rotativa, apresenta um bom preparo do solo, porém o uso desse processo, pode causar sérios problemas, como a pulverização excessiva da estrutura do solo, pode acontecer de acelerar a mineralização da matéria orgânica, o espelhelamento e compactação da camada abaixo da profundidade de ação de lâminas de corte e a proliferação de espécies daninhas (PRADO et al., 2002; DENARDIN & KOCHHANN, 2007; SILVA et al., 2009). Os sistemas tradicionais de produção proporcionam em muito tempo, a destruição dos recursos naturais, comprometem a natureza e as produções rurais (CARVALHO, 2008).

Para Kimoto (1993), é de grande importância conhecer todas as condições e necessidades nutricionais de cada variedade, para que possa fornecer nutrientes em quantidades adequadas, pois é uma característica das plantas brássicas a capacidade de tirar nutrientes do solo.

3.2 Alface - Aspectos Gerais

A alface (*Lactuca sativa* L.) originou-se de espécies silvestres, ainda atualmente encontradas em regiões de clima temperado, no sul da Europa e na Ásia Ocidental (FILGUEIRA, 2008).

É a hortaliça folhosa mais consumida em todo o mundo, sendo cultivada em quase todos os países. Gera cinco empregos por hectare, normalmente essa planta é cultivada pela agricultura familiar de forma intensiva (ALENCAR et al., 2012). Rica em vitaminas B1, B2, vitamina C, cálcio e ferro, boa fonte também de sais minerais (FERNANDES et al., 2002).

A produção acontece em cinturões verdes próximos aos grandes centros consumidores do Brasil, produto perecível devido a sua grande área foliar e seu alto teor de água, esse é um dos problemas no pós-colheita da alface. Exige qualidade, quantidade e regularidade em sua produção para atender o mercado consumidor durante todos os meses do ano (BEZERRA NETO et al., 2005).

O cultivo em estufas e o melhoramento genético dessa cultura possibilitaram a adaptação da espécie ao clima tropical, tornando-a mais resistente a altas temperaturas, sem acontecer mudanças em seu sabor, seu crescimento e sem acarretar prejuízos à produção (NAGAI, 1980; BRANCO, 2001).

Com relação às variedades produzidas no Brasil, Sala e Costa (2012), citam a alface crespa, americana, lisa e romana, como preferências nacionais de cultivo e consumo. Segundo os autores, atualmente nota-se uma tendência na elevação da procura por variedades do tipo americana, sendo que estas ocupam aproximadamente 15% do mercado nacional. No que se refere à sazonalidade, por ser de ciclo curto (45 a 60 dias), o cultivo pode ser realizado durante o ano inteiro, e com rápido retorno de capital (MALDONADE et al., 2014) o que representa uma alternativa de renda e subsistência para os agricultores familiares, e também de fonte alimentar para os consumidores em diferentes épocas do ano, já que existem cultivares de inverno e verão. É importante, no entanto, conhecer os entraves iniciais e peculiares ao cultivo para que possam ser planejadas as estratégias de minimização. O consumo médio de hortaliças no país fica em torno de 41,0 kg/pessoa/ano (VILELA &

HENZ, 2000), a alface é considerada a hortaliça mais consumida, ocupa a sexta posição em importância econômica e oitava em volume de produção, sua comercialização acontece *in natura* (SOARES & CANTOS, 2006).

A produção brasileira de alface em 2006 foi de 576.338 toneladas (IBGE, 2006), representando em sete anos um incremento considerável na produção já que dados mais recentes apontam que de 2011 a 2013 foram produzidos aproximadamente 1,27 milhões de toneladas de alface, sendo a projeção mantida para o ano de 2014, com uma área cultivada estimada em 124 mil hectares (CARVALHO, 2013).

3.3 Batata - Aspectos Gerais

A batata (*Solanum tuberosum* L.) em várias partes do mundo é constantemente importante na alimentação, planta herbácea onde seu produto comercial são seus tubérculos, que são caules modificados que armazenam reservas. Sua região de origem fica na Cordilheira dos Andes, pertence ao clima frio (FERNANDES, 2010; FILGUEIRA, 2008).

No Brasil, a batata é a principal cultura olerícola, tanto em preferência alimentar, quanto em área de cultivo, representa uma área cultivada de aproximadamente 150 ha/ano e produtividade média de 20 t/ha (LOPES & BUSO, 1997). De acordo com dados da Agrianual (2010) a produção anual brasileira é superior a três milhões de toneladas e concentram-se nas regiões tropical (67%) e subtropical (33%). A produção de batata gera muitos empregos no país, desde o seu plantio, até a sua comercialização, contribuindo assim para o desenvolvimento social, além de ser uma excelente fonte de alimento (CAMARGO FILHO, 1996).

A alta produção dentro do solo gera alta procura por oxigênio, água e nutrientes para realizar o metabolismo e assim produzir tubérculos de qualidade. Seu ciclo, nas condições de clima tropical e subtropical dura em torno de 90 a 110 dias, dependendo da espécie (PEREIRA & DANIELS, 2003). Nessa fase, dentro desses dias, a planta pode chegar a produzir de 40t/ha de tubérculos, e chega a produzir 1.000 kg/ha/dia de biomassa de tubérculos (VITTI et al., 2002).

Segundo Marschner (1995), a batata dentro do seu processo de absorção de nutriente, necessita do consumo de energia, pois sua absorção acontece de forma ativa, a maior fonte de energia nas raízes é a respiração. Sendo assim, todos os fatores que atrapalhem no processo de respiração, poderá afetar a absorção de nutrientes pela célula. Dentro desses fatores que afetam, podemos citar o teor de carboidrato, a temperatura e o fornecimento de O₂ para ela.

3.4 Arroz - Aspectos Gerais

O arroz (*Oryza sativa* L.) é tido como o produto de maior importância econômica em muitos países em desenvolvimento, mostrando ampla adaptabilidade às diferentes condições de solo e clima, sendo a espécie de maior potencial de aumento de produção (SANTOS & RABELO, 2008).

O Brasil está entre os dez principais produtores de arroz. Na safra 2012/2013 a produção alcançou 11,86 milhões de toneladas, 2,2% maior do que o volume da safra anterior (CONAB, 2013).

Dentro da classe dos cereais, o arroz é o terceiro mais cultivado no mundo, perdendo apenas para o trigo e milho (USDA, 2013), além disso, é o fundamental e básico alimento para mais da metade da população no mundo (VAN NGUYEN & FERRERO, 2006). O arroz é uma das essenciais fontes de carboidratos e de substâncias orgânicas, fornecem 20% da energia e 15% da proteína que é necessária para o homem, contribuindo para o reestabelecimento e desenvolvimento dos tecidos (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2004). É uma cultura grandemente versátil, se adapta a diferentes condições de solo e também de clima, é a espécie que possui o maior potencial para o combate a fome (AGRIANUAL, 1998). A ampliação na produção do

arroz deve-se pela crescente necessidade de alimento, resultando num desafio de alcançar altos padrões de qualidade e de produtividade. (MIELEZRSKI et al., 2009).

Habitualmente, a cultura do arroz completa o seu ciclo entre três e seis meses, sendo desde o período de germinação da semente até o amadurecimento (YOSHIDA, 1981), suas fases de desenvolvimento são divididas em três fases, a vegetativa, reprodutiva e a maturação (VERGARA, 1970).

De acordo com Walter et al (2008) a cultura do arroz possui alta concentração de carboidratos, e principalmente amido, apresentando ser uma ótima fonte de energia, pois fornece também minerais, vitaminas e proteínas. E, além disso, possui pouca quantidade de lipídios, sendo alimento importante para o equilíbrio alimentar.

3.5 Feijão – Aspectos gerais

O Brasil é o maior produtor mundial do feijão comum, com uma produtividade média de 922 kg/ha, enquanto que a produção mundial gira em torno de 776 kg/ha. Contudo, o cultivo de feijão por área ainda apresenta pouco rendimento no Brasil (FAO, 2010). De acordo com o levantamento da safra de grãos realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para a safra de 2013/2014, o plantio do feijão atingiu uma área equivalente a 3,0 milhões de hectares com uma produção nacional estimada de 3,2 milhões de toneladas, 1.080 kg/ha (CONAB, 2013).

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de extrema importância para a sociedade brasileira, uma vez que é uma das fontes de proteína mais utilizada pela população mais carente (PAULA JÚNIOR et al., 2008).

A produtividade de feijão é muito variável, mas é conhecido que as cultivares de crescimento indeterminado são mais produtivas, em relação às cultivares rasteiras. No Brasil, a produtividade média gira em torno de 12 a 18 t ha⁻¹ de vagens verdes, com o tipo “manteiga” de crescimento indeterminado (p. ex.: cultivar Teresópolis), podendo chegar a 28 t ha⁻¹ (FILGUEIRA, 2008).

O feijoeiro é uma cultura que assume grande importância socioeconômica, além de seu produto ser considerado o principal alimento proteico consumido no Brasil, uma vez que é alimento básico, principalmente da classe populacional de renda mais baixa, tornando-se, assim, alimento indispensável nas refeições da maioria dos brasileiros (ARF et al., 1996).

Segundo Vieira et al. (1989), o Brasil contribui com mais de 20% da área total de feijão plantada no mundo e, conforme Pessoa et al. (2001), o país estava entre os três maiores produtores mundiais de feijão, mas, também, é o maior consumidor, necessitando de importações.

De acordo com a FAO, citado por Salvador (2011), a produção brasileira, em 2009, foi de 3,5 milhões de toneladas. O Brasil é o maior produtor mundial de feijões (está incluída a produção de feijão-caupi), respondendo por 17% da produção mundial. O feijoeiro é cultivado em quase todas as regiões do Brasil, principalmente em lavouras de pequeno e médio portes onde, de modo geral, é a cultura de maior destaque, responsável pela maior fonte de renda das propriedades. As exigências do feijoeiro quanto à disponibilidade hídrica e clima são responsáveis pela grande oscilação da oferta do produto no decorrer dos anos, assim como as baixas produtividades alcançadas, em que a média nacional se manteve estagnada em torno de 600 kg ha^{-1} ao longo de 30 anos (IBGE, 1996). Já na safra de 2010/2011, a produtividade média da cultura foi de 941 kg ha^{-1} . Porém, a média de produtividade na safra de inverno (irrigado) teve médias de 2.464 kg ha^{-1} na região Sudeste e de 2.662 kg ha^{-1} na região Centro-Oeste (CONAB, 2012).

Na região Centro-Sul, onde maior parte do volume da produção de feijão primeira safra é produzida, considerando a safra 2015/16, este volume da região é quase 53,04% da produção total, destacando-se Paraná, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e São Paulo, mesmo ocupando apenas 45,89% das áreas cultivadas com a cultura. Em São Paulo, quase todo o feijão é produzido na região Sudoeste do Estado. O feijão colhido da safra 2015/16, foi considerado de média qualidade devido ao excesso de chuvas que ocorreram durante a colheita. Em São Paulo o produtor sinaliza com manutenção na área plantada, com o cultivo de 18,1 mil hectares, incremento na produtividade de 0,4% em relação à safra de 2014/15, saindo de 2.359 kg/ha para 2.369 kg/ha .

Incremento também de 0,5% na produção em relação à safra passada, saindo de 41,7 mil toneladas para 42,9 mil toneladas. (CONAB, 2016).

3.6 Selênio (Se)

O selênio (Se) é um elemento considerado básico para os seres humanos, para as plantas e animais (RAYMAN, 2002). A baixa ingestão desse elemento tem sido relacionada com alguns problemas de saúde humana, tal como o aumento do câncer (COMBS, 2001).

O selênio é um elemento não metálico que apresenta número atômico 34 e massa atômica 78,96. Por pertencer ao grupo VI A da tabela periódica, apresenta considerável igualdade química com o enxofre, especialmente quanto às suas formas e compostos (NEAL, 1995).

O Se pode ser encontrado em sua forma elementar (Se^0), de forma menos oxidada de selenito (SeO_3^{-2}), na forma seleneto (Se^{2-}) e na forma de selenato (SeO_4^{-2}). Além de ocorrer naturalmente no ambiente, encontrando-o no ar, solo e água. Pode ser encontrado também 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, 1991).

Foi identificado, em 1817, por John Jacob Berzelius, professor de química em Estocolmo. Berzelius e seu colega J. G. Gahn investigavam um método de produção de ácido sulfúrico em câmaras de chumbo quando, ao visitarem a fábrica de ácido sulfúrico de Gripsholm, observaram um líquido pardo-avermelhado no fundo da câmara que, ao ser aquecido com o maçarico, desprendia um odor fétido, o qual era considerado, até então, característico e exclusivo do telúrio. Uma análise mais cuidadosa mostrou que não havia vestígios deste elemento, apesar de as suas propriedades serem idênticas. A esta nova substância foi dado o nome de selênio, termo que deriva do grego selene (Lua), por analogia ao do telúrio, cujo nome deriva de tellus (Terra) (BUTTERMAN & BROWN, 2004).

3.6.1 Papel Fisiológico do Selênio

Conhecido por ser um antioxidante e anti-inflamatório, o selênio é um mineral que é conhecido devido as suas atividades e propriedades quimiopreventivas e antivirais (PAPPAS, 2008). É essencial para a síntese e função de selenoproteínas, que desempenham um papel expressivo na defesa antioxidante e contribuem na redução do dano oxidativo (TAPIERO et al., 2003; LEI et al., 2007; NAVARRO-ALARCON & CABRERA-VIQUE, 2008; RAVN-HAREN et al., 2008).

Nestas selenoproteínas, o Se presente no aminoácido selenocisteína (Se-cis) é incorporado a partir da síntese proteica, mediada por ribossomos específicos e encaminhada para o códon UGA, que normalmente atua como um códon de parada (stop codon) (LOW & BERRY, 1996; STADTMAN, 1996). Apenas duas estruturas de RNA são requeridas neste processo, o RNA_m da Se-cis para inserção e sequenciamento, e um único RNA_t da Se-cis. Em condições fisiológicas normais, o Se do aminoácido Se-cis encontra-se quase totalmente ionizado, alcançando, desta forma, uma extrema eficiência biológica como catalisador no sítio ativo das selenoproteínas (BROWN & ARTHUR, 2001; STADTMAN, 1996).

3.6.2 Selênio no Solo

O Se é encontrado em pequenas quantidades em quase todos os materiais que compõem a crosta terrestre, apresentando elevadas variações nos seus teores (MALAVOLTA, 2006), podendo ser encontrado na natureza em diferentes estados oxidativos, tais como selenato (SeO_4^{2-}), selenito (SeO_3^{2-}), selênio elementar (Se^0) e seleneto (Se^{2-}) (CASTEEL & BLODGETT, 2004).

Na maioria dos solos, o teor de Se é inferior a $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ (MALAVOLTA, 2006), sendo que um solo é considerado deficiente quando apresenta teores inferiores a $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (MILLAR, 1983).

O teor de selênio no solo pode influenciar na sua concentração e quantidade nos alimentos, porém, além desse fator, deve-se considerar como de considerável importância a forma química do Se no solo e as características físico-químicas do solo, como pH, teor de argila, teor de enxofre, entre outras (COMINETTI & COZZOLINO, 2009).

A reação do Se em solos com valores muito altos de pH é preocupante, pois quando os solos têm poucos sesquióxidos, o Se se torna facilmente solúvel em água. Bar-Yosefe&Meek (1987) observaram que a adsorção do Se por argilominerais diminuiu com elevado valor de pH e se torna insignificante em valores de pH acima de 8,0. Singh (1982) declarou que a melhor maneira de corrigir a toxidez do Se nas plantas em tais solos é adicionar S, P e N aos mesmos.

Em áreas com baixo teor de selênio, aplicações de selenito de sódio diretamente no solo ou como adubo foliar são sugestões para corrigir as deficiências nutricionais de Se em plantas. Em virtude das propriedades tóxicas de sais de Se, estas práticas devem ser cuidadosamente controladas (KABATA-PENDIAS, 2001).

3.6.3 Adubação com Selênio

O selênio do solo pode ser utilizado como um dos indicadores da quantidade de selênio em animais e humanos, não sendo, entretanto, a melhor técnica de indicação, uma vez que a disponibilidade para as plantas e, conseqüentemente, para os animais, depende de outros fatores, como a forma química de ocorrência no solo, acidez ativa (pH), entre outros (COMBS, 2001).

A aplicação de sulfatos às culturas, por exemplo, via gesso agrícola, diminui a disponibilidade de selênio nos alimentos, uma vez que o sulfato e o selênio atuam antagonicamente no solo (WHITE & BROADLEY, 2009).

Algumas práticas, além da aplicação direta, podem aumentar os valores de Se nas plantas e animais, como o uso do superfosfato, que, dependendo da rocha fosfatada do qual foi retirado, é por si só uma fonte de Se (ROBBINS & CARTER, 1970). Além deste tipo de adição, a aplicação de fósforo aumenta a disponibilidade de Se adicionado (CARTER et al., 1972). A calagem, aparentemente, também causa aumento na absorção de Se pelas plantas (CARY et al., 1967), enquanto que a adubação com altos teores de cálcio aumenta a retenção de Se no solo (LOWRY et al., 1985).

3.6.4 Selênio nas Plantas

De acordo com White et al. (2007), as raízes absorvem o Se do solo como selenato, selenito e compostos orgânicos contendo o elemento, embora haja uma competição pelos transportadores no citoplasma, na membrana da raiz e, uma vez absorvido, o Se é distribuído e assimilado na parte aérea. Há diferenças nas formas de Se assimiladas entre as espécies indicadoras e acumuladoras em relação às espécies não-acumuladoras, sendo que as primeiras convertem o elemento em formas menos tóxicas, permitindo-as tolerar e acumular os elevados teores de Se do solo.

A distribuição de Se nas várias partes da planta se diferencia de acordo com a espécie, a fase de desenvolvimento e as condições fisiológicas. Em plantas acumuladoras de Se, esse é acumulado em folhas jovens durante a fase vegetativa, enquanto durante a fase reprodutiva são encontrados níveis altos de Se em sementes, sendo o seu conteúdo em folhas drasticamente reduzido. Essa distribuição também nas plantas depende da fonte, concentração e disponibilidade às raízes, natureza e concentração de outras substâncias, especialmente sulfatos acompanhando o elemento (SOUZA et al., 1998; ZAYED et al., 1998).

As plantas se diferenciam muito quanto a sua habilidade em acumular selênio nos tecidos (ROSENFELD & BEATH, 1964). Algumas são capazes de hiperacumular este elemento na parte aérea, quando crescem em solos seleníferos. Essas plantas são conhecidas como indicadoras seleníferas ou acumuladoras de Se e incluem várias espécies dos gêneros *Astragalus*, *Stanleya*, *Morinda*, *Neptunia*, *Oenopsis* e *Xylorhiza*, que podem acumular centenas a milhares de miligramas de selênio por quilo de massa seca em seus tecidos, sendo algumas responsáveis por provocar selenose aguda em vários animais (KOPSELL & RANDLE, 2000). Evidências científicas revelam que os vegetais membros da família *Brassicaceae* são seleníferos na medida em que facilmente captam selênio inorgânico a partir do solo, incorporando-o a compostos químicos e orgânicos bioativos (MAYLAND et al., 1989). Desta forma, plantas seleníferas indicam que o selênio se encontra realmente presente no solo em quantidades potencialmente elevadas (BROYER et al., 1997).

O excesso de selênio na planta pode causar atraso no crescimento, as folhas ficam cloróticas, secam, apresentam decréscimo da síntese de proteína e morte prematura da planta. A capacidade das plantas em absorver Se varia de espécie para espécie, seguindo a ordem decrescente: crucíferas, gramíneas, forrageiras, leguminosas e cereais. Entretanto, não se sabe por que as plantas apresentam diferenças na capacidade de acumular e tolerar Se (MALAVOLTA, 1980). Martinez et al. (2009) empregaram quantidades crescentes de Se, como selenito de sódio, em solo com pH H₂O 6,1 e constataram diminuição na produtividade de grãos de soja a partir da dose 0,5 kg ha⁻¹ de Se.

Por outro lado, estudos recentes têm mostrado que o selênio é capaz de promover um reforço na capacidade das plantas de combater o estresse oxidativo causados pelos radicais livres de oxigênio, mantendo-as fisiologicamente ativas por mais tempo, aumentando produção vegetal (TURAKAINEN et al., 2005; RAMOS et al., 2011).

3.6.5 Selênio – Consumo a Saúde

O selênio é considerado um elemento traço essencial para humanos e animais devido às suas propriedades antioxidantes e anticancerígenas. Há evidências que a deficiência de Se pode afetar o sistema imunológico, a fertilidade (principalmente a do sexo masculino), aumentar os riscos de infecções virais e a função tireoide (RAYMAN, 2008).

As plantas são as maiores fontes de Se para os humanos e animais. O teor de Se nos alimentos depende do teor deste elemento no solo onde são cultivados ou onde os animais são criados (SOUZA & MENEZES, 2004). Estudos com Se no desenvolvimento humano e animal levaram ao reconhecimento de que na Europa, Ásia e alguns países da América esse elemento não é fornecido em níveis suficientes na alimentação e deficiências têm sido relatadas em muitos países (COMBS, 2001).

Sabe-se hoje que ele é capaz de desempenhar certas funções atribuídas à vitamina E, originalmente. Estudos visando esclarecer esta relação mostraram que o Se é componente da glutathionperoxidase (GSH-Px), cuja

ação seria a de controlar o nível de peróxido formado no metabolismo humano e animal, função esta desempenhada pela vitamina E, que é um poderoso antioxidante e atua prevenindo a formação de peróxidos (RAYMAN, 2002).

Assim, o selênio também pode substituir parte da vitamina E, necessária para a antioxição (BODINSKI, 1999). Além disso, é um importante mineral porque compõe a enzima que protege os glóbulos vermelhos contra a destruição (MURRAY et al., 2013).

A seleniometionina(Se-met) é a forma mais encontrada de selênio nos vegetais (BRODY, 1999). Como pode ser tóxico, a suplementação desse mineral não é recomendada (WOLINSKY & HICKSON, 1996).

3.7 Biofortificação

Produtos agrícolas biofortificados podem complementar na alimentação, principalmente em relação a falta de micronutrientes necessários para o bom desenvolvimento humano e animal, proporcionando esses micronutrientes de maneira sustentável e tendo baixo custo será importante para a população de baixa renda. Os alimentos biofortificados são obtidos basicamente, de duas formas: a) genética: com o melhoramento genético de 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).

Os alimentos de maior consumo, como o arroz, por exemplo, possuem quantidade insuficiente de micronutrientes e que são incapazes de atender às necessidades diárias das populações. Os carotenoides pró-vitamina A, por exemplo, são encontrados apenas nas folhas da cultura do arroz, assim como os teores de Fe (TANG, 2010). Nesse contexto, os programas de biofortificação buscam elevar os níveis de micronutrientes específicos em partes das plantas que sejam comestíveis, utilizando, para tanto, o melhoramento convencional e genético, manejo agrônômico e transgenia.

Os produtores buscam não usar mais insumos sintéticos, e sim orgânicos, buscando um desenvolvimento sustentável, muitas pesquisas afirmam que esse processo tem tido resultados precisos em questão de controle de pragas e doenças (ALENCAR et al., 2012).

As principais estratégias utilizadas visando à biofortificação de plantas com o Se são: seleção de genótipos capazes de maior acúmulo do elemento nos tecidos e a biofortificação agronômica (ZHU et al., 2009). Assim, de acordo com Cakmak (2008), a biofortificação pode ser realizada de duas formas: através do melhoramento genético de plantas, de forma a permitir que elas absorvam mais determinado nutriente; ou adicionando-se determinado nutriente ao solo para que as plantas tenham maior disponibilidade do mesmo, ou seja, biofortificação agronômica.

De acordo com Graham et al. (2007), a técnica de biofortificação agronômica com Se consiste basicamente no aumento da concentração desse elemento nas culturas agrícolas, por meio da sua introdução na adubação das plantas, e que tem mostrado resultados satisfatórios.

Destaca-se que, nos programas de biofortificação com Se, deve-se levar em consideração a forma do elemento a ser aplicada, uma vez que solos intemperizados, os quais apresentam elevadas concentrações de óxidos de Fe e Al na fração argila, podem adsorver selenito, reduzindo, conseqüentemente, sua disponibilidade para as plantas (ZHANG & SPARKS, 1990).

A biofortificação agronômica mostrou-se eficiente em trabalho realizado por Fernandes (2012) que comprovou a eficiência da aplicação de Se 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.

3.8 Estudos Realizados com Aplicação de Selênio em Diferentes Culturas

Hawrylak-Nowak et al. (2015), ao estudarem a aplicação de Se via solo e via foliar, afirmam que as plantas submetidas ao tratamento via solo não apresentaram sintomas de fitotoxicidade visual, enquanto as que receberam o nutriente via foliar apresentaram danos severos em todas as doses testadas. Tais danos foram irreversíveis, de modo a impossibilitar as análises de trocas gasosas e fluorescência. A alta fitotoxicidade demonstra que aplicação foliar desse elemento deve ser em concentrações menores. O elevado teor de Se no tecido pode ter aumentado a peroxidação lipídica das membranas celulares e

comprometido o metabolismo vegetal, o que, conseqüentemente, acarretou distúrbios na homeostase mineral.

Alguns trabalhos consideram que o efeito do Se na nutrição mineral de plantas inibe a absorção de sulfato e promove diminuição do teor de S no tecido vegetal (FERRARI & RENOSTO, 1972). Essa inibição foi observada por Barack & Goldman (1997), em que a alta disponibilidade de selenato diminuiu o teor de S na cultura da cebola, o que pode estar relacionado à inibição competitiva com o sulfato, promovida pelo excesso de selenato em solução de cultivo.

Entretanto, alguns autores relatam a interação sinérgica entre o Se e o S, em diversas espécies vegetais. Mikkelsen & Wan (1990), ao aumentarem a concentração de selenato em solução de cultivo, verificaram aumento significativo no teor de S na parte aérea de cevada e arroz. Ramos et al. (2011), ao avaliarem o efeito do selenito e do selenato em diversos germoplasmas de alface, observaram que o selenato promoveu aumento no teor de S em cultivares de alface. Boldrin et al. (2012) verificaram que, como aumento nas doses de selenato, incrementou-se o teor de S em grãos de arroz.

Vários estudos têm demonstrado que um aumento no pH do solo resulta em um aumento na absorção de Se pela planta (CARY & ALLAWAY, 1969; LINDBERG & BINJEFORS, 1970)

Chilimba et al. (2009) obtiveram resultados significativos quando aplicaram Se no solo para a cultura do milho, na dose de 100 g Se ha⁻¹, na fonte de selenato de sódio, aplicado ao solo, com aumento de até 1,6 mg kg⁻¹ de Se nos grãos. Boldrin (2011), trabalhando com arroz adubado (*Oryza sativa* L. cultivar BRSMG Relâmpago) e com duas fontes de Se (selenito e selenato) em doses variando de 0 a 6 mg kg⁻¹ em vasos preenchidos com Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, conseguiram aumentos de até 59 mg kg⁻¹ de Se nos grãos.

Em plantas que não acumulam Se, quando amadurecem, frequentemente elas mostram o mesmo conteúdo de Se em grãos e raízes, com quantidades menores nos caules e folhas. A distribuição de Se em plantas também depende da forma e concentração e da disponibilidade às raízes, natureza e concentração de outras substâncias, especialmente sulfatos acompanhando o elemento (SOUZA et al., 1998; ZAYED et al., 1998).

Boldrin et al. (2012), estudando a biofortificação de arroz (*Oryza sativa* L.) com Se, obtiveram aumento de 13% na produção dos grãos com a dose de $0,75 \text{ mg dm}^{-3}$, assim como aumento de massa seca na parte aérea. Constataram também que a maior eficiência de aproveitamento do Se aplicado e a translocação deste na planta foram obtidas quando a adubação foi realizada com selenato, já que, diferentemente do selenito, não tem absorção específica em relação a íons metálicos e não formam compostos orgânicos na raiz, o que facilita seu transporte pelo xilema para a parte aérea.

O Se, geralmente aplicado em pastos na dose de 5 a 10 g ha^{-1} por ano, na forma de sais solúveis, como selenato de sódio (Na_2SeO_4), pode ficar disponível imediatamente às plantas e nos anos seguintes à adubação, enquanto o selenito ou fontes com selenato menos solúveis, como o selenato de bário (BaSeO_4), podem favorecer maior disponibilidade de Se ao longo do tempo (WHITE et al. 2007).

Pesquisas utilizando adubação com Se em plantas forrageiras mostraram aumentos significativos de ganho de peso e produção de lã de ovinos, mesmo em animais que não demonstravam deficiência de Se (WHELAN et al. 1994).

Apesar de conhecer a essencialidade do selênio para os seres humanos e animais, as pesquisas 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 Se pela população (MAIHARA, 2004).

Embora as respostas em produção não sejam empolgantes para o agricultor, devem-se considerar as consequências benéficas da biofortificação com Se, como ganhos em qualidade, resultando em incrementos do elemento nos alimentos, o que é refletido na saúde dos consumidores finais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biofortificação agronômica é uma estratégia que pode ser utilizada para aumentar a concentração de nutrientes nos produtos agrícolas, melhorando a dieta, a saúde humana e animal. No entanto, para obter produtos mais nutritivos, de forma técnico-econômica sustentável, é necessário conciliar

a biofortificação genética à agronômica. Para o desenvolvimento de novas cultivares, considera-se, além de características que confirmam resistência a pragas, doenças e maior produtividade, o teor de minerais e vitaminas na parte comestível. Lembra-se ainda que, para saciar a fome de toda população, apenas quantidade não é suficiente, é necessário qualidade, ou seja, é necessário que o alimento nutra o organismo e garanta seu bom funcionamento e bem estar. O Selênio, apesar de ainda ter sido pouco estudado, é benéfico à saúde humana e animal, com a biofortificação de alimentos com selênio, busca-se diminuir ou até mesmo acabar com a ausência desse elemento no organismo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP, 1998.p. 121-130.

AGRIANUAL. **Anuário estatístico da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2010. p.205-211.

ALENCAR, T. A.; TAVARES, A. T.; CHAVES, P. P. N.; FERREIRA, T. A.; NASCIMENTO, I. R. Efeito de intervalos de aplicação de urina bovina na produção de alface em cultivo protegido. **Revista Verde**,v.7, n.3, p.53-67, 2012.Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1337/1318>>. Acesso em:13 out. 2016.

ARF, O.; SÁ, M. E.; OKITA, C. S.; TIBA, M. A.; GUERREIRO NETO, G.; OGASSAWARA, F. Y. Efeito de diferentes espaçamentos e densidades de semeadura sobre o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.8, p.533-597, 1996. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/19328/1/pab96_05_set.pdf>. Acessoem:13 out. 2016.

BARACK, P.; GOLDMAN, I. L. Antagonistic relationship between selenate and sulfate uptake in onion (*Allium cepa*): implications for the production of organosulfur and organoselenium compounds in plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,v.45, p.1290-1294, 1997.

BAR-YOSEF, B.; MEEK, D. Selenium sorption by kaolinite and montmorillonite. **Soil Science**, v.144, n.1, p.11-19, 1987.

BEZERRA NETO, F.; ROCHA, R.H.; ROCHA, R.C.C.; NEGREIROS, M.Z.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; NUNES, G.H.S.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; QUEIROGA, R.C.F. Sombreamento para a produção de mudas de alface em alta temperatura e ampla luminosidade. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1,

p.133-137, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v23n1/a28v23n1.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2016.

BOLDRIN, P. F. **Biofortificação agrônômica com selênio em arroz**. 2011. 63p. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras, 2011. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3579/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Biofortifica%C3%A7%C3%A3o%20agron%C3%B4mica%20com%20sel%C3%AAnio%20em%20arroz.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2016.

BOLDRIN, P. F.; FAQUIN, V.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L. R. G.; BASTOS, C. E. A.; CARVALHO, G. S.; COSTA, E. T. S. Selenato e selenito na produção e biofortificação agrônômica com selênio em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.831-837, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v47n6/47n06a14.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2016.

BRANCO, R. B. F. **Avaliação de cultivares e épocas de cultivo de alface nas condições de solo e hidroponia, em ambiente protegido**. 2001. 80p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2001.

BRODY, T. **Nutritional Biochemistry**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1999.

BROWN, K. M.; ARTHUR, J. R. Selenium, selenoproteins and human health: a review. **Public Health Nutrition**, v.4, n.2, p.593-599, 2001.

BROYER, T. C.; LEE, D. C.; ASHER, C. J. Selenium nutrition of green plants: effects of selenite supply on growth and selenium content of alfalfa and subterranean clover. In: BAUER, F. **Selenium and soils in the Western United States**. Moscow: University of Idaho, 1997. p.1-6.

BUTTERMAN, W. C.; BROWN, R. D. **Mineral commodity profiles, selenium**. Washington: U.S. Department of the Interior, 2004. 40p.

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

CAMARGO FILHO, W. P. C.; MAZZEI, A. R. Bataticultura no Mercosul, produção e mercado no Brasil e na Argentina. **Informações Econômicas**, v.26, p.53-67, 1996.

CARTER, D.L.; ROBBINS, C.W.; BROWN, M.J. Effect of phosphorus fertilization on the selenium concentration in alfalfa. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.36, n.4, p.624-628, 1972. Disponível em: <<http://www.extension.uidaho.edu/nutrient/pdf/Forages/Effect%20of%20Phosphorus%20Fertilization%20on%20the%20Selenium%20Concentration%20in%20Alfalfa.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2016.

CARY, E.E.; WIECZOREK, G.A.; ALLAWAY, W.H. Reactions of selenite-selenium added to soils that produce low-Se forages. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.31, p.21-26, 1967.

CARY, E.E.; ALLAWAY, W.H., The stability of different forms of selenium applied to low-selenium soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.33 p.571-574. 1969.

CARVALHO, A.M. Plantio direto e plantas de cobertura em agrossistemas do Cerrado. In: PARRON, L.M.; AGUIAR, E.M. S.; DUBOC, E.; OLIVEIRA FILHO, E.C.; CAMARGO, A.J.A.; AQUINO, F. G. **Cerrado: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. Planaltina: EmbrapaCerrados, 2008. p.229-262.

CARVALHO, C. **Anuário brasileiro de hortaliças 2013**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2013. 88p.

CASTEEL, S.E.; BLODGETT, D.J. Selenium: metals and minerals. In: PLUMLEE, K.H. **Clinical veterinary toxicology**. Missouri: Mosby Incorporation St. Louis, 2004. 477p.

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**. China: Suzhou, 2009. p.77-78.

COMBS, G. F. Selenium in global food systems. **British Journal of Nutrition**, v.85, p.517-547, 2001. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/S0007114501000782>>. Acesso em: 02 ago. 2016.

COSTA, C. P.; SALA, F. C. A evolução da alfacultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, 2005 (artigo de capa).

COMINETTI, C.; COZZOLINO, S. M. F. Recomendações de nutrientes. In: COZZOLINO, S. M. F. (Org). **Biodisponibilidade de nutrientes**. 3.ed. São Paulo: Manole; 2009. p.12-45.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira: **Sexto levantamento grãos safra 2012/2013 - março 2013**.

CONAB. Safra 2013/2014: Primeiro Levantamento/Intenção de plantio. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. 68 p. Out. de 2013.

CONAB. Safra 2015/2016: Primeiro Levantamento/Intenção de plantio. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_bol_etim_graos_janeiro_2016.pdf. Acesso em: 27 nov. 2016.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. Desafios à caracterização de solo fértil em manejo e conservação do solo e da água. **Revista Plantio Direto**, v.16, p.16-21, 2007.

FAO - Food and Agriculture Organization. **Statistic/FAOSTAT**. 2010 Disponível em: <<http://www.fao.org.br/download/ps200910.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2016.

FERRARI, G.; RENOSTO, F. Regulation of sulfate uptake by excised barley roots in presence of selenate. **Plant Physiology**, v.49, n.2, p.114-116, 1972.

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. Disponível em: <<http://www.scielo.org/pdf/rpsp/v11n3/9395.pdf>>. Acesso em: 25ago. 2016.

FERNANDES, A.A.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; FONSECA, M.C.M. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface em hidropônia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.2, p.195-200, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v20n2/14447.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2016.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; SILVA, B.L.; SOUZA-SCHLICK, G.D. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.8, p.826-835, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v45n8/v45n8a08.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2016.

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 Agrônomo de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/dissertacoes/Kelly%20Francine%20M%20Fernandes.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2016.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3.ed. Viçosa: UFV, 2008. 412p.

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

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.M.; SAUNDERS, D.A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H.E.; BONIERBALE, M.; DE HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, v.92, p.1-74, 2007.

HAWRYLAK-NOWAK, B. Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. **Plant Growth Regulation**, v.70, n.2, p.149-157, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA–IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil**. Seção 3: Aspectos da atividade agropecuária e extensão vegetal, 1996. p.3-83

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2006. **Censo Agropecuário de 2006**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acessado em: 26 nov. 2016.

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

KIMOTO, T. Nutrição e adubação de repolho, couve-flor e brócolo. In: FERREIRA, M.E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M.P.C. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.149-178.

KOPSELL, D. A.; RANDLE, W. M.; MILLS, H. A. Nutrient accumulation in leaf tissue of rapid-cycling *Brassica oleracea* responds to increasing sodium selenate concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, v.23, n.7, p.927-935, 2000.

LÉDO, F.J.S.; SOUZA, J.A.; SILVA, M.R. Avaliação de cultivares e híbridos de repolho no Estado do Acre. **Horticultura Brasileira**, v.18, n.2, p.138-140, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v18n2/v18n2a13.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2016.

LEI, X. G.; CHENG, W. H.; McCLUNG, J.P. Metabolic regulation and function of glutathione peroxidase-1. **Annual Review of Nutrition**, v.27, p.41-61, 2007.

LINDBERG, P.; BINGEFORS, S. Selenium level of forages and soils in different regions of Sweden. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v.20, p.133-136, 1970.

LOPES, C. A.; BUSO, J. A. **Cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 1997. 36p. (Instruções Técnicas n.8).

LOW, S.C.; BERRY, M.J. Knowing when not to stop: selenocysteine incorporation in eukaryotes. **Trends in Biochemical Sciences**, v.21, p.203-208, 1996.

LOWRY, K.R.; MAHAN, D.C.; CORLEY, J.R. Effect of dietary calcium on selenium retention in post-weaning swine. **Journal of Animal Science**, v.60, n.6, p.1429-1437, 1985.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; GOMES, A. S.; SANTOS, A. B. **Sistema de cultivo de arroz irrigado no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 270p.

MAIHARA, V. A.; GONZAGA, I. B.; SILVA, V. L.; FÁVARO, D. I. T.; VASCONCELLOS, M. B. A.; COZZOLINO, S. M. F. Daily dietary selenium intake of selected Brazilian population groups. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v.259, n.3, p.465-468, 2004. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/2004/09614.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2016.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALDONADE, I. R.; MATTOS, L. M.; MORETTI, C. L. **Manual de boas práticas na produção de Alface**. Brasília, DF, Embrapa Hortaliças, 2014. 44p. (Documentos, 141).

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 887p.

MARTINEZ, R. A. S.; REZENDE, P. M.; ALVARENGA, A. A.; ANDRADE, M. J. B.; PASSOS, A. M. A. Doses e formas de aplicação de selênio na cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.3, p.698-704, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v33n3/a06v33n3.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2016.

MAYLAND, H. F.; JAMES, L. F.; PANTER, K. E.; SONDEREGGER, J. L. Selenium in seleniferous environments. In: JACOBS, L. W. (Ed.). **Selenium in agriculture and the environment**. Madison: Soil Science of America and American Society of Agronomy, 1989. p.15-50. (SSSA Special Publication, 23).Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.540.6972&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2016.

MIELEZRSKI, F. SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T.; PANOZZO, L.E.; CARVALHO, R.R.; ZUCHI, J. Desempenho em campo de plantas isoladas de arroz híbrido em função da qualidade fisiológica das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n.3, p.139-144, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbs/v30n3/18.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

MIKKELSEN, R. L.; WAN, H. F. The effect of selenium on sulfur uptake by barley and rice. **Plant and Soil**, v.121, p.151-153, 1990.

MILLAR, K.R. Selenium. In: GRACE, N.D. (Ed.). **The mineral requirements of grazing ruminants**. New Zealand: New Zealand Society of Animal Production, 1983. p.38-47.

MURRAY, R.K.; BENDER, D.A.; BOTHAM, K.M.; KENNELLY, P.J.; RODWELL, V.W.; WEIL, P.A. **Bioquímica ilustrada de Harper (Lange)**. 29.ed. São Paulo: McGraw Hill, 2013. 832p.

NAGAI, H. Obtenção de novos cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) resistentes ao mosaico e ao calor. **Revista de Olericultura**, v.18, n.1, p.14-21, 1980.

NAVARRO-ALARCON, M.; CABRERA-VIQUE, C. Selenium in food and the human body: a review. **Science of the Total Environment**, v.400, p.115-141, 2008.

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

PAPPAS, A.C.; ZOIDIS, E.; SURAI, P.F.; ZERVAS, G. Selenoproteins and maternal nutrition. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part B**, v.151,

p.361-372, 2008. Disponível em: <http://www.feedfood.co.uk/download/My_Se_Prot_rev.pdf>. Acesso em: 23 out. 2016.

PEREIRA, A.S.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na Região Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 567p.

PAULA JÚNIOR, T. J.; VIEIRA, R. F.; TEIXEIRA, H.; COELHO, R. R.; CARNEIRO, J. E. S.; ANDRADE, M. J. B.; REZENDE, A. M. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central brasileira: 2007-2009**. Viçosa: Epamig, 2008. 180p. (Documentos, 42).

PEREIRA, A. S.; DANIELS, J. (Ed.). O cultivo da batata na Região Sul do Brasil. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2003. 567p.

PESSOA, P. C. S.; MENDONÇA, F. C.; SILVA, F. C. Redução do custo operacional de irrigação e uniformização de aplicação de água em pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30.; 2001, Foz de Iguaçu. **Anais...** Foz de Iguaçu: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

PRADO, R. M.; ROQUE, C.G.; SOUZA, Z.M. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.12, p.1795-1801, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v37n12/14648.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; ALMEIDA, H. J.; ÀVILA, F. W.; GUIMARÃES, L. R. G.; BASTOS, E. A. Selenato eselenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1347-1355, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n4/a29v35n4.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2016.

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

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

RAYMAN, M. P. Food-chain selenium and human health: emphasis on intake. **British Journal of Nutrition**, v.100, n.2, p.254-268, 2008.

RAVN-HAREN, G.; BÜGEL, S.; KRATH, B. N.; HOAC, T.; STAGSTED, J.; JORGENSEN, K.; BRESSON, J. R.; LARSEN, E. H.; DRAGSTED, L. O. A short-term intervention trial with selenite, selenium-enriched yeast and selenium-enriched milk: effects on oxidative defense regulation. **British Journal of Nutrition**, v.99, p.883-892, 2008.

RÍOS, J.J.; ROSALES, M. A.; BLASCO, B.; CERVILLA, L. M.; ROMERO, L.; RUIZ, J. M. Biofortification of Se and induction of the antioxidant capacity in lettuce plants. **Scientia Horticulturae**, v.116, p.248-255, 2008.

ROBBINS, C. W.; CARTER, D. L. Selenium concentrations in phosphorus fertilizer materials and associated uptake by plants. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.34, p.506-509, 1970.

ROSENFELD, I.; BEATH, O. A. **Selenium, geobotany, biochemistry, toxicity, and nutrition**. New York: Academic, 1964. 213p.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v.30, p.187-194, 2012.

SALVADOR, C. A. **Análise da conjuntura agropecuária safra 2011/12**. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento-Departamento de Economia Rural-PR, 2011.

SANTOS, A.B.; RABELO, R.R. **Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Estado do Tocantins**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 136p.(Documentos, 218). Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/doc_218_000g0qz6ick02wx5ok026zpxg0lrxr0k.pdf>. Acesso em: 10 set. 2016.

SILVA, A.C.; HIRATA, E.K.; MONQUERO, P.A. Produção de palha e supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura, no plantio direto do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.1, p.22-28, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n1/04.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2016.

SILVA JÚNIOR, A.A. **Repolho: fitologia, fitotecnia, tecnologia alimentar e mercadológica**. Florianópolis: EMOASC, 1987. 259p.

SILVA JÚNIOR, A.A.; MIURA, L.; YOKOYAMA, S. Repolho: novas cultivares de verão. **Agropecuária Catarinense**, v.1, n.3, p.47-49, 1988.

SILVA JÚNIOR, A.A. **Repolho: fisiologia, fitotecnia, tecnologia alimentar e mercadologia**. Florianópolis: EMPASC, 1989. 295p.

SINGH, M. Other trace elements, in Abstr. 12th Int. Soil Sci. Congr., Part I, Nova Delhi. 1982.

SOARES, B.; CANTOS, G. A. Avaliação microbiológica de alface (*Lactuca sativa*) comercializada em Florianópolis-Santa Catarina, em relação à presença de coliformes totais e fecais. **Higiene Alimentar**, v.20, n.147, p.73-75, 2006.

SOUZA, M. P.; PILON-SMITS, E. A. H.; LYTLE, C. M.; HWANG, S.; TAI, J.; HONMA, T. S. U.; YEH, L.; TERRY, N. Rate-limiting steps in selenium assimilation and volatilization by Indian mustard. **Plant Physiology**, v.117, p.1487-1494, 1998.

SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Processing of Brazil nut and meal and cassava flour: quality parameters. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.1, p.120-128, 2004.

STADTMAN, T.C. Selenocysteine. **Annual Review of Biochemistry**, v.65, p.83-100, 1996.

STRATTON, M. S.; REID, M. E.; SCHWARTZBERG, G.; MINTER, F. E.; MONROE, B. K.; ALBERTS, D. S.; MARSHALL, J. R.; AHMANN, F. R. Selenium and prevention of prostate cancer in high-risk men: the negative biopsy study. **Anti-Cancer Drugs**, v.14, n.8, p.589-594, 2003.

TANG, G. Bioconversion of dietary provitaminA carotenoids to vitamin A in humans. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.91(suppl.), p.1468S-1473S, 2010.

TAPIERO, H.; TOWNSEND, D.M.; TEW, K. D. The antioxidant role of selenium and seleno-compounds. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v.57, p.134-144, 2003.

TURAKAINEN, M.; HARTIKAINEN, H.; SEPPANEN, M. Selenium in plants. In: EUROLA, M.; HIETAMNIEMI, V. **Twentyyearsofseleniumfertilization**. Finlândia: Helsinki, 2005. 108p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE -USDA. 2103.

VAN NGUYEN, N.; FERRERO, A. Meeting the challenges of global rice production. **Paddy and Water Environment**, v.4, n.1, p.1-9, 2006.

VERGARA, B. S. Plant growth and development. In: UNIVERSITY OF THE PHILIPPINES. **Rice production manual**.Laguna, 1970. p.17-37.

VIEIRA, H. J.; LIBARDI, P. L.; BERGAMASCHI, H.; ANGELOCCI, L. R. Comportamento de duas variedades de feijoeiro sob regimes de disponibilidade hídrica do solo 79 (Extração de água do solo e evapotranspiração). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, n.2, p.165-176, 1989. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/14074/8053>>. Acesso em: 22 out. 2016.

VILELA, N. J.; HENZ, G. P. Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.17, n.1, p.71-89, 2000. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8863/4989>>. Acesso em: 20 set. 2016.

VITTI, G. C.; VIEIRA, F. C.; SUGIMOTO, L. S. **Nutrição e adubação da batata, relatório de pesquisa**. Piracicaba: FEALQ-USP, 2002.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, v.38, n.4, p.1184-1192, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n4/a49v38n4.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2016.

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

WHELAN, B. R.; BARROW, N. J.; PETTER, D. W. Selenium fertilizers for pastures grazed by sheep. II. Wool and liveweight responses to selenium. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.45, p.877-887, 1994.

WHITE, P.J.; BROADLEY, M.R; BOWEN, H.C.; JOHNSON, S.E. Selenium and its relationship with sulfur. In: HAWKESFORD, M.J.; KOK, L.J.D. **Sulfur in plants**. The Netherlands: Springer, 2007. p.225-252.

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, 2009.

WOLINSKY, I.; HICKSON JR, J.F. **Nutrição no exercício e no esporte**. 2.ed. São Paulo: Roca, 2002. 646p.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice cropscience**. Los Baños: IRRI, 1981. 269p.

ZAYED, A.; LYTLE, C. M.; TERRY, N. Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants. **Planta**, v.206, p.284-292, 1998.

ZHANG, P.; SPARKS, D.L. Kinetics of selenate and selenite adsorption/desorption at the goethite/water interface. **Environmental Science and Technology**, v.24, p.1848-1856, 1990. Disponível em: <<http://www1.udel.edu/soilchem/Zhang90est.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2016.

ZHU, Y.G.; PILON-SMITS, E.A. H.; ZHAO, F.J.; WILLIAMS, P.N.; MEHARG, A.A. Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. **Trends in Plant Science**, v.14, n.8, p.436-442, 2009.