



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE GURUPI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO ACADÊMICO EM
PRODUÇÃO VEGETAL

ALVARO JOSÉ GOMES DE FARIA

**BIOFORTIFICAÇÃO COM LÍTIO EM PLANTAS DE ALFACE
VIA ADUBAÇÃO FOLIAR**

Gurupi - TO
2018

ALVARO JOSÉ GOMES DE FARIA

**BIOFORTIFICAÇÃO COM LÍCIO EM PLANTAS DE ALFACE
VIA ADUBAÇÃO FOLIAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador (a): Prof. Dr. Rubens Ribeiro da Silva

Gurupi - TO
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- F224b Faria, Alvaro José Gomes de.
Biofortificação com Lítio em Plantas de Alface via adubação foliar. /
Alvaro José Gomes de Faria. – Gurupi, TO, 2018.
73 f.
- Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em
Produção Vegetal, 2018.
Orientador: Rubens Ribeiro da Silva
1. Produção vegetal. 2. Oligoelemento. 3. Biofortificação Agronômica . 4.
Adubação Foliar. I. Título

CDD 635

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

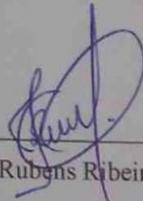
ALVARO JOSÉ GOMES DE FARIA

BIOFORTIFICAÇÃO COM LÍTIO EM PLANTAS DE ALFACE VIA ADUBAÇÃO FOLIAR

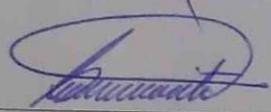
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 17 / 12 / 2018

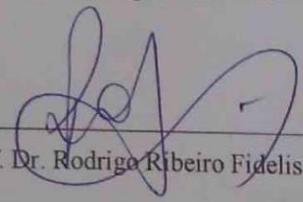
Banca Examinadora



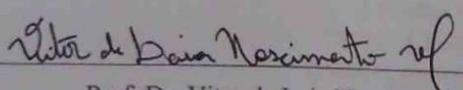
Prof. Dr. Rubens Ribeiro da Silva, UFT



Prof. Dr. Ildon Rodrigues do Nascimento, UFT



Prof. Dr. Rodrigo Ribeiro Fidelis, UFT



Prof. Dr. Vitor de Laia Nascimento, UFT

Gurupi, 2018

À Deus que nunca me abandonou, aos meus pais: José Miguel Filho e Hionica Rocha, Leiliane Ferreira Gomes e Ediley Pereira Vieira. A minha irmã Laila Gomes de Faria e a minha noiva Flavia Fernandes Sepedro, pela ajuda e por estar ao meu lado em qualquer circunstância. Sem o apoio de vocês nada seria possível.

DEDICO.

GRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, autor da minha vida, por ter me dado força, saúde, paciência e sabedoria para encarar as adversidades e finalizar mais esta etapa na minha vida.

Aos meus pais, José Miguel Filho e Hionica Rocha, Leiliane Ferreira Gomes e Ediley Pereira por estarem sempre ao meu lado, me ajudando em todos os momentos da minha vida.

A minha irmã Laila Ferreira Gomes, pelo carinho.

Ao meu primo David Ingsson Oliveira Andrade de Faria que também terá o título de mestre em produção vegetal.

Aos meus avôs e avós, José Miguel de Faria e Anedes Batista de Faria, José Ferreira Putencio e Santina Morais Gomes por estarem sempre ao meu lado.

Aos meus tios Cleide Batista de Faria e Marinon Marcelino Pinto, por nunca ter desistido de mim e por sempre ter acreditado no meu potencial durante os últimos sete anos (Graduação e mestrado).

Em especial a minha esposa, Flavia Fernandes Sepedro, por todo o carinho, amor, muita paciência e atenção, especialmente nesta reta final.

Ao Prof. Dr. Rubens Ribeiro da Silva pela amizade, orientação, apoio, confiança, paciência e por todos os ensinamentos passados.

Ao Prof. Dr. Gilson Araújo de Freitas pela amizade, apoio e confiança e ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Vitor de Laia Nascimento pela amizade, co-orientação, apoio, confiança e por todos os ensinamentos passados.

Ao Prof. Dr. Luciano Fernandes Sousa pela disponibilidade e seus conhecimentos em meta-análise e desta forma tornou-se possível a realização do capítulo 1 desta dissertação.

Ao Doutorando João Victor pela ajuda e por ter disponibilizado a área para a instalação do experimento.

Aos Técnicos do Laboratório de solos, Ângela Franciely, Túllio Teixeira Deusará e Jaci de Sousa Dias por terem contribuído com meu aprendizado.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa NERO, Rubson da Costa, Jefferson Santana, José Moisés, Larissa Urzedo, Ângela Franciely, Gilson Araújo, Carlos Eduardo, Evandro Ribeiro, Lara Couto, Paulo Sérgio, Tayná, Gilson Alexandrino, Hugo Duarte, Marcelo Tomazi.

Aos meus amigos em especial Gilson de Araújo, Antônio Carlos Martins dos Santos e Jefferson Santana Carneiro, pelos ensinamentos passados, pela paciência e amizade, saibam que foram fundamentais para o meu crescimento profissional.

Aos meus amigos Fabiana Thays, Cynthia Lhourrana, Igor Ricardo, Evandro Alves e Karol da Silva por sempre estar presentes.

A todos do corpo docente do curso de Produção Vegetal, pelos ensinamentos repassados durante o curso.

A Universidade Federal do Tocantins, pela oportunidade concedida.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPITULO 1

Figura 1 - Padrão de resposta encontrado para os estudos realizados envolvendo a aplicação de Li em culturas e seu efeito na massa seca da parte aérea e no teor de Li acumulado, Gurupi - TO, 2018.....28

CAPITULO 2

Figura 1 - Precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar registradas no mês de agosto de 2018, período de condução do experimento, Gurupi – TO (Fonte: INMET, 2018).....38

Figura 2 - Altura de planta (A), número de folhas (B), massa seca das folhas (C), massa seca da parte aérea (D), produtividade (E) e teor de Li nas folhas (F) de duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da aplicação foliar de sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018.....44

Figura 3 - Área foliar (A), área foliar específica (B) e teor relativo de água (C) das duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da aplicação foliar de sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018.....46

Figura 4 - Taxa assimilatória líquida de carbono (A), condutância estomática (B), transpiração (C) e eficiência no uso da água (D) das duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da aplicação foliar de sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018.....47

CAPITULO 3

Figura 1 - Precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar registradas no mês de agosto de 2018, período de condução do experimento, Gurupi – TO (Fonte: INMET, 2018).....61

Figura 2 - Massa seca da parte aérea (A) e teor de Li nas folhas (B) de duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da aplicação foliar de sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018.....65

Figura 3 - Teor foliar de Ca (A), Mg (B), K (C) e N (D) de duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da aplicação foliar de sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018.....66

Figura 4 - Teor foliar de Fe (A), Mn (B) e Zn (C) de duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da aplicação foliar de sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018.....67

Figura 5 - Repartição dos teores de Li na parte superior e inferior das cultivares de alface SVR 2005 (A) e Solaris (B) em função da aplicação foliar de sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018.....69

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 1

Tabela 1 - Relação cronológica, título de Periódico, Qualis e Journal Citation Reports (JCR) dos trabalhos utilizados nesta meta-análise, Gurupi - TO, 2018.....25

Tabela 2 - Relação geral e cronológica de todos os trabalhos envolvendo a aplicação de Li e seu efeito na MSPA e teor de Li em cada cultura avaliada, além de demonstrar também o meio de cultivo utilizado, o tempo de condução e a fonte de Li em cada trabalho, Gurupi - TO, 2017.....27

Tabela 3 - Resultado da meta-análise para a real resposta da MSPA das plantas submetidas a aplicação de doses crescentes de Li e para cada resposta se encontra suas significâncias.....29

CAPITULO 2

Tabela 1 - Resumo da análise de variância referentes as avaliações: altura de planta (AP), número de folhas (NF), massa seca das folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade (PROD), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), teor relativo de água (TRA), teor de Li nas folhas (TLiPA), fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração e eficiência do uso da água (EUA) de cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da adubação foliar de Sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018.....43

Tabela 2 - Equação de regressão e coeficiente de determinação (R²) referentes altura de planta (AP), número de folhas (NF), massa seca das folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade (PROD), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), teor relativo de água (TRA), teor de Li nas folhas (TLiF), fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração e eficiência do uso da água (EUA) de cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da adubação foliar de Sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018.....48

CAPITULO 3

Tabela 1 - Resumo da análise de variância referentes a massa seca da parte aérea, teor foliar de Ca, Mg, K, N, Fe, Mn, Zn e Li de duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da adubação foliar de Sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018.....64

Tabela 2 - Equação de regressão e coeficiente de determinação (R²) referentes a massa seca da parte aérea (folha + caule), teor foliar de Ca, Mg, K, N, Fe, Mn, Zn e de duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da adubação foliar de Sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹), Gurupi-TO, 2018.....68

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
REFERÊNCIAS	15
CAPÍTULO 1	20
APLICAÇÃO DE Li PODE PROVOCAR QUAL EFEITO NA NA MASSA SECA DA PARTE AÉREA DAS CULTURAS? UMA META-ANÁLISE	20
APPLICATION OF Li MAY CAUSE ANY EFFECT ON THE SHOOT DRY MASS OF THE CULTURES? A META-ANALYSIS	21
INTRODUÇÃO	22
MATERIAL E MÉTODOS	23
RESULTADOS	24
ANÁLISE	29
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
REFERÊNCIA.....	31
CAPÍTULO 2	34
MORFOFISIOLOGIA E BIOFORTIFICAÇÃO DE DUAS CULTIVARES DE ALFACE EM FUNÇÃO DA SUPLEMENTAÇÃO FOLIAR DE Li	34
MORPHOPHYSIOLOGY AND BIOFORTIFICATION OF TWO LETTUCE CULTIVARS IN FUNCTION OF FOLIAR LITHIUM SUPPLEMENTATION	35
INTRODUÇÃO	36
MATERIAL E MÉTODOS	38
RESULTADOS	42
ANÁLISE	48
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
REFERÊNCIAS	52
CAPÍTULO 3	57
INTERAÇÃO DO ÍON Li⁺ COM NUTRIENTES E SUA DISTRIBUIÇÃO EM PLANTAS DE ALFACE	57
INTERACTION OF ION LI WITH NUTRIENTS AND ITS DISTRIBUTION IN LETTUCE PLANTS	58
INTRODUÇÃO	59
MATERIAL E MÉTODOS	60
RESULTADOS	64
ANÁLISE	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
REFERÊNCIAS	72

INTRODUÇÃO GERAL

A demanda por alimentos, fonte primária de nutrientes, vitaminas e sais minerais, cresce com o aumento populacional (PERIGNON et al., 2018). De acordo com um relatório lançado pelas Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial deve alcançar cerca de 9,6 bilhões em 2050, 26% a mais do que em 2018, e este aumento será mais expressivo nos países em desenvolvimento, dentre eles o Brasil que terá um aumento expressivo de 12% na população em 2050 (ONU, 2017). Deste modo, a produção agrícola precisará duplicar, podendo chegar a um aumento de duas vezes e meia a três nos países em desenvolvimento (HENRY et al., 2018), podendo agravar ainda mais o que chamamos de fome oculta ou malnutrição, do inglês *hidden hunger* ou *malnutrition*, que atinge mais de dois bilhões de pessoas atualmente, especialmente mulheres grávidas, adolescentes e crianças (REHMAN et al., 2018).

A fome oculta é uma condição de fome caracterizada pelo consumo de quantidades adequadas de alimentos, principalmente cultivos básicos, mas esses alimentos não trazem quantidades adequadas de nutrientes, vitaminas e sais minerais para a saúde e o bem-estar das pessoas (REHMAN et al., 2018).

Estudos científicos recentes, estão voltados principalmente para a correção de deficiências nos teores nutricionais de Fe, I, Se, vitamina A e Zn nos alimentos básicos (DÍAZ-GÓMEZ et al., 2017). No entanto, a desnutrição em pessoas ocasionada pela menor disponibilidade de lítio (Li^+) não tem recebida a devida atenção (MLECZEK et al., 2017).

O Li é um metal alcalino com número atômico 3 e massa atômica de 6,941, é o mais leve dos metais, com peso específico de $0,534 \text{ g cm}^{-3}$. O Li é membro do grupo 1 da tabela periódica e, portanto, tem uma valência de +1 (Li^+). Por ser altamente reativo não é encontrado na natureza como um elemento puro. Na crosta terrestre, encontra-se bastante distribuído, sendo-lhe atribuída uma percentagem da ordem de 0,006% (WIETELMANN & STEINBILD, 2014; MARTINEZ et al., 2018). Está catalogado cerca de 150 minerais portadores de Li, deste montante apenas quatro são, de fato, considerados minerais de Li, por terem aproveitamento econômico: o espodumênio, a lepidolita, a petalita e a amblygonita. Além dos minerais esse elemento também é encontrado em grandes quantidades nas salmouras, reservatórios subterrâneos, água superficial e argila do tipo hectorita (MOHR et al., 2012; BRAGA; FRANCA, 2013).

Durante o processo de intemperismo, o Li é liberado dos minerais primários com relativa facilidade, posteriormente é incorporado em minerais de argila além de ser ligeiramente

adsorvido pela matéria orgânica e óxidos de Mn e acumulado em rochas fosfatada (KABATA-PENDIAS & MUKHERJEE, 2007). Estudos mostram que solos orgânicos e calcários possuem os maiores teores de Li, em relação a classe textural o Li tem relação direta com os teores de argila, desta forma, solo de textura arenosa contém os menores teores de Li (AMMARI et al., 2011; ROBINSON et al., 2018).

Por apresentar o menor raio hidratado, em relação aos outros íons comuns na solução solo, tais como Na, K, Mg e Ca, os íons Li apresenta fraca ligação eletrostática de esfera externa (SPOSITO, 2016). Da mesma forma, é de se esperar que esse elemento seja relativamente móvel e com auto potencial de lixiviação no solo e contaminação do lençol freático (ROBINSON et al., 2018), o que pode explicar os teores elevados de Li na camada subsuperficial do solo em relação a camada superficial (AMMARI et al., 2011).

Por estar presente em pequenas quantidades no solo e também na água é bem provável que esse elemento seja absorvido por plantas em condições naturais. Há relatos na literatura mostrando que diversas plantas silvestres, algumas usadas tradicionalmente na medicina, são capazes de absorver grandes quantidades Li presente no solo tornando esse elemento acumulado em seus tecidos sem prejudicar diretamente seu desenvolvimento, dentre elas podemos destacar *Apocynum venetum* - Apocynaceae (JIANG et al., 2014), *Plantago lanceolata* - Plantaginaceae, *Centaurea jacea* - Asteraceae, *Solidago canadenses* - Asteraceae e *Ranunculus sardous* - Ranunculaceae (FRANZARING et al., 2016). Em culturas agrônômicas também se constata a absorção, entretanto sua capacidade de acumular é menor, como por exemplo em feijão (*Phaseolus vulgaris* – Fabaceae) (MCSTAY et al., 1980), milho (*Zea mays* – Poáceas) (HAWRYLAK-NOWAK et al., 2012), alface (*Lactuca sativa* – Asteraceae) (KALINOWSKA et al., 2013) e beterraba (*Beta vulgaris* – Quenopodiáceas) (ROBINSON et al., 2018).

Embora seja absorvido o Li não se apresenta como nutriente essencial para o desenvolvimento adequado dos vegetais, pois seu papel no metabolismo das plantas ainda não foi determinado, embora se acredite que tem certas funções metabólicas em plantas halófitas (HAWRYLAK-NOWAK et al., 2012, FRANZARING et al., 2016). No entanto, a relatos na literatura demonstrando que a aplicação de Li via solo ou solução nutritiva, independente da fonte utilizada, promove incrementos na massa seca foliar e radicular, entretanto, esse efeito benéfico ainda não está claro (MCSTAY et al., 1980, HAWRYLAK-NOWAK et al., 2012, KALINOWSKA et al., 2013, ANTONKIEWICZ et al., 2017). Por outro lado, encontra-se ainda relatos de trabalho mostrando que a aplicação de Li promove redução na massa seca foliar e radicular (JIANG et al., 2014; FRANZARING et al., 2016), deste modo torna-se inconsistente saber o efeito deste elemento após absorvido pelas plantas silvestres ou cultivadas.

O Li é transportado para a célula das plantas via difusão passiva e seu transporte ocorre de forma ativa usando bomba Na⁺/K⁺ (ATPase), substituindo o Na, embora esse transporte seja em torno de duas vezes mais lento para Li do que Na. Após absorvido o Li tem grande capacidade para substituir os cátions Na, K, Mg, Ca, Cu, Zn, Rb, Mn e Co em várias membranas e sítios de ligação enzimática devido ao seu raio menor e alta resistência polarizante (MARIA et al., 2015). É recomendável destacar que o Li pode inibir proteínas que contêm Mg, em sua estrutura (DUFF et al., 2014). Como ainda não existe uma essencialidade comprovada sugere-se que o Li pode ter funções similares ao Mg ou Ca podendo substituir esses elementos durante os processos metabólicos nas plantas (SHAHZAD et al., 2016). Esse mesmo fato pode ser observado também para o K, sabido que o Li pode substituí-lo em até 50% do K (SHAHZAD et al., 2016).

Quando as plantas absorvem altas quantidades de Li ocorre uma série de alterações e inevitáveis modificações nos processos biológicos. Como efeito negativo podemos destacar a redução do crescimento das plantas, dos processos fisiológicos, crescimento radicular, produção de etileno, resultando na abscisão precoce das folhas, além da competição com macros e microelementos de grande importância para o completo desenvolvimento das plantas além de causar cloroses seguida de necroses em folhas mais velhas (JIANG et al., 2014; SHAHZAD et al., 2016).

Quando submetidas a metais pesados, as plantas exibem vários mecanismos de defesa dentre elas a não absorção, acumulação na parede celular e acumulação em vacúolos que corresponde a um tipo de distribuição subcelular (LI et al., 2017). Para o Li não é diferente, estudos mais recentes mostram que plantas submetidas a esse metal alcalino tendem a armazenar altas quantidades deste elemento nos vacúolos, seguida da parede celular e outras frações (QIAO et al., 2018). O vacúolo consiste em vários compostos orgânicos que podem se ligar ao íon de metal pesado reduzindo sua atividade (WANG et al., 2015).

Por ser absorvido pelas plantas, dentre elas de interesse agrônomico, faz com que o Li entre na cadeia alimentar de pessoas e animais. A Ingestão Diária Recomendada (IDR) de Li para o completo funcionamento do corpo humano é de 1 mg dia⁻¹ para um adulto de 70 kg (SCHRAUZER, 2002). Entretanto, já existem relatos na literatura que a ingestão total de Li até 10 mg dia⁻¹ não demonstra qualquer efeito adverso na saúde humana (SHAHZAD et al., 2016).

Ainda há falta de informação sobre a concentração de Li nos alimentos e com isso os valores de referência para o Li em alguns alimentos ainda não foram estabelecidos (EKMEKCIOGLU, 2006; GSN, 2013). A maioria dos dados disponíveis refere-se a águas

subterrâneas e água engarrafadas (BIRKE et al., 2010). Sabe-se que grãos e vegetais são considerados fontes primárias de Li (SCHRAUZER, 2002).

Populações de diversos países estão consumindo menos Li do que a quantidade recomendada, dentre esses países podemos destacar por exemplo (mg dia⁻¹): Canadá (0,022), EUA (0,043), Japão (0,004), Bélgica (0,012), Itália (0,030), Espanha (0,058) Turquia (0,041), Reino Unido (0,12), Alemanha (0,37), Polônia (0,010) (VAN CAUWENBERGH et al., 1999; SCHRAUZER, 2002). No Brasil não há informação sobre o consumo de Li pela população.

Já e bem descrito que o baixo fornecimento de Li pode ocasionar distúrbios de humor e personalidade, resultando no aumento de casos de transtornos bipolar ou maníaco-depressivos, ocorrência de psicose e depressão, aumento da suscetibilidade ao vício, aumento da agressão, distúrbios do sono, tentativas de suicídio, Alzheimer dentre muitos outros (YOUNG, 2011; FORLENZA et al., 2011; REIS et al., 2015). Se apontássemos apenas o número de pessoas com transtorno bipolar no Brasil teremos aproximadamente 10 milhões de pessoas, estes números crescem ano após ano (ABRATA, 2016; NIMH, 2016).

Existem várias alternativas para reduzir a deficiência de micronutrientes ou oligoelementos em pessoas, dentre elas podemos destacar a suplementação, fortificação e a biofortificação (RAWAT et al., 2013). A suplementação constitui basicamente no consumo oral de micronutrientes na forma de pílulas ou formulações em pó (GÓMEZ-GALERA et al., 2010), como por exemplo a utilização do “Carbolitium” no tratamento de indivíduos com transtorno bipolar, porém o uso deste medicamento causa uma série de efeitos colaterais ao ser humano (ZUNG et al., 2010). Já a biofortificação se diferencia da fortificação pelo simples fato desta última envolve aditivos que são misturados ao alimento, enquanto que a biofortificação incorpora os nutrientes dentro das células das plantas e neste caso se torna a melhor opção para melhorar o teor nutricional dos alimentos (DÍAZ-GÓMEZ et al., 2017).

A biofortificação pode ser realizada por dois métodos, meio de melhoramento genético ou agrônomico sendo ambas ótimas ferramentas agrícolas para melhorar a concentração de Li nos alimentos (CAKMAK, 2008). A estratégia de biofortificação agrônômica se torna eficiente, pois consiste no enriquecimento nutricional dos alimentos no campo, durante seu processo produtivo, através do manejo da adubação via solo ou foliar. Os resultados são rápidos, de baixo custo e as características do produto não é afetada, além de atribuir a estes produtos maior valor econômico (WEI et al., 2012).

A adubação foliar ao contrário da adubação tradicional (via solo), garante melhor aproveitamento do produto aplicado, principalmente de elementos aplicados em pequenas quantidades (micronutrientes ou oligoelemento). Assim, em situações de baixa disponibilidade

dos nutrientes no solo, em especial o Li, a adubação foliar se torna mais efetiva, promovendo melhorias no crescimento, rendimento das culturas e a qualidade do produto final (EL-AAL et al., 2010; ZODAPE et al., 2011).

A cultura da alface (*Lactuca sativa*) se destaca para a condução deste trabalho pois possui baixo custo de produção, ciclo curto, pode ser cultivada todo o ano e apresenta grande procura pela população. Assim, o consumo deste alimento biofortificado pode auxiliar no aumento dos teores de Li no organismo e conseqüentemente reduzir doenças causadas por sua deficiência.

Diante de tudo que foi exposto, o aumento da produção agrícola e de suma importância para que seja possível alimentar e suprir as necessidades da população em um futuro próximo. Desta forma, devemos rever o modelo da agricultura atual, focada apenas em produtividade, para que possamos produzir alimentos não só apenas em quantidade mais sim em qualidade nutricional e com teores adequados de Li. A técnica da biofortificação agrônômica e de grande importância para alcançar tal feito e está se tornando uma nova vertente na agricultura mundial preconizando maior segurança alimentar. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da aplicação de Li no desenvolvimento de plantas, bem como verificar o efeito das doses nas características agrônômicas, fisiológicas, nutricionais e na biofortificação de duas cultivares de alface.

REFERÊNCIAS

ABRATA – Associação brasileira de familiares, amigos e portadores de transtorno efetivo. **Transtorno bipolar, doença mental grave, ocorre mais no adulto jovem**, 2016. Disponível em: < <http://www.abrata.org.br/new/artigo/transtornoBipolar2.aspx>>. Acesso em: 10 de jul. 2016.

AMMARI, T. G.; AL-ZU'BI, Y.; ABU-BAKER, S.; DABABNEH, B.; GNEMET, W.; TAHBOUB, A. The occurrence of lithium in the environment of the Jordan Valley and its transfer into the food chain. **Environ geochem health**, v. 33, p. 427–437, 2011. DOI: 10.1007/s10653-010-9343-5.

ANTONKIEWICZ, J.; JASIEWICZ, C.; KONCEWICZ-BARAN, M.; BĄCZEK-KWINTA, R. Determination of lithium bioretention by maize under hydroponic conditions. **Archives of environmental protection**, v. 43, n. 4, p. 94-104, 2017. DOI 10.1515/aep-2017-0036.

BIRKE, M.; RAUCH, U.; HARAZIM, B.; LORENZ, H.; GLATTE, W. Major and trace elements in German bottled water, their regional distribution, and accordance with national and international standards. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 107, p. 245-271, 2010. DOI: 10.1016/j.gexplo.2010.06.002.

BRAGA, P. F. A.; FRANCA, S. C. A. Lítio: Um mineral estratégico. **Série estudos e documentos**, 2013.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant Soil**, v.302, p.1–17, 2008. DOI: 10.1007/s11104-007-9466-3.

DÍAZ-GÓMEZ, J.; TWYMAN, R. M.; CHANGFU, Z.; FARRÉ, G.; SERRANO, J. C. E.; OTIN, M. P. Biofortification of crops with nutrients: factors affecting utilization and storage. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 44, p. 115-123, 2017. DOI: 10.1016/j.copbio.2016.12.002.

DUFF, M. C.; KUHNE, W. W.; HALVERSON, N. V.; CHANG, C. S.; KITAMURA, E.; HAWTHORN, L.; STIEVE-CALDWELL, E. mRNA Transcript abundance during plant growth and the influence of Lip exposure. **Plant Science**, v. 229, p. 262-279, 2014. DOI: 10.1016/j.plantsci.2014.10.004.

EKMEKCIOGLU, C. Lithium. In: EKMEKCIOGLU, C., MARKTL, W. (Eds.), *Essenzielle Spurenelemente - Klinik und Ernährungsmethoden*. **Springer Verlag**, 205 S, 2006.

EL-AAL, F. S. A.; SHAHEEN, A. M.; AHMED, A. A.; MAHMOUD, A. R. Effect of foliar application of urea and amino acids mixtures as antioxidants on growth, yield and characteristics of squash. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, 6: 583-588, 2010.

FORLENZA, O. V.; DINIZ, B. S.; RADANOVIC, M.; SANTOS, F. S.; TALIB, L. L.; GATTAZ, W. F. Disease-modifying properties of long-term lithium treatment for amnesic mild cognitive impairment: randomized controlled trial. **The British Journal of Psychiatry**, vol. 198, p.351-356, 2011. DOI: 10.1192/bjp.bp.110.080044.

FRANZARING, J.; SCHLOSSER, S.; DAMSOHN, W.; FANGMEIER, A. Regional differences in plant levels and investigations on the phytotoxicity of lithium. **Environmental pollution**, v. 216, p. 858–865, 2016. DOI:10.1016/j.envpol.2016.06.059.

GÓMEZ-GALERA, S.; ROJAS, E.; SUDHAKAR, D.; ZHU, C.; PELACHO, A. M.; CAPELL, T.; CHRISTOU P. Critical evaluation of strategies for mineral fortification of staple food crops. **Transgenic Research**, v.19, p. 165 – 180, 2010. DOI: 10.1007/s11248-009-9311-y.

GSN - German Society of Nutrition. **Reference levels for nutrient intake**. Ed. 2. 2013. Disponível em: < <https://www.dge-medienservice.de/referenzwerte-fur-die-nahrstoffzufuhr.html>>. Acessado em: 01 de nov. 2018.

HAWRYLAK-NOWAK, B.; KALINOWSKA, M.; SZYMAŃSKA, M. A study on selected physiological parameters of plants grown under lithium supplementation. **Biological trace element research**, v. 149, 3, p. 425–430, 2012. DOI:10.1007/s12011-012-9435-4.

HENRY, R. C.; ENGSTRÖM, K.; OLIN, S.; ALEXANDER, P.; ARNETH, A.; ROUNSEVELL, M. D. A. Food supply and bioenergy production within the global cropland planetary boundary. **PLoS ONE**, v.13, n.3, 2018. DOI: 10.1371/journal.pone.0194695.

JIANG, L. I.; WANG, L. E. I.; MU, S. H. U.Y.; TIAN, C. *Apocynum venetum*: a newly found lithium accumulator. **Flora**, v. 209, p. 285-289, 2014. DOI: 10.1016/j.flora.2014.03.007.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A. B. **Trace elements from soil to human**. Springer-Verlag, Berlin, pp 87–93, 2007.

KALINOWSKA, M.; HAWRYLAK-NOWAK, B.; SZYMAŃSKA, B. The influence of two lithium forms on the growth, L-Ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce plants. **Biological Trace Element Research**, v. 152, n. 2, p. 251–257, 2013. DOI: 10.1007/s12011-013-9606-y.

LI, D.; SHU, Z.; YE, X.; ZHU, J.; PAN, J.; WANG, W.; CHANG, P.; CUI, C.; SHEN, J.; FANG, W.; ZHU, X.; WANG, Y. Cell wall pectin methyl-esterification and organic acids of root tips involve in aluminum tolerance in *Camellia sinensis*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.119, p.265–274, 2017. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.09.002

MARIA, D.; ZANETA, K.; JADWIGA, M. Lithium content in the tea and herbal infusions. **European Food Research and Technology**, p.241:289–293, 2015. DOI: DOI 10.1007/s00217-015-2456-4.

MARTINEZ, N. E.; SHARP, J. L.; JOHNSON, T. E.; KUHNE, W. W.; STAFFORD, C. T.; DUFF, M. C. Reflectance-Based Vegetation Index Assessment of Four Plant Species Exposed to Lithium Chloride. **Sensors**, v.18, p.2750, 2018. DOI:10.3390/s18092750.

MCSTAY, N. G.; ROGERS, H. H.; ANDERSON, C. E. Effects of lithium on *Phaseolus vulgaris* L. **Science of the Total Environment**, v. 16, n. 2, p. 185–191, 1980. DOI: 10.1016/0048-9697(80)90023-6.

MLECZEK, M., M. SIWULSKI, A. RZYMSKI, S. BUDZYŃSKA, M. GASECKA, P. KALAC, P. NIEDZIELSKI. Cultivation of mushrooms for production of food biofortified with lithium. **European Food Research and Technology**, v.243, n.6, p.1097-1104, 2017. DOI: 10.1007/s00217-016-2823-9.

MOHR, S. H.; MUDD, G. M.; GIURCO, D. Lithium Resources and Production: Critical Assessment and Global Projections. **Minerals**, v. 2, p. 65-84, 2012. DOI: 10.3390/min2010065.

NIMH - **National institute of mental health. Bipolar Disorder**. Disponível em: <<http://www.nimh.nih.gov/health/topics/bipolar-disorder/index.shtml>>. Acesso em: 12 de jul. 2016.

ONU – Organização das nações unidas (United Nations Organization). **World Population Prospects 2017**. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/>>. Acessado em: 01 de Nov. 2018.

PERIGNON, M.; BARRÉ, T.; GAZAN, R.; AMIOT, M. J.; DARMON, N. The bioavailability of iron, zinc, protein and vitamin A is highly variable in French individual diets: Impact on nutrient inadequacy assessment and relation with the animal-to-plant ratio of diets. **Food Chemistry**, v.238, p.73–81, 2018. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.12.070.

QIAO, L.; TANVEER, M.; WANG, L.; TIAN, C. Subcellular distribution and chemical forms of lithium in Li-accumulator *Apocynum venetum*. **Plant physiology and biochemistry**, v. 132, p. 341–344, 2018. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.09.022.

RAWAT, N.; NEELAM, K.; TIWARI, V. K.; DHALIWA, H. S. Biofortification of cereals to overcome hidden hunger **Plant Breed**, v.132, p. 437-445, 2013. DOI: 10.1111/pbr.12040.

REHMAN, H. M.; COOPER, J. W.; LAM, H.; YANG, S. H. Legume biofortification is an underexploited strategy for combatting hidden hunger. **Plant Cell Environ**, p.2–19, 2018. DOI: 10.1111/pce.13368.

REIS, J. A.; GERON, V. L. M. G.; BRONDANI, F. M. M.; FAGUNDES, D. S.; LIMA, R. R. O. L. Lítio: tratamento de primeira escolha no transtorno bipolar. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 6, n.1, p. 27-37, 2015. DOI: 10.31072/rcf.v6i1.292.

ROBINSON, B. H.; YALAMANHALI, R.; REISER, R.; DICKINSON, N. M. Lithium as an emerging environmental contaminant: mobility in the soil-plant system. **Chemosphere**, v. 197, p. 1–6, 2018. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.01.012.

SCHRAUZER, G. N. Lithium: Occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 21, p. 14–21, 2002.

SHAHZAD, B.; TANVEER, M.; HASSAN, W.; SHAH, A. N.; ANJUM, S. A.; SARDAR ALAM CHEEMA, S. A.; ALI, I. Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities e a review. *Plant physiology and biochemistry*, v. 107, p. 104-115, 2016. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.05.034.

SPOSITO, G. *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York, 2016.

VAN CAUWENBERGH, R.; HENDRIX, P.; ROBBERECHT, H.; DEELSTRA, H. Daily dietary lithium intake in Belgium using duplicate portion sampling. **Lebensm unters forsh A**, v. 208, p. 153-155, 1999. DOI: 10.1007/s002170050393.

WANG, Y.; SHEN, H.; XIE, Y.; GONG, Y.; XU, L.; LIU, L. Transport, ultrastructural localization, and distribution of chemical forms of lead in radish (*Raphanus sativus* L.). **Frontiers in Plant Science**. v.6, p. 1–13, 2015. DOI: 10.3389/fpls.2015.00293.

WEI, Y.; SHOHAG, M.; WANG, Y.; LU, L.; WU, C.; et al. Effect of zinc sulfate fortification in germinated brown rice on seed zinc concentration, bioavailability and seed germination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, p.1871–1879, 2012. DOI: 10.1021/jf205025b.

WIETELMANN, U.; STEINBILD, M. Lithium and lithium compounds. **ULLMANN'S Encyclopedia of Industrial Chemistry**, p. 1-138, 2014. DOI: 10.1002/14356007.a15_393.pub2.

YOUNG, A. H. More good news about the magic ion: lithium may prevent dementia. **The British Journal of Psychiatry**, v. 198, n. 5, p. 336-337, 2011. DOI: 10.1192/bjp.bp.110.082875

ZODAPE, S. T.; GUPTA, S. A.; BHANDARI, U. S.; RAWAT, D. R.; CHAUDHRY, K. ESWARAN J.; CHIKARA. Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *Journal of Scientific & Industrial Research*, v.70, p.215-219, 2011.

ZUNG, S.; MICHELON, L.; CORDEIRO, Q. O uso do lítio no transtorno afetivo bipolar. Arquivos médicos dos Hospitais e da Faculdade de Ciências Médicas. Santa Casa São Paulo. v.55, n.1, 30-7. 2010.

CAPÍTULO 1

APLICAÇÃO DE Li PODE PROVOCAR QUAL EFEITO NA NA MASSA SECA DA PARTE AÉREA DAS CULTURAS? UMA META-ANÁLISE

RESUMO: Sabe-se que a aplicação de doses crescentes de Li promove o aumento de Li nas plantas, resultando em sua biofortificação. Entretanto, a influência deste elemento na massa seca da parte aérea das plantas é relatada na literatura de forma contraditória. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi revisar e analisar sistematicamente os estudos comparando os diferentes efeitos do Li na massa seca da parte aérea a fim de se conseguir respostas sobre o efeito deste elemento nas plantas. Foi realizado uma meta-análise quantitativa de 16 artigos no idioma inglês publicados no período entre 1941 e 2018, desprezando dissertações, teses, livros ou artigos de baixo conceito. Os artigos foram selecionados com base no objetivo desta meta-análise e através do potencial através da análise do Qualis e o Journal Citation Reports (JCR). A variável MSPA estratificadas em função das doses de Li foi ajustada para meio de cultivo, espécie ou genótipo cultivado e idade da planta. Baseado nas informações contida nos artigos desta meta-análise foi possível observar a ocorrência de quatro padrões de resposta para os efeitos da aplicação de Li em culturas, o mais representativo refere-se ao aumento linear (+) nos teores de Li na massa seca da parte aérea e redução linear (-) na massa seca da parte aérea das culturas na mesma condição. Através da meta-análise foi possível constatar que a aplicação de Li em culturas silvestres ou agrícolas se adequa significativamente a uma resposta quadrática, ocorre realmente um aumento na massa seca da parte aérea, em doses menores e uma redução nestas características em doses maiores caracterizando efeito de toxicidade.

PALAVRA-CHAVE: Revisão Sistemática, biofortificação com Li, dados quantitativos, parâmetro agrônômico

APPLICATION OF Li MAY CAUSE ANY EFFECT ON THE SHOOT DRY MASS OF THE CULTURES? A META-ANALYSIS

ABSTRACT: It is known that the application of increasing doses of Li promotes the increase of Li in the plants, resulting in its biofortification. However, the influence of this element on the dry mass of the aerial part of the plants is reported in the literature in a contradictory way. In this way, the objective of this work was to systematically review and analyze the studies comparing the different effects of Li on shoot dry mass in order to obtain answers on the effect of this element on plants. A quantitative meta-analysis of 16 English-language articles published in the period between 1941 and 2018 was carried out, despising dissertations, theses, books or articles of low impact. The articles were selected based on the objective of this meta-analysis and through the potential of the Qualis analysis and the Journal Citation Reports (JCR). The variable MSPA stratified in function of Li doses was adjusted to the cultivation mode, species or cultivated genotype and plant age. Based on the information contained in the articles of this meta-analysis it was possible to observe the occurrence of four response patterns for the application of Li in cultures, the most representative is the linear increase (+) in Li contents in shoot dry mass and linear reduction (-) in the shoot dry mass of the crops in the same condition. Through the meta-analysis it was possible to verify that the application of Li in wild or agricultural crops suits to a quadratic response, an increase in shoot dry mass occurs, in smaller doses a reduction in these characteristics and in higher doses characterizing effect of toxicity

KEY WORDS: Systematic review, biofortification with lithium, quantitative data, agronomic parameter

INTRODUÇÃO

O lítio (Li) é um metal alcalino considerado o mais leve dos metais (WIETELMANN & STEINBILD, 2014) e de acordo com os critérios de essencialidade não é considerado essencial para as plantas, porém para o ser humano é considerado essencial e de grande importância (FRANZARING et al., 2016). As populações de países como Canadá, EUA, Japão, Bélgica, Itália, Espanha, Turquia, Reino Unido, Alemanha e Polônia estão consumindo menos Li do que a quantidade recomendada (1-10 mg dia⁻¹) (SCHRAUZER, 2002) e o baixo fornecimento de Li ocasiona distúrbios de humor e personalidade, resultando no aumento principalmente de casos de pessoas com transtorno bipolar ou maníaco-depressivo (FORLENZA et al., 2011; REIS et al., 2015).

Os vegetais são as principais fontes deste elemento e através deles que as pessoas consomem e absorvem o Li, mas com aumento da produção agrícola, com intuito de alimentar a população conforme seu crescimento, está cada vez mais difícil encontrar alimentos com teores ideais de Li e desta forma aumenta ano após ano o número de pessoas com deficiência neste elemento.

Existem várias alternativas para contornar esta situação e aumentar os teores de Li na alimentação humana, dentre elas podemos destacar a biofortificação agrônômica (RAWAT et al., 2013). Esta técnica incorpora os nutrientes dentro das células das plantas através da adubação via solo ou foliar e desta forma esta técnica torna-se eficiente para aumentar os teores de Li em plantas de maior consumo pela população (DÍAZ-GÓMEZ et al., 2017).

Há relatos na literatura que em condições experimentais a aplicação exógena do Li em plantas, sejam elas silvestres ou cultivadas, aumentam os teores deste elemento em seus tecidos conforme aumenta-se a doses aplicada resultando na biofortificação destas plantas (KALINOWSKA et al., 2013). Entretanto, acredita-se que além da biofortificação, o Li possa promover duplo efeito (positivo e negativo) na massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas, no qual depende da dose aplicada.

Já se sabe que o aumento das doses aplicadas de Li promove a biofortificação das plantas, entretanto, os resultados na literatura divergem muito sobre os reais efeitos do Li nas características agrônômicas das plantas, muitos autores comprovaram que doses menores deste elemento possui efeito positivo no aumento da MSPA em plantas de *Zea mays*, *Lactuca sativa*, *Brassica carinata*, *Apium graveolens*, *Agropyron Desertorum*, *Arabidopsis thaliana* e *Citrus sinensis* (KENT, 1941; BINGHAM et al., 1964; SNEVA., 1979; LI et al., 2009; HAWRYLAK-NOWAK et al., 2012; KALINOWSKA et al., 2013; ANTONKIEWICZ et al., 2017; FARIA et

al., 2018; MARTINEZ et al., 2018). Por outro lado, alguns autores demonstram resultados opostos, ou seja, a aplicação de Li reduz a MSPA em plantas de *Zea mays*, *Apocynum venetum*, *Phaseolus vulgaris*, *Solanum lycopersicum*, *Lactuca sativa*, *Helianthus annuus*, *Brassica napus*, *Zea mays*, *Spinacia oleracea*, *Poa ampla* e *Agropyron inerme* (BINGHAM et al., 1964; HARA et al., 1977; SNEVA, 1979; MCSTAY et al., 1980; MAKUS et al., 2006; HAWRYLAK-NOWAK et al., 2012; JIANG et al., 2014; FRANZARING et al., 2016; MARTINEZ et al., 2018). Em fungos comestíveis também ocorrem trabalhos neste sentido e contata-se efeito positivos em espécies de *Pleurotus ostreatus* e *Agrocybe cylindracea* e efeitos negativos em *Ganoderma lucidum* (MLECZEK et al., 2017; RZYMSKI et al., 2017). Desta forma, torna-se difícil entender o real efeito do Li em plantas após a sua utilização em um programa de biofortificação agrônômica. Não se sabe se a aplicação de Li pode trazer, além do aumento dos teores deste elemento na planta, estímulos positivos para o desenvolvimento das culturas ou se há apenas efeitos negativos e desta forma se fez necessário uma visão geral de um grande número de trabalhos para obter uma abordagem mais sistemática sobre os efeitos deste elemento no crescimento de plantas.

A meta-análise é definida como um procedimento estatístico que permite comparar resultados quantitativos de diferentes estudos, a fim de realizar uma síntese estatística, encontrando padrões comuns, discrepâncias ou outras relações interessantes que possam surgir no contexto de múltiplos estudos (AGUINIS et al., 2011). Este método é um procedimento que sintetiza uma determinada quantidade de conclusões num campo de pesquisa específico elevando a objetividade, minimizando possíveis erros e aumentando a qualidade de estudos analisados.

O objetivo aqui foi revisar e analisar sistematicamente os estudos comparando os diferentes efeitos do Li na massa seca da parte aérea a fim de se conseguir respostas sobre o real efeito deste elemento nas plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado a coleta na literatura apenas de artigos no idioma inglês publicados no período entre 1941 e 2018, desprezando dissertações, teses, livros ou artigos de baixo conceito. A coleta dos artigos ocorreu através de pesquisas feitas na plataforma de dados Google Acadêmico, usando as seguintes palavras chaves: “lítio”, “absorção de lítio”, “aplicação de lítio”, “lítio em plantas”, “lítio e biomassa de plantas”, “acumulo de lítio” e “biofortificação com lítio”. Inicialmente a pesquisa resultou em uma lista de 434 referências. Após análise

através do título e resumo foram selecionados cerca de 30 artigos, considerados de alto potencial através da análise do Qualis e o Journal Citation Reports (JCR), em relação aos objetivos deste trabalho. Finalmente os artigos foram analisados por completo e destes 30 artigos apenas 16 foram selecionados para compor a meta-análise e desta forma consideramos estes artigos como uma amostra de grande confiabilidade.

Os dados adquiridos foram apenas para a influência do Li na MSPA e logo depois foram tabulados e representados em forma de tabela, para cada artigo foi tirado as informações pertinentes referentes ao autor, ano de publicação do artigo, cultura utilizada, tempo de cultivo, tipo de aplicação, fonte utilizada e os resultados em forma de equação.

A variável MSPA estratificadas em função das doses de Li e ajustadas para meio de cultivo, espécie ou genótipo cultivado e idade da planta. Os demais aspectos extraídos do trabalho de coleta e seleção de artigos não foram incluídos no modelo por apresentarem não significância em relação a resposta, MSPA. Os dados brutos foram submetidos a análise de normalidade e homocedasticidade das variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk (1965) e Bartlett (1937), respectivamente. Os dados foram analisados utilizando um modelo misto, utilizando o procedimento PROC MIXED do pacote estatístico SAS, versão 9.2 (2009). Para selecionar a estrutura de covariância mais adequada para cada variável foi realizado o teste considerando o critério de informação bayesiano (BIC). Após tal procedimento os dados referentes a doses foram testados por contrastes ortogonais para efeito linear e quadrático, usando para tomada de decisão uma probabilidade de 5%.

RESULTADOS

A Tabela 2 representa a relação cronológica de todos os trabalhos utilizados nesta meta-análise, os periódicos em que foram publicados, bem como o Qualis e o Journal Citation Reports (JCR) no ano de 2017. Os 16 trabalhos selecionados foram publicados em diferentes anos, em quase todas as últimas décadas, iniciando no ano de 1941 até 2018, ou seja, 77 anos de pesquisa envolvendo a aplicação de Li e sua influência na massa seca da parte aérea em diferentes culturas e desta forma estes trabalhos representa uma amostra confiável e importante para poder entender o real efeito do Li após sua aplicação em culturas.

Os periódicos em que os artigos foram publicados possuem Qualis variando entre B2 a A1 e JCR variando entre 0,56 a 5,29 (no ano de 2017), o que demonstra grande confiabilidade dos dados extraídos de cada trabalho. O periódico Journal of Plant Nutrition, local de publicação dos dados do autor Faria et al. (2018), mostrou possuir o menor JCR (0,56) em relação aos

demais periódicos, enquanto que o periódico *Environmental Pollution*, local de publicação dos dados do autor Franzaring et al. (2016), possui o maior JCR (5,29) em relação aos demais periódicos.

Tabela 1 - Relação cronológica, tipo de Periódico, Qualis e Journal Citation Reports (JCR) dos trabalhos utilizados nesta meta-análise, Gurupi - TO, 2018

Nº	Autor (Ano)	Periódicos	Qualis (2017)	JCR (2017)
1	Kent (1941)	Annals of Applied Biology	A1	2,04
2	Bingham et al. (1964)	Soil Science	B2	1,32
3	Hara et al. (1977)	Soil Science and Plant Nutrition	B1	2,10
4	Sneva (1979)	Plant and Soil	A1	3,30
5	McStay et al. (1980)	Science Of The Total Environment	A1	4,61
6	Maku et al. (2006)	Subtropical Plant Science	B1	1,22
7	Li et al. (2009)	Plant Science	A2	3,71
8	Hawrylak-Nowak et al. (2012)	Biological Trace Element Research	B1	2,36
9	Kalinowska et al. (2013)	Biological Trace Element Research	B1	2,36
10	Jiang et al. (2014)	Flora	B1	1,36
11	Franzaring et al. (2016)	Environmental Pollution	A1	5,29
12	Antonkiewicz et al. (2017)	Archives of Environmental Protection	B1	0,85
13	Mleczek et al. (2017)	European Food Research and Technology	B1	1,91
14	Rzymiski et al. (2017)	Journal of Food Science and Technology	B1	1,79
15	Martinez et al. (2018)	Sensors (Basel)	B1	2,47
16	Faria et al. (2018)	Journal of Plant Nutrition	B2	0,56

A Tabela 2 demonstra um apanhado geral de todos os trabalhos utilizados nesta meta-análise, contata-se que dentre os 16 artigos, apenas cinco foram publicados no século 20, ou seja, 31% das publicações ocorreu entre os anos de 1941 a 1980 (39 anos). Estes primeiros trabalhos envolviam a aplicação de doses crescentes utilizando as fontes LiNO₃, LiCl e Li₂SO₄ como as principais fontes de Li em culturas como *Apium graveolens*, *Phaseolus vulgaris*, *Solanum lycopersicum*, *Citrus sinensis*, *Brassica oleracea*, *Agropyron Desertorum*, *Poa ampla*, *Agropyron inerme* cultivadas principalmente em solo, areia e substrato. Através das doses crescentes de Li, os resultados encontrados para a MSPA e teor de Li foram distintos para cada autor, sem ocorrer um padrão confiável de resposta.

Com o passar dos anos o interesse envolvendo os efeitos do Li em culturas aumentou e desta forma as pesquisas sobre este assunto também aumentaram. No século 21, dentro de 12

anos, referente ao período de 2006 a 2018, foram publicados cerca de 11 artigos sobre esta temática ocorrendo um acréscimo de 120% nas pesquisas em relação aos anos entre 1941 e 1980. Os trabalhos publicados no século 21 envolveram um grande número de culturas, sendo as espécies *Helianthus annuus*, *Zea mays*, *Lactuca sativa* as de maior representatividade, iniciou também estudo sobre os efeitos do Li em fungos comestíveis como os *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus eryngii* *Pleurotus ostreatus*, *Hericium erinaceus* *Agrocybe cylindracea*. Em relação as fontes de Li, observa-se além das fontes tradicionais utilizadas já descritas foi encontrado também o LiOH, Li₂CO₃ e CH₃COOLi como as principais fontes de Li. O primeiro cultivo em solução nutritiva foi conduzido por Li et al. (2009) onde as aplicações eram feito nesta solução em contato direto com as raízes das plantas, logo após trabalhos conduzidos por Hawrylak-Nowak et al. (2012), Kalinowska et al. (2013) e Antonkiewicz et al. (2017) utilizaram a solução nutritiva com o mesmo princípio em diferentes culturas. Entretanto, as respostas adquiridas em todos estes trabalhos publicados em 12 anos de pesquisa também são imprecisas, os resultados encontrados para a MSPA e teor de Li foram distintos para cada autor, sem ocorrer um padrão confiável de resposta (Tabela 2).

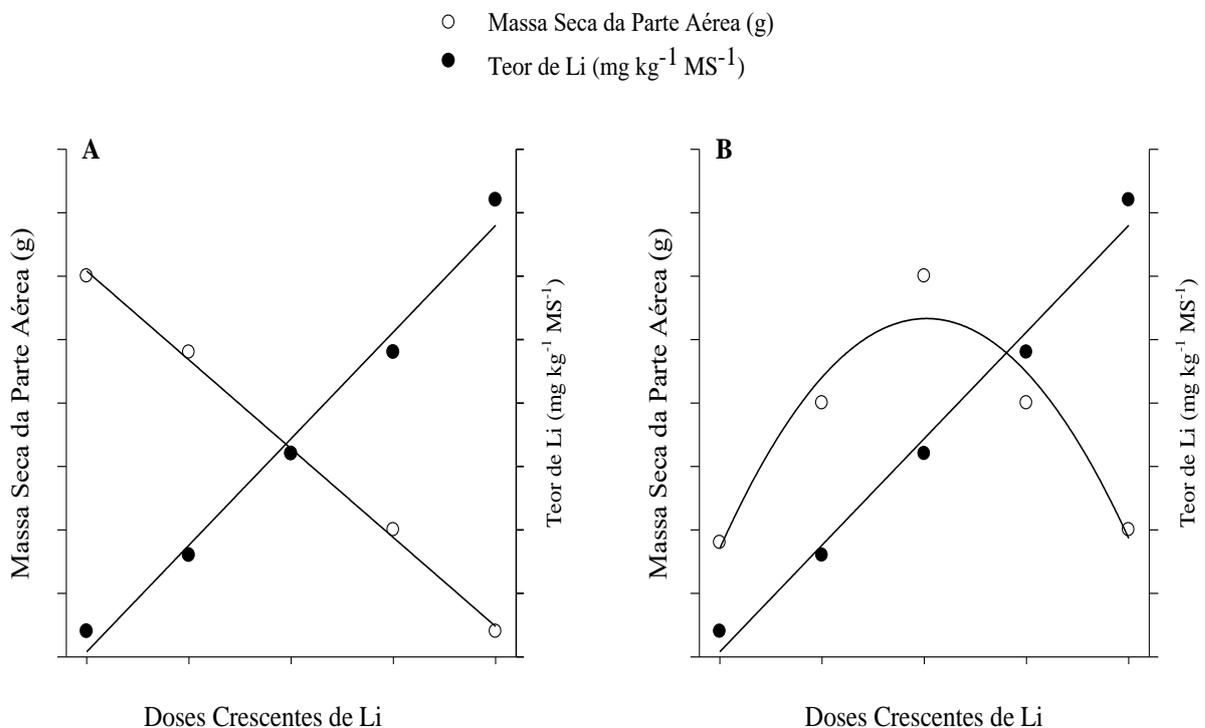
Tabela 2 - Relação geral e cronológica de todos os trabalhos envolvendo a aplicação de Li e seu efeito/resposta na MSPA e teor de Li em cada cultura avaliada, além de demonstrar também o meio de cultivo utilizado e a fonte de Li utilizada em cada trabalho, Gurupi - TO, 2017.

Nº	Autor (Ano)	Cultura	Meio de Cultivo	Fonte	MSPA (g planta ⁻¹)	Teor de Li (mg kg MS)
1	Kent (1941)	<i>Apium graveolens</i>	Solo	LiNO ₃ LiCl	Quadrático** Linear** (-)	Linear * (+) Linear * (+)
2	Bingham et al. (1964)	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Solanum lycopersicum</i> <i>Citrus sinensis</i>	Areia	Li ₂ SO ₄	Linear** (-) Linear** (-) Quadrático*	Linear** (+) Linear** (+) Linear**(+)
3	Hara et al. (1977)	<i>Brassica oleracea</i>	Substrato	Li ₂ SO ₄	Linear* (-)	Linear** (+)
4	SNEVA (1979)	<i>Agropyron Desertorum</i> <i>Poa ampla</i> <i>Agropyron inerme</i>	Solo	LiCl LiCl LiCl	Quadrática* Linear* (-) Linear* (-)	Linear**(+) Linear** (+) Linear** (+)
5	McStay et al. (1980)	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Substrato	LiNO ₃	Linear* (-)	Não avaliado
6	Maku et al. (2006)	<i>Spinacia oleracea</i>	Solo	Li ₂ SO ₄	Linear* (-)	Linear** (+)
7	Li et al. (2009)	<i>Brassica carinata</i> (sm) <i>Brassica carinata</i> (sv)	Solução Nutritiva	LiCl	Quadrático* Quadrático*	Linear ** (+) Linear * (+)
8	Hawrylak-Nowak et al. (2012)	<i>Helianthus annuus</i> <i>Zea mays</i>	Solução Nutritiva	LiCl	Linear* (-) Quadrático*	Linear** (+) Linear** (+)
9	Kalinowska et al. (2013)	<i>Lactuca sativa</i>	Solução Nutritiva	LiCl LiOH	Linear** (-) Linear** (-)	Linear** (+) Linear** (+)
10	Jiang et al. (2014)	<i>Apocynum venetum</i>	Solo	LiCl	Linear** (-)	Linear * (+)
11	Franzaring et al. (2016)	<i>Zea mays</i>	Substrato	LiCl Li ₂ CO ₃	Linear** (-) Linear** (-)	Linear** (+) Linear** (+)
12	Antonkiewicz et al. (2017)	<i>Zea mays</i>	Solução Nutritiva	LiCl	Quadrático**	Linear** (+)
13	Mleczek et al. (2017)	<i>Ganoderma lucidum</i> <i>Pleurotus eryngii</i> <i>Pleurotus ostreatus</i>	Substrato	Li ₂ CO ₃ CH ₃ COOLi	Linear** (-) Linear* (-) Quadrático* Linear* (-) Quadrático* Quadrático*	Linear** (+) Linear** (+) Linear** (+) Linear** (+) Linear** (+) Linear** (+)
14	Rzymiski et al. (2017)	<i>Hericium erinaceus</i> <i>Agrocybe cylindracea</i>	Substrato	LiCl CH ₃ COOLi	Linear* (-) Linear* (-) Quadrático* Linear* (-)	Linear** (+) Linear** (+) Linear * (+) Linear * (+)
15	Martinez et al. (2018)	<i>Arabidopsis thaliana</i> <i>Helianthus annuus</i> <i>Brassica napus</i> <i>Zea mays</i>	Solo	LiCl	Linear* (-) Linear* (-) Linear* (-) Linear* (-)	Não avaliado Não avaliado Não avaliado Não avaliado
16	Faria et al. (2018)	<i>Lactuca sativa</i>	Solo	Li ₂ SO ₄ LiOH	Linear* (-) Linear* (-)	Linear** (+) Linear** (+)

** : significativo ao nível 1% de probabilidade (p<0,01); * : significativo ao nível de 5% de probabilidade (0,01 ≤ p < 0,05) pelo teste F. (-) Redução Linear (+) Aumento Linear; MSPA – massa seca da parte aérea; MS – Massa seca.

O padrão de resposta encontrado referente aos efeitos da aplicação de Li na MSPA e o aumento nos teores de Li em seus tecidos, mantiveram padrões distintos de reposta de acordo com cada trabalho. O padrão de reposta de maior ocorrência está ilustrado na Tabela 2 e Figura 1A, cerca de 66% dos trabalhos concluíram que o aumento das doses de Li aplicado, independente da fonte ou cultura, proporcionou aumento linear (+) nos teores de Li, em contrapartida ocorreu redução linear (-) na massa seca da parte aérea das culturas comprometendo seu desenvolvimento. Por outro lado, o padrão representado pela Figura 1B e encontrado em 34% dos artigos, ou seja, independente da fonte ou cultura a aplicação de Li proporcionou aumento linear (+) nos teores de Li mas até certa dose (doses menores) também proporcionou aumento na massa seca da parte aérea com posterior redução nesta característica em doses elevadas caracterizando uma resposta quadrática para esta característica, desta forma a utilização de elevadas doses de Li se torna improprio em programas de biofortificação agronomica em culturas agrícolas .

Figura 1. Padrão de resposta encontrado para os estudos realizados envolvendo a aplicação de Li em culturas e seu efeito na massa seca da parte aérea e no teor de Li acumulado, Gurupi - TO, 2018



Entretanto, de acordo com o resultado da meta-análise realizado neste trabalho (Tabela 3), pode se contatar que o real efeito da aplicação de Li na massa seca da parte aérea se adequa significativamente a uma resposta quadrática, ou seja, há realmente um aumento na massa seca

da parte aérea, independente da cultura ou da fonte de Li aplicado, em doses menores e uma redução nestas características em doses maiores caracterizando efeito de toxicidade.

Tabela 3 – Resultado da meta-análise para a resposta da MSPA das plantas submetidas a aplicação de doses crescentes de Li e para cada resposta se encontra suas significâncias

Contrastes para MSPA x Doses de Li				
Resposta	GL* do Númerador	GL do Denominador	F – Valor	Pr > F
Linear	1	63	3,88	0,07
Quadrática	1	63	4,40	0,04

* GL – Grau de Libertade

ANÁLISE

O número de artigos utilizados nesta meta-análise poderia ser mais amplo devido a falta de acesso por completo de alguns artigos tais como: El-Sheikh et al. (1971) e Jurkowska et al. (1991; 1992; 1996 e 1997), que através da análises de seu título, única parte que tivemos acesso, poderia contribuir positivamente para ampliar o número de dados utilizado nesta meta-análise e assim obter resposta de maior confiabilidade.

Relatos da aplicação de Li e avaliação dos seus efeitos em culturas foi descrito pela primeira vez por Gaunersdorfer (1887). Desde então pesquisas com este elemento vem ocorrendo de forma constante com o passar dos anos, principalmente com a recente preocupação em elevar os teores deste elemento no organismo humano através do consumo de alimentos biofortificados. Cabe ressaltar que os trabalhos publicados entre 1941 até 2009 aproximadamente (KENT 1941; BINGHAM et al., 1964; HARA et al., 1977; SNEVA, 1979; MCSTAY et al., 1980; MAKU et al., 2006; LI et al., 2009), de acordo com nossas pesquisas, os autores avaliaram apenas a influencia da aplicação de um metal alcalino, o Li, em quaisquer culturas, apenas para se ter o conhecimento sobre os principais efeitos que estes elementos causavam, mas indiretamente estes autores estavam biofortificando estas culturas delimitando doses de melhor resposta. A preocupação real em biofortificar diretamente culturas de interesse agrícola com Li ocorreu aproximadamente em 2012 (HAWRYLAK-NOWAK et al., 2012), pois já se tinha noção que doenças como transtorno bipolar em humanos era provocado pela deficiência de Li e que esta diretamente relacionado com o consumo de alimentos com baixo teor de Li e desta forma iniciou se estudos com este elemento na biofortificação agronomica de alimentos, o que pode explicar o aumento dos estudos.

Não só as culturas são alvo das pesquisas com biofortificação agrônômica com Li, fungos comestíveis também são utilizados (MLECZEK et al., 2017; RZYMSKI et al., 2017). Através destes trabalhos foram obtidos ótimos resultados envolvendo o aumento dos teores de Li em diferentes partes comestíveis, por outro lado, ocorre respostas distintas em relação aos efeitos na massa seca da parte aérea, ocorre do mesmo autor encontrar respostas diferentes de acordo com a cultura utilizada, e desta forma não se sabe ao certo o real efeito do Li em diferentes culturas (Figura 2).

Por não ser considerado nutriente essencial para o completo desenvolvimento das plantas, muitos autores concluíram que doses crescentes de Li promovem aumento na massa seca da parte em plantas, em doses menores, e aumento nos teores de Li em seus tecidos, foi documentada por Kent (1941), Sneva (1979), Li et al. (2009), Hawrylak-Nowak et al. (2012), Kalinowska et al. (2013), Antonkiewicz et al. (2017), Faria et al. (2018), Martinez et al. (2018). Já redução na massa seca da parte aérea das plantas em função do aumento da dose de Li aplicado foi documentada por Bingham et al. (1964), Hara et al. (1977), Sneva (1979), Mcstay et al. (1980), Hawrylak-Nowak et al. (2012), Jiang et al. (2014), Franzaring et al. (2016).

De acordo com a meta-análise realizada neste trabalho foi possível definir o real efeito acometido pelas aplicações de Li em culturas, este efeito foi relatado como quadrático (Tabela 3), ou seja, doses crescentes de Li, além de aumentar os teores de Li em vários tecidos das plantas, promove sim aumento na massa seca das plantas, mas este efeito ocorre principalmente em doses menores variando de 2,16 a 39 mg dm⁻³, quando estas culturas são submetidas a doses elevadas consideradas tóxicas ocorre redução nesta características configurando assim seu efeito quadrático. Mas ainda não se sabe a real função do Li, após ser absorvido pelas plantas, que promove este aumento na massa seca. Novas pesquisas deverão ser realizadas, focando na real função do Li em plantas, pois já sabemos que este elemento promove efeito positivo para as culturas, cabe agora descobrir como este elemento se comporta após ser absorvido pelas plantas. Através destas pesquisas será possível afirmar se o Li pode ser considerado ou não um elemento benéfico se aplicado em pequenas doses.

Os elementos benéficos são elementos minerais que estimulam o crescimento das plantas, mais não são considerados essências ou que são essenciais somente para certas espécies ou ainda são essências somente em condições específicas, estes elementos são: Al, Co, Na, Se e Si que além de serem considerados benéficos também pode aumentar a resistência a estresses bióticos, como patógenos e herbivoria, e para estresses abióticos, como a seca, salinidade e toxicidade ou deficiência de nutrientes (PILON-SMITS et al. 2009). Dessa forma, espera-se que Li através de estudos futuros seja enquadrado como elemento benéfico para as plantas e ter

sua utilização ampliada visando a sua aplicação através da adubação vai solo ou através da fertilização foliar com o objetivo de se melhorar o desempenho das culturas principalmente de valor agrônomico ou a sua utilização voltada apenas para programas de biofortificação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1 – O uso da meta-análise proporcionou revelar estatisticamente que a aplicação exógena de Li além de promover o aumento nos teores deste elemento na parte aérea das plantas e promove também aumento na massa seca da parte aérea das plantas, configurando assim um comportamento quadrático nos resultados.

REFERÊNCIA

AGUINIS, H.; GOTTFREDSON, R. K. WRIGHT, T. A. Best-practice recommendations for estimating interaction effects using meta-analysis. **Journal of Organizational Behavior**. v.32, p.1033–1043, 2011. DOI: 10.1002/job.719.

ANTONKIEWICZ, J.; JASIEWICZ, C.; KONCEWICZ-BARAN, M.; BĄCZEK-KWINTA, R. Determination of lithium bioretention by maize under hydroponic conditions. **Archives of environmental protection**, v. 43, n. 4, p. 94-104, 2017. DOI 10.1515/aep-2017-0036.

BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of the Royal Society, Series A**, v.160, n. 2, p.268-282, 1937.

BINGHAM, F. T.; PAGE, A. L.; BRADFORD, G. R. Tolerance of plants to lithium. **Soil Science**. v.98, p.4—8, 1964.

DÍAZ-GÓMEZ, J.; TWYMAN, R. M.; CHANGFU, Z.; FARRÉ, G.; SERRANO, J. C. E.; OTIN, M. P. Biofortification of crops with nutrients: factors affecting utilization and storage. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 44, p. 115-123, 2017. DOI: 10.1016/j.copbio.2016.12.002.

DUFF, M. C.; KUHNE, W. W.; HALVERSON, N. V.; CHANG, C. S.; KITAMURA, E.; HAWTHORN, L.; STIEVE-CALDWELL, E. mRNA Transcript abundance during plant growth and the influence of Li⁺ exposure. **Plant Science**, v. 229, p. 262-279, 2014. DOI: 10.1016/j.plantsci.2014.10.004.

EL-SHEIKH, A. M.; ULRICH, A.; BOYER, T. C. Effects of lithium on growth, salt absorption, and chemical composition of sugar beet plant. **Agronomy Journal**. v.63, p.755-758, 1971.

FORLENZA, O. V.; DINIZ, B. S.; RADANOVIC, M.; SANTOS, F. S.; TALIB, L. L.; GATTAZ, W. F. Disease-modifying properties of long-term lithium treatment for amnesic mild cognitive impairment: randomized controlled trial. **The British Journal of Psychiatry**, vol. 198, p.351-356, 2011. DOI: 10.1192/bjp.bp.110.080044.

FRANZARING, J.; SCHLOSSER, S.; DAMSOHN, W.; FANGMEIER, A. Regional differences in plant levels and investigations on the phytotoxicity of lithium. **Environmental pollution**, v. 216, p. 858–865, 2016. DOI:10.1016/j.envpol.2016.06.059.

GAUNERSDORFER, J. Das Verhalten der Pflanzen bei Vergiftungen speziell dutsch Lithiumsalz. *Landwirtsch. Vers. Stn*, v.34, p.171—206, 1887.

HARA, T.; SONODA, Y.; IWAI, I. Growth response of cabbage plants to lithium, sodium, and rubidium under water culture conditions, **Soil Science and Plant Nutrition**. v.23, n.4, p.531-539, 1977. DOI: 10.1080/00380768.1977.10433071.

HAWRYLAK-NOWAK, B.; KALINOWSKA, M.; SZYMAŃSKA, M. A study on selected physiological parameters of plants grown under lithium supplementation. **Biological trace element research**, v. 149, 3, p. 425–430, 2012. DOI:10.1007/s12011-012-9435-4.

JIANG, L. I.; WANG, L. E. I.; MU, S. H. U.Y.; TIAN, C. *Apocynum venetum*: a newly found lithium accumulator. **Flora**, v. 209, p. 285-289, 2014. DOI: 10.1016/j.flora.2014.03.007.

JURKOWSKA, H.; ROGÓŻ, A. Uptake of lithium by plants as depending on soil moisture content, **Polish Journal of Soil Science**, v.24, p. 93–97. 1991.

JURKOWSKA H.; ROGÓŻ A.; WOJCIECHOWICZ T. The effect of increasing doses of lithium on crop yield and the content of lithium. **Polish Journal of Soil Science**. v.25, n.2, p.201-205, 1992.

JURKOWSKA H.; ROGÓŻ A.; WOJCIECHOWICZ T. The influence of lithium dose on its concentration and distribution in plants. **Polish Journal of Soil Science**. v.29, n.2, p.155-158, 1996.

JURKOWSKA H.; ROGÓŻ A.; WOJCIECHOWICZ T. Comparison of Lithium Toxic Influence on Some Plant Species. **Acta Agr. Silv. Ser. Agr.** v. 35, p.45-50, 1997.

KALINOWSKA, M.; HAWRYLAK-NOWAK, B.; SZYMAŃSKA, B. The influence of two lithium forms on the growth, L-Ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce plants. **Biological trace element research**, v. 152, n. 2, p. 251–257, 2013. DOI: 10.1007/s12011-013-9606-y.

KENT, N. L. The influence of lithium salts on certain cultivated plants and their parasitic diseases. **Annals of Applied Biology**. v.28, p.189-209, 1941. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1941.tb07552.x.

LI, X.; GAO, P.; GJETVAJ, B.; WESTCOTT, N.; GRUBER, M. Y. Analysis of the metabolome and transcriptome of *Brassica carinata* seedlings after lithium chloride exposure. *Plant Science*. v.177, p.68–80, 2009. DOI: 10.1016/j.plantsci.2009.03.013.

MAKUS, D. J.; ZIBILSKE, L.; LESTER, G. Effect of light intensity, soil type, and lithium addition on spinach and mustard greens leaf constituents. **Subtropical Plant Science**, v.58, p.35–41, 2006.

MARIA, D.; ZANETA, K.; JADWIGA, M. Lithium content in the tea and herbal infusions. **European Food Research and Technology**, p.241:289–293, 2015. DOI: DOI 10.1007/s00217-015-2456-4.

MARTINEZ, N. E.; SHARP, J. L.; JOHNSON, T. E.; KUHNE, W. W.; STAFFORD, C. T.; DUFF, M. C. Reflectance-Based Vegetation Index Assessment of Four Plant Species Exposed to Lithium Chloride. **Sensors**, v.18, p.2750, 2018. DOI:10.3390/s18092750.

MCSTAY, N. G.; ROGERS, H. H.; ANDERSON, C. E. Effects of lithium on *Phaseolus vulgaris* L. **Science of the total environment**, v. 16, n. 2, p. 185–191, 1980. DOI: 10.1016/0048-9697(80)90023-6.

MLECZEK, M., M. SIWULSKI, A. RZYMSKI, S. BUDZYNSKA, M. GASECKA, P. KALAC, P. NIEDZIELSKI. Cultivation of mushrooms for production of food biofortified with lithium. **European Food Research and Technology**, v.243, n.6, p.1097-1104, 2017. DOI: 10.1007/s00217-016-2823-9.

PILON-SMITS, E. A. H, QUINN, C. F. TAPKEN, W. MALAGOLI, M. SCHIAVON, M. Physiological functions of beneficial elements. **Current Opinion in Plant Biology**. V.12, n. 3, p. 267-274, 2009. DOI: 10.1016/j.pbi.2009.04.009.

RAWAT, N.; NEELAM, K.; TIWARI, V. K.; DHALIWA, H. S. Biofortification of cereals to overcome hidden hunger **Plant Breed**, v.132, p. 437-445, 2013. DOI: 10.1111/pbr.12040.

REIS, J. A.; GERON, V. L. M. G.; BRONDANI, F. M. M.; FAGUNDES, D. S.; LIMA, R. R. O. L. Lítio: tratamento de primeira escolha no transtorno bipolar. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 6, n.1, p. 27-37, 2015. DOI: 10.31072/rcf.v6i1.292.

RZYMSKI, P.; NIEDZIELSKI, P.; SIWULSKI, M.; MLECZEK, M. BUDZYNSKA, S.; GASECKA, M.; PONIEDZIAŁEK, B. Lithium biofortification of medicinal mushrooms *Agrocybe cylindracea* and *Hericium erinaceus*. **Journal of Food Science and Technology**. v.54, n.8, p.2387–2393, 2017. DOI: 10.1007/s13197-017-2679-4.

SCHRAUZER, G. N. Lithium: Occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 21, p. 14–21, 2002.

SHAHZAD, B.; TANVEER, M.; HASSAN, W.; SHAH, A. N.; ANJUM, S. A.; SARDAR ALAM CHEEMA, S. A.; ALI, I. Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities e a review. *Plant physiology and biochemistry*, v. 107, p. 104-115, 2016. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.05.034.

SHAPIRO, S. S. AND WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples), **Biometrika**. v. 52, n. 4, p. 591-611, 1965.

SNEVA, F. A. Lithium toxicity in seedlings of three cool season grasses. **Plant and Soil**. v.53, p.219-224, 1979. DOI: 10.1007/BF02181893.

WIETELMANN, U.; STEINBILD, M. Lithium and lithium compounds. **ULLMANN'S Encyclopedia of Industrial Chemistry**, p. 1-138, 2014. DOI: 10.1002/14356007.a15_393.pub2.

CAPÍTULO 2

MORFOFISIOLOGIA E BIOFORTIFICAÇÃO DE DUAS CULTIVARES DE ALFACE EM FUNÇÃO DA SUPLEMENTAÇÃO FOLIAR DE Li

RESUMO: Ao contrário dos seres humanos o lítio (Li) não é considerado elemento essencial para o completo desenvolvimento das plantas. No Brasil, é comum a falta de informações sobre o Li em culturas agrícolas, havendo ainda indicativo de baixa ingestão desse elemento pela população, acarretando problemas para a saúde. Considerando o baixo custo de produção, ciclo curto, flexibilidade de cultivo e a grande procura pela população, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da adubação via foliar com sulfato de lítio na biofortificação com Li, bem como verificar o efeito destas doses nas características morfofisiológicas de duas cultivares de alface do tipo crespa. O experimento foi conduzido em canteiros de 14,5 m² preenchidos com Latossolo Amarelo distrófico de textura média. O delineamento experimental utilizado foi em bloco casualizados com quatro repetições e oito replicada por repetição. Os dez tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 5x2, sendo cinco doses de Li (0; 16; 32; 48 e 64 g ha⁻¹) e duas cultivares de alface do tipo crespa (SVR 2005 e Solaris). A fonte de Li utilizada foi o Sulfato de Lítio (10,8% de Li) e as aplicações consistiu na adubação foliar. As leituras dos teores de Li na parte aérea foram realizadas por fotômetro de chama Quimis. O Li aplicado como sulfato de lítio proporcionou aumento nas características morfofisiológica para ambas as cultivares, este aumento ocorreu em média com a aplicação de 30,1 e 31,5 g Li ha⁻¹ para a SVR 2005 e Solaris respectivamente. A biofortificação agrônômica com Li ocorreu de forma positiva com a aplicação de 59 e 36 g Li ha⁻¹ para as cultivares SVR 2005 e Solaris respectivamente. Os resultados indicam que é possível aumentar as doses de Li em alface com o uso de sulfato de Li na adubação foliar, para amenizar a deficiência deste elemento na população humana.

PALAVRAS CHAVES: Sulfato de lítio, oligoelemento, adubação foliar, segurança alimentar

MORPHOPHYSIOLOGY AND BIOFORTIFICATION OF TWO LETTUCE CULTIVARS IN FUNCTION OF FOLIAR LITHIUM SUPPLEMENTATION

ABSTRACT: Unlike humans, lithium (Li) is not considered an essential element for the adequate development of plants. In Brazil, the lack of information about Li in agricultural crops is relevant and there is still an indication of low intake of this element by the population, causing health problems. Considering the low cost of production, short cycle, cultivation flexibility and demand for the world population, the objective of this work was to evaluate the effect of foliar fertilization with lithium sulfate on Li biofortification, as well as to verify the effect of these doses on the morphophysiological characteristics of two cultivars of crisp type lettuce. The experiment was conducted in 14.5 m² beds filled with a Yellow Oxisol of medium texture. The experimental design was a randomized block with four repetitions and eight replicates per repetition. The ten treatments were arranged in a 5x2 factorial scheme, with five Li doses (0; 16; 32; 48 and 64 g ha⁻¹) and two crisp-type lettuce cultivars (SVR 2005 and Solaris). The source of Li was Lithium Sulphate (13.8% Li) and the applications consisted of foliar fertilization. The determination of the contents of Li in the shoots was determined by flame photometer Quimis. The Li applied as Li sulfate provided an increase in the morphophysiological characteristics for both cultivars, this increase occurred on average with the application of 30.1 and 31.5 g Li ha⁻¹ for SVR 2005 and Solaris, respectively. Agronomic biofortification with Li occurred positively with the application of 59 and 36 g Li ha⁻¹ for cultivars SVR 2005 and Solaris, respectively. The results indicate that it is possible to increase the levels of Li in lettuce with the use of Li sulfate in foliar fertilization, in order to mitigate the deficiency of this element in the human population.

KEY WORDS: Lithium sulphate, trace element, foliar fertilization, food safety

INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial e brasileira deve alcançar 9,6 bilhões e 227 milhões em 2050 respectivamente (ONU, 2017). Desta forma, a produção de alimento em quantidades necessárias deverá ser prioridade, estima-se que a produção agrícola precisará duplicar, podendo chegar a um aumento de duas vezes e meia a três nos países em desenvolvimento (HENRY et al. 2018). Por outro lado, o aumento na produção agrícola nos próximos anos pode agravar ainda mais problemas como a fome oculta ou malnutrição, do inglês *hidden hunger* ou *malnutrition* (REHMAN et al., 2018).

Estudos científicos recentes, estão voltados principalmente para a correção de deficiências nos teores nutricionais de ferro, iodo, selênio, vitamina A e zinco nos alimentos básicos (DÍAZ-GÓMEZ et al., 2017). No entanto, a desnutrição em pessoas ocasionada pela menor disponibilidade de lítio (Li^+) não tem recebida a devida atenção (MLECZEK et al., 2016).

O Li é um metal alcalino com número atômico 3 e massa atômica de 6,941, é o mais leve dos metais, com peso específico de $0,534 \text{ g cm}^{-3}$. O Li é membro do grupo 1 da tabela periódica e, portanto, tem uma valência de +1 (Li^+). É encontrado em grandes quantidades em minerais, sais, bem como em salmouras, reservatórios subterrâneos, água subterrânea e superficial e argila do tipo hectorita (WIETELMANN & STEINBILD, 2014; MARTINEZ et al. 2018).

No solo o Li é absorvido, em pequenas quantidades, por qualquer tipo de planta, desde plantas silvestres até culturas de interesse agrônômico, mais este elemento não se apresenta como nutriente essencial para o seu desenvolvimento adequado (HAWRYLAK-NOWAK et al., 2012; FRANZARING et al., 2016). Em concentrações elevadas pode exercer efeitos tóxicos nas plantas, dentre esses efeitos temos a produção de espécies reativas de oxigênio (ERO's) que reduz os peguimentos fotossintéticos, redução da condução estomática, redução da taxa transpiratória e limita a carboxilação e dessa forma reduz a taxa fotossintética das plantas (SHAHZAD et al., 2016; JIANG et al., 2014).

No corpo humano o Li é considerado um oligoelemento, tem efeitos terapêuticos no tratamento de doenças, sendo efetivo no tratamento de pacientes que sofrem de transtorno bipolar (FORLENZA et al., 2011; REIS et al., 2015). O consumo deste elemento por pessoas não está sendo suficientes, pois estudos revelam que a populações de diversos países estão consumindo menos Li do que a quantidade recomendada ($1-10 \text{ mg dia}^{-1}$), dentre estes países podemos destacar Canadá, EUA, Reino Unido, Alemanha e Polônia (VAN CAUWENBERGH

et al., 1999; SCHRAUZER, 2002; SHAHZAD et al., 2016). Neste sentido, estratégias deverá ser desenvolvida para aumentar o teor de Li nos alimentos em quantidades adequadas para atender as necessidades das pessoas.

A suplementação, fortificação e a biofortificação são alternativas utilizadas para reduzir a deficiência de micronutrientes ou oligoelementos em pessoas (RAWAT et al., 2013). A suplementação constitui basicamente no consumo oral de micronutrientes na forma de pílulas ou formulações em pó (GÓMEZ-GALERA et al., 2010), como por exemplo a utilização do “Carbolitium” no tratamento do transtorno bipolar, porém o uso contínuo causa efeitos colaterais (ZUNG et al., 2010). A fortificação envolve aditivos que são misturados aos alimentos. Já a biofortificação se diferencia das demais por incorpora os nutrientes dentro das células das plantas e neste caso se torna a melhor opção para melhorar o teor nutricional dos alimentos sem efeitos colaterais para as pessoas e sem prejudicar a qualidade natural do produto (DÍAZ-GÓMEZ et al., 2017).

A biofortificação agrônômica se torna mais eficiente pelo rápido resultado, baixo custo e sua facilidade de condução, uma vez que esta técnica consiste no enriquecimento nutricional dos alimentos no campo, durante seu processo produtivo, através do manejo da adubação via solo ou foliar (WEI et al., 2012). E desta forma esta técnica torna-se uma grande aliada na biofortificação de alimentos com Li. Ressalta-se que, em programas de biofortificação agrônômica com Li deve-se levar em conta a forma de aplicação deste elemento, uma vez que o Li tem grandes interações no solo com a matéria orgânica, óxidos de Mn, acumulado em rochas fosfatada, além do alto potencial de lixiviação (KABATA-PENDIAS & MUKHERJEE, 2007; SPOSITO, 2016, ROBINSON et al., 2018). A adubação foliar torna-se uma alternativa viável, pois ao contrário da adubação tradicional (via solo) a adubação foliar garante melhor aproveitamento do produto aplicado e resposta rápida, refletindo no crescimento, rendimento, absorção de nutrientes e a qualidade do produto final (EL-AAL et al., 2010; ZODAPE et al., 2011).

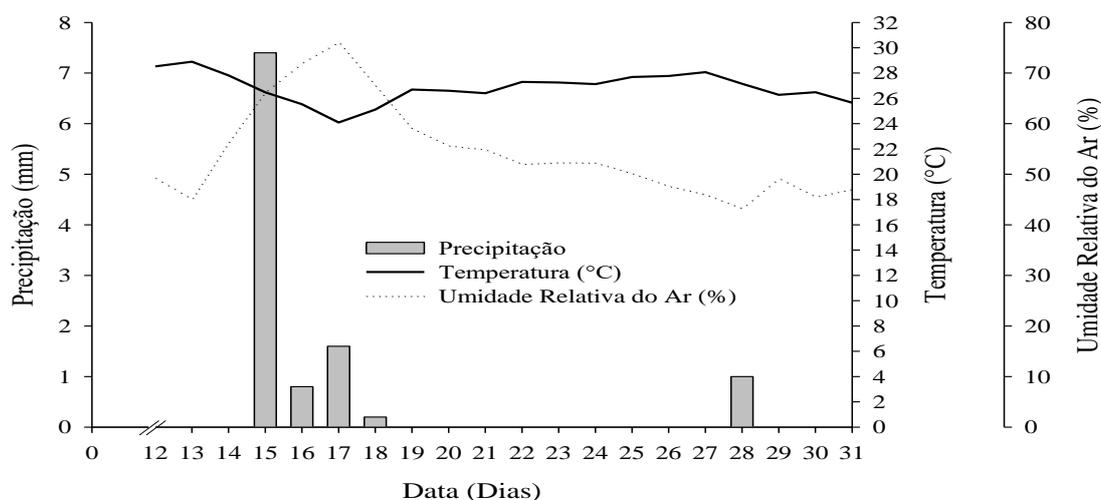
A cultura da alface (*Lactuca sativa*) se destaca para a condução deste trabalho pois possui baixo custo de produção, ciclo curto, pode ser cultivada todo o ano e apresenta grande procura pela população independente da idade, sexo ou classe social. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da adubação via foliar com sulfato de lítio na biofortificação com Li, bem como verificar o efeito destas doses nas características morfofisiológicas de duas cultivares de alface do tipo crespa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante o mês de agosto de 2018 no setor de Olericultura do Campus Universitário de Gurupi – CAUG, da Fundação Universidade Federal do Tocantins, localizada na latitude 11°43'45" S e longitude 49°04'07" O com altitude média de 287 m. Pela classificação climática de Thornthwaite, o município de Gurupi se encontra inserido na regionalização climática do tipo C2wA'á'', caracterizado por um clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno (TOCANTINS, 2012).

A temperatura média anual é de 29,5 °C, com precipitação média anual de 1.688 mm, caracterizada por um inverno seco e um verão chuvoso (INMET, 2018). As condições climáticas do período de realização dos experimentos estão na Figura 1.

Figura 1 - Precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar registradas no mês de agosto de 2018, período de condução do experimento, Gurupi – TO (Fonte: INMET, 2018)



O delineamento experimental utilizado foi em bloco casualizados (DBC) com quatro repetições e quatro replicata por repetição. Os dez tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 5x2, sendo cinco doses de Li (0; 16; 32; 48 e 64 g ha⁻¹) e duas cultivares de alface do tipo crespa (SVR 2005 e Solaris), ambas da empresa Seminis®. A fonte de Li utilizada foi o Sulfato de Lítio (10,8% de Li) por ter proporcionado bons resultados em trabalhos anteriores. A escolha das cultivares de alface como planta modelo foi devido a boa aceitação pela população da região, rápido ciclo de cultivo e manejo relativamente fácil.

O experimento foi conduzido em Latossolo Amarelo distrófico de textura média (EMBRAPA, 2013). As análises físicas e químicas do solo foi realizado conforme método descrito pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997), apresentaram

os seguintes valores: teor de areia: 675 g kg⁻¹; silte: 50 g kg⁻¹; argila: 275 g kg⁻¹; pH em CaCl₂: 4,6; MOS: 17 g kg⁻¹; CO: 10 g kg⁻¹; P (Mehlich 1): 6,3 mg dm⁻³; K: 97,0 mg dm⁻³; Ca: 3,6 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,9 cmol_c dm⁻³; Al: 0,0 cmol_c dm⁻³ e H + Al: 3,10 cmol_c dm⁻³.

A determinação do teor natural de Li no solo não adubado foi realizada por extração em solução de Mehlich e a determinação por fotômetro de chama, segundo EMBRAPA (1997), apresentando o seguinte resultado: Li - 1,0 mg kg⁻¹. Já a determinação do teor de Li no esterco bovino foi realizada pelo processo de digestão por via úmida conforme Malavolta (1997), com H₂SO₄ e mistura catalítica, composta por sulfato de sódio anidro (Na₂SO₄) e sulfato de cobre pentahidratado (CuSO₄.5H₂O) e apresentou o seguinte resultado: Li - 40 mg kg⁻¹, ambas análises foram realizadas no laboratório de solos da UFT.

Com base na análise química do solo, foi efetuada a aplicação de 1,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (30% de CaO, 18% de MgO e PRNT = 97,55%) e 0,2 kg ha⁻¹ de gesso agrícola (26% de CaO e 26% de SO₄). Após 15 dias, com umidade próxima a 60% do volume total de poros (VTP), foi efetuada a adubação básica de plantio com 80 mg de N, 175 mg de P, 24 mg de K e 15 mg de S (via gesso) por dm⁻³ de solo, utilizando as fontes: fosfato monoamônio (MAP) - NH₄H₂PO₄ e cloreto de potássio - KCl. A adubação básica com micronutrientes de 3 mg de Zn; 0,42 mg de Cu; 1,05 mg de Mn; 0,9 mg de B e 0,05 mg de Mo por dm⁻³ de solo foi fornecido na forma de FTE BR-12 (*Fritted Trace Elements*). Além da adubação química efetuou-se a aplicação de 2,0 kg m² de esterco bovino curtido, totalizando 20 Mt ha⁻¹. Além da adubação de plantio ocorreu três adubações de cobertura com N e K na dose de 80 e 55 mg dm⁻³, distribuídas aos 13 (20% da dose), 20 (30% da dose) e 27 (50% da dose) DAT. Utilizou-se como fonte a uréia e o cloreto de potássio.

A formação das mudas foi realizada em casa de vegetação utilizando bandejas de poliestireno expandido (Isopor[®]). As plântulas foram submetidas à irrigação manual com início logo após a semeadura, sendo realizadas duas aplicações diárias. O transplante das mudas de alface para as parcelas experimentais ocorreu quando as mesmas possuíam quatro a seis folhas bem formadas.

O local definitivo foi constituído por quatro canteiros com as dimensões de 1,0 x 14,5 x 0,20 m de largura, comprimento e profundidade respectivamente, com parcelas de 1,5 m de comprimento e 1,0 m de largura. Cada parcela experimental foi formada por 24 plantas, sendo considerado como parcela útil apenas oito plantas centrais. O espaçamento utilizado foi 0,25 cm entre plantas e 0,25 cm entre linhas totalizando 160 mil plantas por hectares. A irrigação das plantas ocorreu por meio do gotejamento, utilizando fita gotejadora com espaçamento entre

gotejadores de 0,25 m com vazão de 2 litros por hora com turno de regra de 2 horas por dia, no período da manhã e no período da tarde.

As aplicações de sulfato de lítio foram realizadas por via foliar, sendo que as doses de foram subdivididas em duas aplicações, aos 15 dias após o transplante (DAT) foi aplicado 33% da dose e aos 22 DAT o restante composto por 66% da dose total calculada. As aplicações foram realizadas por meio de pulverizador manual, adotando um volume fixo de 05 ml de solução por planta, gastando-se 800 L de calda por hectare por aplicação. Para evitar a ocorrência de deriva, no momento da aplicação, foi instalada ao redor da parcela uma cortina plástica com 1.0 m de altura.

Durante o desenvolvimento da cultura o controle de pragas e doenças foi realizado com aplicações do Inseticida Evidence[®] 700 WG - grupo químico dos neonicotinoides (300 g ha⁻¹ em calda de 800 L ha⁻¹) e Cercobin[®] 700 WP - grupo químico Benzimidazol (70 g para cada 100 L de calda). Durante a condução do experimento foram realizadas duas capinas manuais conforme necessidade da cultura.

A colheita foi realizada aos 35 DAT, quando as plantas apresentavam padrão comercial, sem indícios de florescimento e com máximo de desenvolvimento vegetativo. Foi dada especial atenção para a limpeza das folhas com água para retirar o excesso de Li mantido na superfície externa das folhas.

As características agronômicas, fisiológicas e o teor de Li na parte aérea, bem como a descrição das mesmas, serão apresentadas a seguir.

- Altura de Planta (AP, cm): realizada com uma régua graduada em milímetro, medindo a distância entre o colo e o ápice da muda.

- Número de Folhas (NF): feito manualmente da base até o ápice desprezando folhas menores que três cm e as folhas senescentes.

Massa Seca das Folhas (MSF, g) e Massa Seca da Parte Aérea (MSPA, g): O material vegetal foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 65-70°C, até a secagem completa das amostras. Após a secagem o material foi pesado em balança analítica eletrônica (0,001 g).

- Produtividade (PROD, t ha⁻¹): Obtida a partir da pesagem de cada planta da parcela útil e o valor foi convertido levando-se em consideração a população de planta de 106.720 mil ha⁻¹ distribuídas em 66,7 canteiros de 14 m² cada.

- Área Foliar (AF, cm²): calculada através do “método de discos”, conforme estudos realizados por Huerta & Alvim (1962). Dessa maneira, a área foliar de cada planta será calculada por meio da Equação 1:

$$AF = \frac{(ND * AD * MSF)}{MSD} \quad \text{Equação 1}$$

Em que: AF: área foliar, em cm²; ND: número de discos; AD: área dos discos, em cm²; MSF: massa seca das folhas, em g⁻¹ e MSD: massa seca dos discos, em g⁻¹.

- Área foliar específica (AFE, cm² g⁻¹): relaciona a superfície com a massa seca da própria folha, determinada conforme a Equação 2.

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad \text{Equação 2}$$

Em que: AFE: Área foliar específica, em cm² g⁻¹; AF: Área foliar, em cm² e MSF: Massa seca das folhas, em g⁻¹.

- Teor Relativo de Água (TRA, %): determinado pela fórmula proposta por Chen et al. (2009).

$$TRA = (PF - PS)/PF * 100 \quad \text{Equação 4}$$

Em que: TRA = teor relativo de água na folha, %; Pf = peso do material fresco, mg e Ps = peso do material após secagem em estufa, mg.

- Teor de Li nas folhas (TLiF, mg kg⁻¹ MS⁻¹): Após o processo de secagem separadamente das folhas, as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey com peneira de 1,27 mm. Em seguida o material foi submetido a digestão por via úmida utilizando ácido sulfúrico e mistura catalítica, composta por sulfato de sódio anidro (Na₂SO₄) e Sulfato de cobre pentahidratado (CuSO₄.5H₂O). Nos estratos adquiridos foi determinado o teor de Li, de acordo com a metodologia descrita por Malavolta (1997). A leitura foi realizada em fotômetro de chama Quimis, para isto o digerido foi diluído na proporção de uma parte para cinco de água deionizada (5 ml + 25 ml) e transferido para um recipiente de 50 ml antes de efetuar a leitura.

As trocas gasosas foram medidas em folhas completamente expandidas, localizada na parte intermediária da planta, no período das 8h às 11:30h da manhã em dia ensolarado. A taxa de fotossíntese líquida (*A*) (μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹), condutância estomática (*gs*) (mol de H₂O m⁻² s⁻¹) e transpiração (*E*) (mmol de H₂O m⁻² s⁻¹) foram determinadas utilizando-se equipamento de sistema aberto de fotossíntese com analisador de CO₂ e vapor d'água por radiação

infravermelha (*Infra Red Gas Analyser* – IRGA, modelo LCiSD, da ADC System, UK). A eficiência do uso da água (*EUA*, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) foi determinada pela relação entre a taxa de assimilação de CO_2 e a taxa de transpiração (*A/E*).

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância utilizando-se o teste F, adotando-se 1 e 5% de probabilidade. Depois foram submetidos à análise de regressão, avaliando a significância dos betas e dos coeficientes de determinação utilizando o programa Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2011). Os gráficos das regressões foram plotados utilizando o programa estatístico SigmaPlot versão 10[®].

RESULTADOS

O resumo da análise de variância com o quadrado médio, bem como os respectivos valores médios e coeficientes de variação para todas as características agrônomicas, fisiológica e o teor de Li nas folhas é demonstrada na Tabela 1. Observa-se que a fonte de variação cultivar e as doses de Li tiveram grande influência, exceto em relação a massa seca foliar e a transpiração que teve efeito não significativo pela fonte de variação cultivar. Constata-se também que a interação entre cultivar e doses de Li teve pouca influência nas características agrônomicas, apenas a altura de planta, produtividade e teor de Li na parte aérea resultou em efeito significativo, já em relação as características fisiológicas observa-se resultado significativo para todas as características. Deste modo, para as características que apresentaram efeito significativo para doses e interação doses e cultivares testadas, uma resposta linear ou quadrática foi calculada (Figura 2, 3 e 4) fornecendo as equações de regressão e o coeficiente de determinação (R^2) (Tabela 2).

Independente das doses de Li aplicada, bem como em relação ao tratamento sem aplicação de Li, a cultivar Solaris demonstrou ser estatisticamente superior em todas as características agrônomicas avaliadas em comparação com a cultivar SVR 2005, mesmo quando submetida a maior dose de Li (64 g Li ha^{-1}) e acordo com a Tabela 1 e Figuras 2 A, B, C, D e E. Este mesmo resultado também foi observado para o acúmulo de Li na parte aérea (Figura 2 F).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância referentes as avaliações: altura de planta (AP), número de folhas (NF), massa seca das folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade (PROD), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), teor relativo de água (TRA), teor de Li nas folhas (TLiPA), fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*) e eficiência do uso da água (*EUA*) de cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da adubação foliar de Sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha^{-1}). Gurupi-TO, 2018

Avaliações	Fonte de Variação					Média Geral	C.V. (%)
	Cultivar (C)	Doses (D)	Int. CxD	Bloco	Resíduos		
	Grau de Liberdade						
	1	4	4	3	27		
AP	38,59**	13,69**	5,47*	3,77	1,86	16,14	8,45
NF	24,41*	11,30*	2,19ns	0,88	3,95	23,84	8,34
MSF	2,02ns	2,56*	1,67*	1,03	0,94	10,07	9,64
MSPA	4,25*	3,42**	1,82ns	0,62	0,90	11,09	8,59
PROD	44,68*	29,01*	28,95*	11,16	12,82	39,62	9,04
AF	115,55*	477,46*	461,89ns	116,20	337,75	2181,0	20,64
AFE	114,45*	2142,70*	2824,40ns	8977,05	2167,80	213,01	17,58
TRA	893,49**	77,25**	11,00ns	1,09	16,54	81,73	4,98
TLiF	234,06**	349,05**	86,65**	6,34	19,10	39,13	20,75
A	5,78**	20,27**	3,95**	1,18	0,83	9,59	9,52
gs	0,012**	0,040**	0,019**	0,002	0,001	0,31	12,19
E	0,030ns	5,68**	2,33*	1,86	0,75	8,14	10,70
A/E	0,15*	0,14**	0,12**	0,080	0,020	1,79	13,06

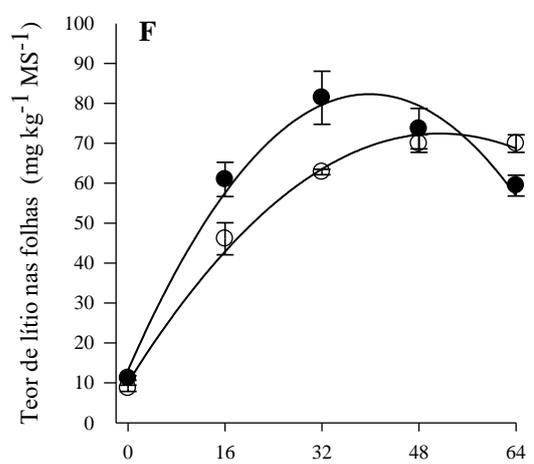
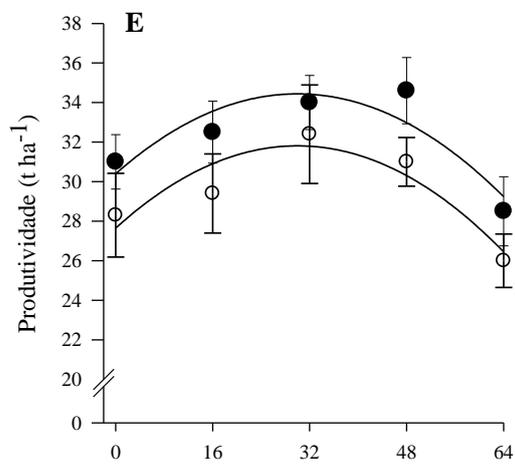
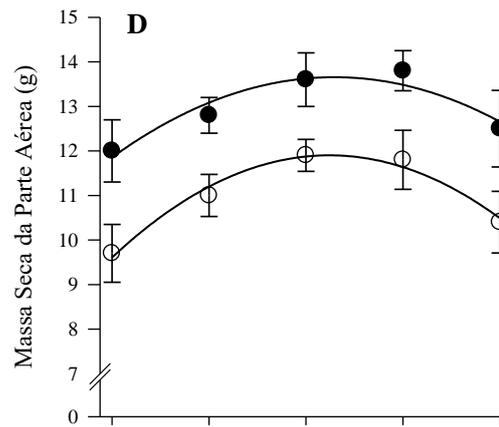
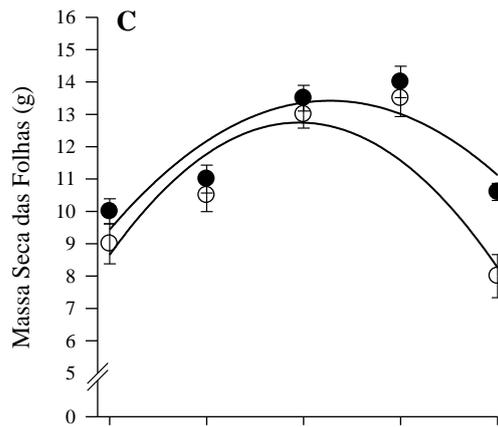
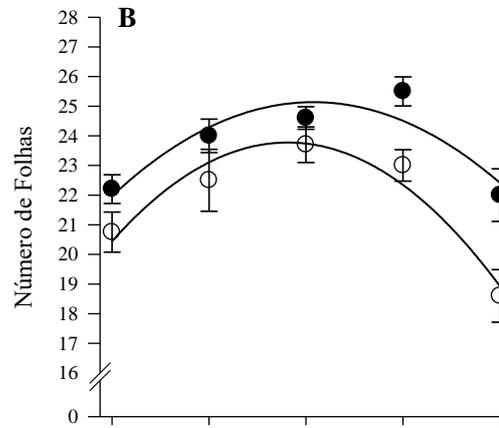
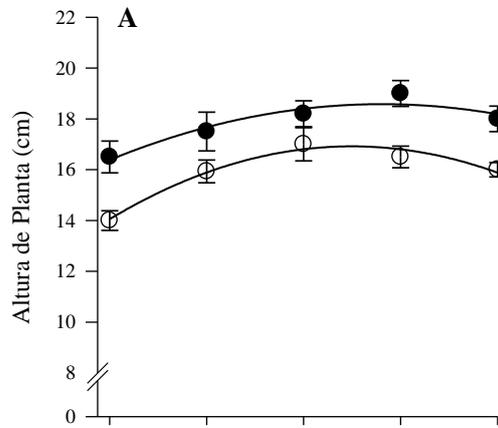
C.V.: Coeficiente de Variação. **: significativo ao nível 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *: significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns: não significativo ($p \geq 0,05$) pelo teste F.

As doses crescentes de Li mostraram ser capaz de promover respostas positivas e promissoras nas cultivares SVR 2005 e Solaris, refletindo no aumento significativo das características altura de planta, número de folha, massa seca das folhas, massa seca da parte aérea, produtividade, bem como os teores de Li na parte aérea de ambas as cultivares (Figura 2).

As plantas cresceram de forma positiva até a aplicação de 40 e 45 g Li ha⁻¹ no qual proporcionou aumento de 18 e 13% para a SVR 2005 e Solaris respectivamente, em relação ao tratamento sem aplicação de Li (Figura 1 A). O aumento no número de folhas ocorreu positivamente até a dose de 29 e 33 g Li ha⁻¹, levando a um aumento de 14% para ambas as cultivares, em relação ao tratamento sem aplicação de Li (Figura 2 B). Para a massa seca das folhas as doses de 31 e 36 g Li ha⁻¹ mostraram ser as mais eficientes, enquanto que a massa seca da parte aérea (caule + folha) respondeu positivamente até 36 e 38 g Li ha⁻¹, ou seja, estas doses promoveram aumento de 41 e 34% para a massa seca foliar e 22 e 15% para a massa seca da parte aérea para SVR 2005 e Solaris respectivamente em relação ao tratamento sem aplicação de Li (Figura 2 C e D). De acordo com a derivação da equação de regressão quadrática, constata-se que a aplicação de 30 e 29 g Li ha⁻¹ foi eficaz no aumento da produtividade em 11% para a cultivar SVR 2005 e 10% para a cultivar Solaris (Figura 2 E).

Figura 2 - Altura de planta (A), número de folhas (B), Massa Seca das Folhas (C), massa seca da parte aérea (D), produtividade (E) e teor de Li nas folhas (F) de duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da aplicação foliar de sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018

○ Cv. SVR 2005
● Cv. Solaris



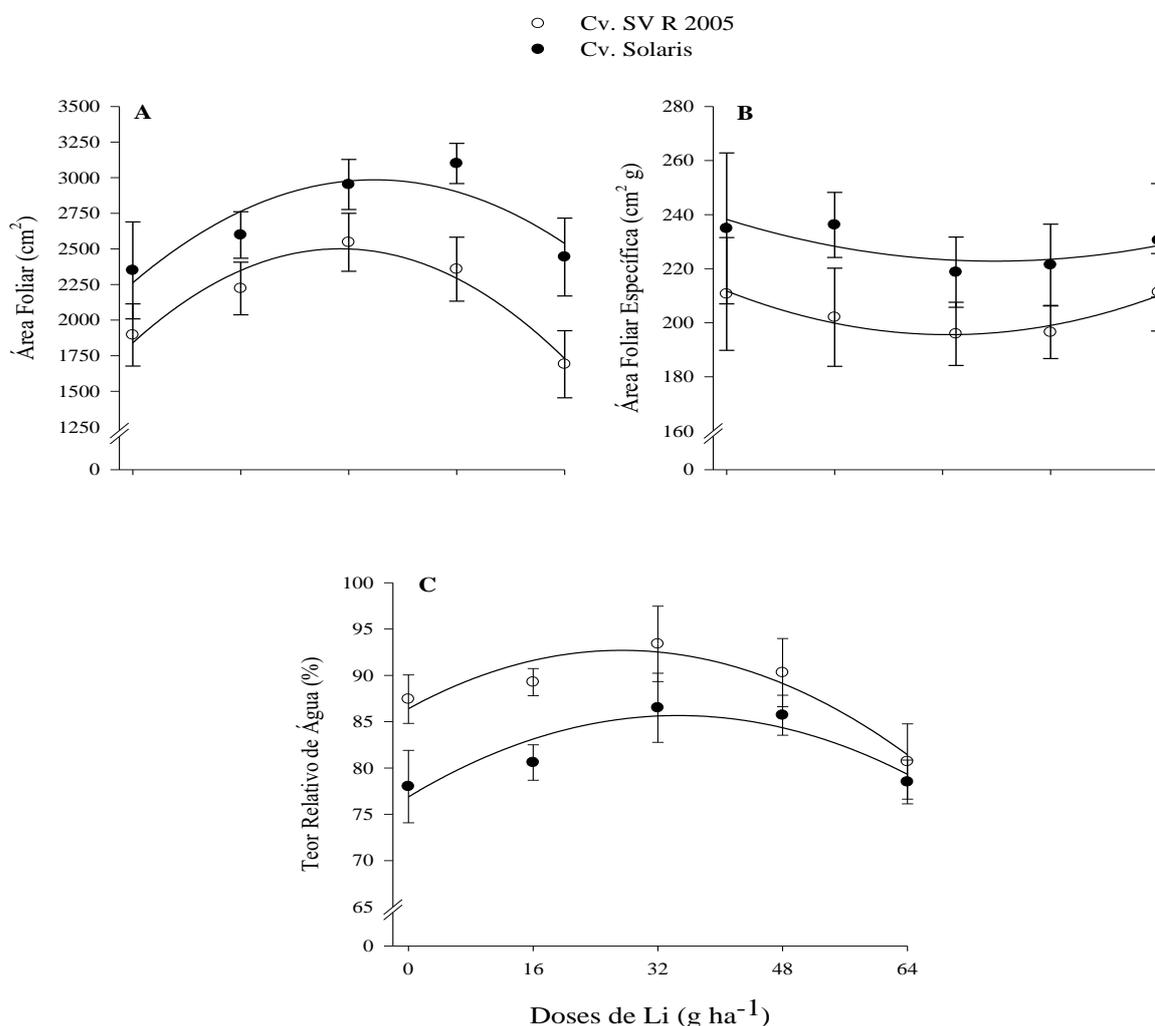
Doses de Li (g ha⁻¹)

A análise do teor de Li nas folhas de ambas as cultivares mostrou que a concentração deste elemento está diretamente correlacionada com o aumento das doses de Li aplicado via foliar (Figura 2 F). Para a cultivar SVR 2005 os teores de Li aumentaram até a aplicação de 51 g Li ha⁻¹ levando a um valor máximo de 72 mg Li kg⁻¹ MS⁻¹. Já para Solaris a dose de máxima eficiência foi de 39 g Li ha⁻¹, no qual proporcionou um teor máximo de 82 mg Li kg⁻¹ MS⁻¹. Desta forma, a aplicação de Li através da adubação foliar aumentou em cerca de 733% e 632% os teores deste elemento nas folhas das cultivares SVR 2005 e Solaris respectivamente, em comparação com os tratamentos sem aplicação de Li (5,76 e 8,86 mg Li kg⁻¹ MS⁻¹). Observa-se também que a Solaris mostrou ser capaz de absorver grandes quantidades de Li mesmo em condições naturais, via solo (tratamento controle), no entanto, mostrou ser menos eficiente quando submetidas a doses elevadas de Li, prejudicando o aumento de Li nos tecidos foliares.

Quando ambas as cultivares de alface foram submetidas a 64 g Li ha⁻¹, dose máxima aplicada, ocorreu redução significativa em todas as características agrônômicas. Não foi observado manchas necróticas ou cloróticas nas folhas, independente do estágio de maturação das mesmas, mesmo na dose máxima aplicada.

O mesmo comportamento de resposta também foi constatado para as características: área foliar, área foliar específica e teor relativo de água para ambas as cultivares submetidas a aplicação de doses crescentes de Li (Figura 3 A, B e C). O aumento da área foliar ocorreu de forma positiva até 31 e 36 g Li ha⁻¹, incremento de 30 e 27% para as cultivares SVR 2005 e Solaris respectivamente em relação ao tratamento sem aplicação de Li (Figura 3 A). A maior resposta para a área foliar específica ocorreu com a aplicação de 33 e 39 g Li ha⁻¹, uma redução de 7 e 10% em relação ao tratamento controle (Figura 3 B). Já em relação ao teor relativo de água, as doses de maior eficiência foram 29 e 36 g Li ha⁻¹, com estas doses as cultivares SVR 2005 e Solaris obtiveram acréscimo pouco expressivo, 7 e 10% respectivamente em relação ao tratamento sem aplicação de Li (Figura 3 C), após este aumento ocorreu redução desta característica em doses mais elevadas de Li.

Figura 3 - Área foliar (A), área foliar específica (B) e teor relativo de água (C) das duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da aplicação foliar de sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018

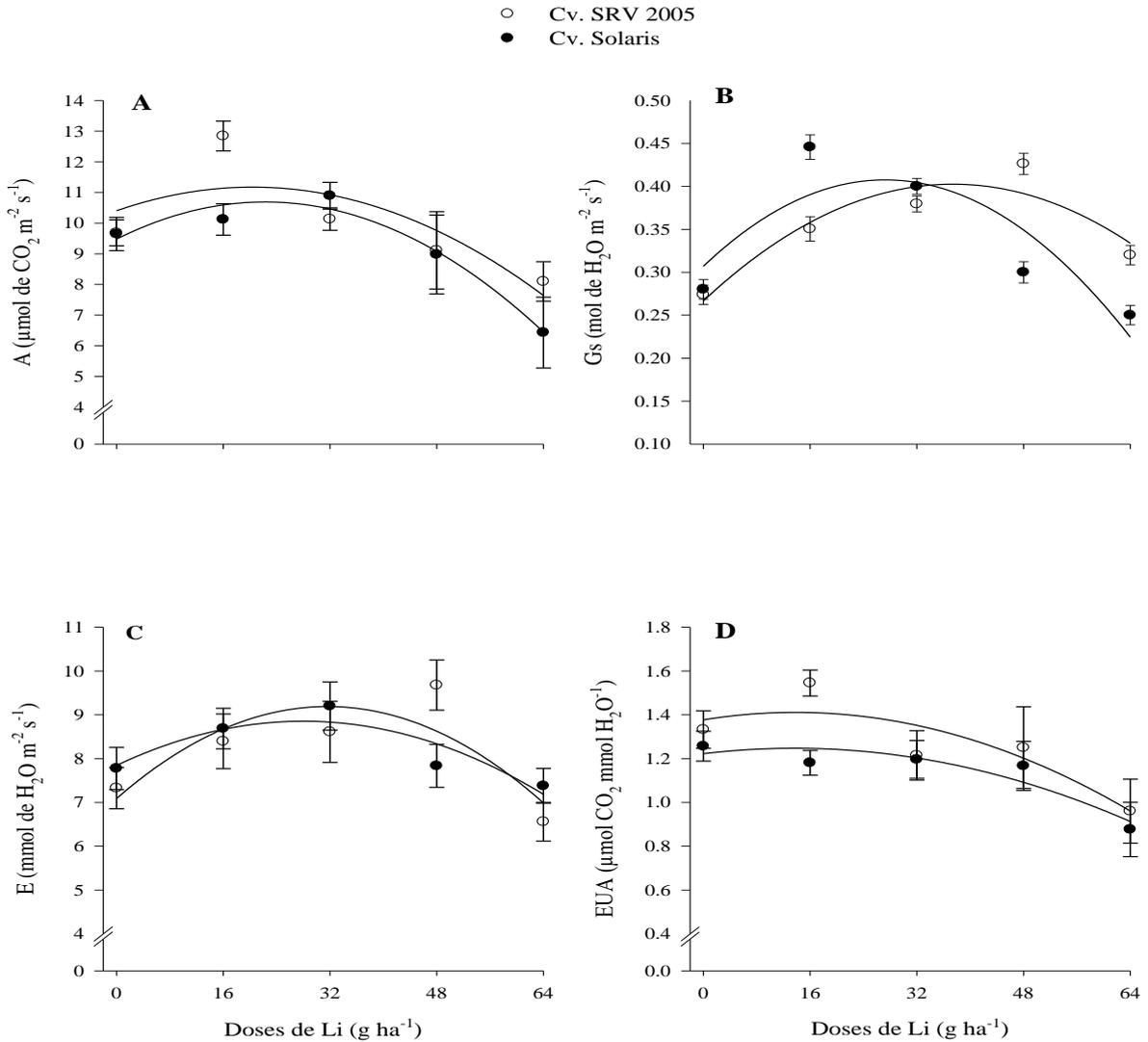


As características fisiológicas de ambas as cultivares de alface foram influenciadas significativamente quando as plantas foram expostas a diferentes doses de Li, vale ressaltar comportamento semelhante para estas características (Figura 3). No que se refere ao tratamento sem aplicação de Li, fisiologicamente as duas cultivares testadas tiveram praticamente os mesmos resultados, mostrando pouca variação entre eles.

A A das cultivares SVR 2005 e Solaris aumentou 10 e 16% quando ambas foram submetidas a 20 e 23 g Li ha⁻¹ respectivamente em relação ao tratamento sem aplicação de Li (Figura 4 A). Resultado semelhante também foi observado para *gs*, em que as doses de 41 e 37 g Li ha⁻¹ foram responsáveis na obtenção de 48 e 42% de aumento nesta característica (Figura 4 B). Em relação a *E*, contata-se que não houve diferença significativa entre as cultivares testadas, no entanto, a dose de maior eficiência para esta característica foi de 32 e 28 g Li ha⁻¹, um acréscimo de 26 e 15% (Figura 4 C) para a SVR 2005 e Solaris respectivamente, em relação

ao tratamento sem aplicação de Li. A *EUA* foi reduzida após a aplicação inicial de 16 g de Li ha^{-1} , sendo o menor valor relatado na dose de 64 g Li ha^{-1} para ambas as cultivares (Figura 4 D).

Figura 4 - Taxa assimilatória líquida de carbono (A), condutância estomática (B), transpiração (C) e eficiência no uso da água (D) das duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da aplicação foliar de sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha^{-1}). Gurupi - TO, 2018



Da mesma forma que as características agrônômicas, observa-se também que quando ambas as cultivares de alface foram submetidas a 64 g Li ha^{-1} , tiveram redução significativa em todas as características fisiológicas avaliadas. Esta redução, entretanto, ficou abaixo dos resultados provenientes dos tratamentos sem aplicação de Li, o que mostra grande interferência deste elemento na fisiologia das cultivares de alface.

Tabela 2 - Equação de regressão e coeficiente de determinação (R^2) referentes altura de planta (AP), número de folhas (NF), massa seca das folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade (PROD), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), teor relativo de água (TRA), teor de Li nas folhas (TLiF), fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração e eficiência do uso da água (EUA) de cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da adubação foliar de Sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018

Avaliações	Cultivar	Equação de Regressão	R ²
AP	SRV 2005	$Y = 14,0538^{**} + 0,1434^{*} - 0,0018^{*}x^2$	0,97
	Solaris	$Y = 16,3829^{**} + 0,0978x - 0,0011x^2$	0,91
NF	SRV 2005	$Y = 20,4414^{**} + 0,2298^{*}x - 0,0040^{*}x^2$	0,94
	Solaris	$Y = 21,9686^{**} + 0,1908x - 0,0029x^2$	0,83
MSF	SRV 2005	$Y = 8,6571^{**} + 0,2616^{*}x - 0,0042^{*}x^2$	0,94
	Solaris	$Y = 9,4371^{*} + 0,2191x - 0,0030x^2$	0,77
MSPA	SRV 2005	$Y = 9,6057^{**} + 0,1280^{*}x - 0,0018^{*}x^2$	0,97
	Solaris	$Y = 11,8543^{**} + 0,0982x - 0,0013x^2$	0,90
PROD	SRV 2005	$Y = 27,6486^{**} + 0,2777x - 0,0046x^2$	0,84
	Solaris	$Y = 30,4000^{**} + 0,2694x - 0,0045x^2$	0,80
TLiF	SRV 2005	$Y = 10,1256 + 2,4238^{**} - 0,0236^{*}x^2$	0,99
	Solaris	$Y = 13,1986 + 3,4701^{*}x - 0,0436^{*}x^2$	0,98
AF	SRV 2005	$Y = 1840,2241^{**} + 42,9463^{*}x - 0,6980^{*}x^2$	0,94
	Solaris	$Y = 2262,0800^{**} + 40,3625x - 0,5633x^2$	0,80
AFE	SRV 2005	$Y = 211,7499^{**} - 0,9823^{*}x + 0,0149^{*}x^2$	0,93
	Solaris	$Y = 238,2413^{**} - 0,7786x + 0,0098x^2$	0,59
TRA	SRV 2005	$Y = 86,4080^{**} + 0,4599x - 0,0084x^2$	0,89
	Solaris	$Y = 76,8829^{**} + 0,5078x - 0,0073x^2$	0,82
A	SRV 2005	$Y = 10,4046^{*} + 0,0757x - 0,0019x^2$	0,62
	Solaris	$Y = 9,4805^{**} + 0,1087x - 0,0024^{*}x^2$	0,96
Gs	SRV 2005	$Y = 0,2667^{*} + 0,0073x - 0,00009x^2$	0,85
	Solaris	$Y = 0,3070^{*} + 0,0074x - 0,0001x^2$	0,75
E	SRV 2005	$Y = 7,0885^{*} + 0,1328x - 0,0021x^2$	0,70
	Solaris	$Y = 7,8437^{**} + 0,0721x - 0,0013x^2$	0,80
EUA	SRV 2005	$Y = 1,3771^{**} + 0,0049x - 0,0002x^2$	0,76
	Solaris	$Y = 1,2225^{**} + 0,0036x - 0,0001x^2$	0,85

ANÁLISE

Embora vários estudos sobre o Li em plantas silvestres ou cultivadas tenha sido feitos nos últimos anos, estes estudos levavam em consideração apenas a aplicação deste elemento em solo, solução nutritiva ou em sistema hidropônico dentro de ambiente controlado (casa de vegetação ou laboratório) (MCSTAY et al., 1980; HAWRYLAK NOWAK et al., 2012; KALINOWSKA, et al., 2013; JIANG et al., 2014; FRANZARING et al., 2016; ROBINSON, et al., 2018), deste modo, este trabalho apresenta dados representativo na condição que se assemelha a produção comercial.

O Li não é considerado nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, mas se aplicado em pequena quantidade pode ter efeito estimulante no desenvolvimento das plantas (HAWRYLAK-NOWAK et al., 2012; FRANZARING et al., 2016). Resultado semelhante foi

constatado também neste trabalho, neste caso a aplicação de Li por meio da adubação foliar em doses variando de 28 a 45 g Li ha⁻¹ teve um efeito estimulante nas características agronomias, em especial a massa seca das folhas refletindo positivamente na produtividade final das cultivares SVR 2005 e Solaris (Figura 2 F), desta forma, este resultado mostra que ambas as cultivares são tolerantes a esta faixa de aplicação. Há relatos na literatura de efeito positivo deste elemento em diferentes culturas. Antonkiewicz et al. (2017) afirmou que a concentração em solução varia de 1 a 64 mg Li dm⁻³ teve um efeito estimulante na biomassa do milho (*Zea mays*) cultivadas em solução nutritiva. Em sua pesquisa Hawrylak-Nowak et al. (2012) concluiu que a concentração de 25 mg Li dm⁻³ aumentou a produção da biomassa de milho, resultado oposto foi encontrado para girassol.

Uma provável explicação, para este aumento nas características pode ser devido ao efeito hormonal provocando por elementos potencialmente tóxicos, assim como o elemento Li nas menores doses aplicadas (ALLENDER et al., 1997). Por outro lado, sabe-se ainda que este elemento tem afinidade por enzimas ativadas pelo Ca e/ou Mg podendo substituir ambos durante os processos metabólicos na planta, o que de certa forma pode interferir no desenvolvimento normal das plantas (SHAHZAD et al., 2016). Portanto, o efeito benéfico do Li no crescimento das plantas ainda é pouco conhecido e necessita de mais estudos.

O aumento nos teores de Li nas plantas está diretamente relacionado com a concentração aplicada e não em relação forma química utilizada deste elemento (HAWRYLAK-NOWAK et al., 2012). Neste trabalho a aplicação de doses crescentes de Li promoveu aumento nos teores de Li nas folhas de ambas as cultivares de alface, este aumento ocorreu de forma positiva até 59 e 36 g Li ha⁻¹, no qual, influenciou grandemente as concentrações deste elemento e demonstra que utilização da adubação foliar promoveu de forma positiva a biofortificação de Li nas cultivares de alface SVR 2005 e Solaris. É recomendável salientar que houve diferença dentro da mesma espécie em relação a capacidade máxima de absorção deste elemento, diferentemente da SVR 2005 a Solaris mostrou ser menos eficiente na acumulação de Li nas folhas em doses acima de 36 g Li ha⁻¹, está menor acumulação pode estar relacionada a diminuição da massa seca desta cultivar nesta mesma dose, intensificando ainda mais quando submetida a 64 g Li ha⁻¹. Jurkowska & Rogó  (1993) e Hawrylak-Nowak et al. (2012) explica que ao contrário das monocotiledôneas, as plantas dicotiledôneas mostram ser capazes de absorver grande quantidade de Li e conseqüentemente aumentar o teor deste elemento nos tecidos foliares, e acredita-se que entre as plantas dicotiledôneas, a alface pode conter níveis relativamente altos deste metal (KALINOWSKA, et al., 2013).

No Brasil o consumo *per capita* de folhas frescas de alface e de $3,6 \text{ g dia}^{-1}$ (IBGE, 2011), que a alface apresenta 4% de matéria seca (FAQUIM & ANDRADE, 2004) e que a recomendação de ingestão de Li em adultos é de no mínimo $1,0 \text{ mg dia}^{-1}$ (SCHRAUZER, 2002; SHAHZAD et al., 2016), verificou-se que o teor encontrado de Li nas folhas, quando se aplicou o Li na dose média de 37 g ha^{-1} , a qual não comprometeu a produção, atendeu em média 1,2% para as cultivares SVR 2005 e Solaris, o que representa um acréscimo de 900% em relação ao consumo de ambas as cultivares de alface sem a aplicação de Li (Testemunha). A ocorrência de chuva inesperada durante a condução deste experimento em campo (Figura 1) pode também ter reduzido a absorção de Li pelas plantas e por isso a contribuição de ambas as cultivares no final do experimento foi pequena (1,2%). Entretanto, sugere-se, a partir deste estudo incrementar as pesquisas sobre como biofortificar diferentes culturas com Li, a fim de aumentar a ingestão de Li na população brasileira.

De acordo com Weraduwege et al. (2015) o aumento da área foliar determina a capacidade de uma planta na interceptação da luz solar refletindo no aumento da produtividade da planta, frequentemente usado como um substituto para o crescimento de plantas. Desta forma, observa-se que o aumento da área foliar de ambas as cultivares quando submetidas a aplicação de Li (Figura 3 A) promoveu maior interceptação luminosa refletindo diretamente no aumento da fotossíntese (Figura 4 A) que conseqüentemente teve aumento expressivo no peso seco da parte aérea (Figura 1 D) e na produtividade final de ambas as cultivares de alface (Figura 2 E) corroborando com Weraduwege et al. (2015). McStay et al. (1980) concluíram que pequenas concentrações de Li (4 mg dm^{-3}) também estimularam o aumento área foliar e na massa seca do feijão. Da mesma forma, Hawrylak-Nowak et al. (2012) demonstrou que a aplicação de 25 mg dm^{-3} também favoreceu o aumento da área foliar das plantas de milho, este resultado não foi observado para o girassol.

Em relação a área foliar específica é recomendável frisar que o aumento desta característica indica diminuição da espessura da folha, diminuindo a densidade foliar ou a combinação de ambos (SCHEEPEN et al., 2010). Resultado semelhante foi encontrado neste trabalho (Figura 3 B) quando as plantas de alface (SVR 2005 e Solaris) foram submetidas a elevadas doses de Li. Entretanto, resultado oposto ocorreu nas menores doses deste elemento, dose de máxima eficiência, aonde as folhas das plantas nesta situação apresentavam maior espessura e maior densidade refletindo na produtividade final.

Adaptações fisiológicas permitem algumas espécies tolerar e resistir a condições iônicas adversas que são tóxicos para a maioria das outras plantas (JIANG et al., 2014). Da mesma forma que as características agrônômicas as características fisiológicas também foram

influenciadas positivamente com aplicação de Li entre 20 e 41 g Li ha⁻¹. Assim, o aumento na produtividade final pode ser atribuído principalmente aos efeitos positivos que este elemento teve no aumento da A e na gs, sabemos que a condutância estomática geralmente regula fotossíntese. O aumento da condutância estomática favorece a maior difusão de CO₂ através dos estômatos aumentando a atividade de todo o ma quinário fotossintético convertendo a energia da luz em energia bioquímica e o CO₂ em açúcares responsáveis no aumento da massa (FLEXAS et al. 2012). Resultado oposto foi encontrado por Jiang et al. (2014), estes autores tiveram redução expressiva na A e gs em plantas silvestres (*Apocynum venetum*) submetidas a aplicação de 400 mg Li dm⁻³ de solo.

O aumento na gs promove também o aumento na E das plantas refletindo na EUA (WEHR et al., 2017). Fato este também observado neste trabalho, observa-se que o aumento na transpiração das plantas pode explicar também o aumento no teor relativo de água (Figura 3 C) de ambas as cultivares de alface submetidas a adubação foliar de Li. Meng, (1987) explica que a transpiração não é apenas um processo apenas de perda de água para a atmosfera, também pode ser importante no aumento do teor relativo de água. Contata-se que a aplicação de Li proporcionou pouca influência no aumento da EUA de ambas as cultivares de alface. Entretanto, a exposição das plantas a altas doses de Li (64 g Li ha⁻¹) promoveu redução expressiva nesta característica, ou seja, as taxas fotossintéticas verificadas foram menores e a quantidade de água requerida pelas cultivares foi maior reduzindo a fixação de carbono e a produção de amido (LI et al., 2017).

A absorção de Li em altas concentrações, pode induzir uma série de alterações nas plantas, principalmente se este elemento for absorvido em altas quantidades (SHAHZAD et al., 2016). A dose máxima aplicada neste trabalho (64 g Li ha⁻¹), influenciou negativamente todas as características avaliadas, desde agrônômicas até fisiologias, independente da cultivar de alface, caracterizando uma condição tóxica para as plantas. No entanto, e recomendável destacar que nestas condições experimentais não ocorreu visualmente sinais de clorose, necroses ou escurecimento nas plantas.

A ocorrência visual de intoxicação e redução da massa seca também foi observada por diversos autores, dentre eles Antonkiewicz et al. (2017) em plantas de milho (*Zea mays*). Resultado semelhante foi descrito por Franzaring et al. (2016) e Hawrylak-Nowak et al. (2012) também em plantas de milho e girassol. Jiang et al. (2014) reforça também que houve redução expressiva nas características fisiológicas de *Apocynum venetum*. Nikinmaa et al. (2013) comenta que em condições de estresse, neste caso pela aplicação de elevadas doses de Li, a

fotossíntese decresce através de vários mecanismos, incluindo o fechamento dos estômatos e redução da condutância estomática.

Assim, supomos que a utilização da técnica de biofortificação agrônômica de alimento com Li, aliado a fertilização foliar, pode exercer efeito positivo e promissor no desenvolvimento, bem como na fisiologia das plantas, refletindo no aumento de produtividade independente da cultivar de alface (SVR 2005 e Solaris). Estas mesmas cultivares obtiveram grande capacidade de aumentar os teores de Li na parte aérea, mesmo nas menores doses aplicadas sedo um ótimo resultado para o programa de biofortificação. Dessa forma, sugere-se, a partir deste estudo, possa incrementar as pesquisas sobre como biofortificar diferentes culturas com Li, a fim de aumentar a ingestão de Li na população brasileira, a qual apresenta indicativo de baixo consumo desse elemento em humanos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1 – A aplicação foliar de sulfato de Li resultou em aumento nos teores de Li nas folhas de ambas as cultivares de alface resultando em sua biofortificação. A biofortificação ocorreu de forma positiva com a aplicação de 59 e 36 g Li ha⁻¹ para as cultivares SVR 2005 e Solaris.

2 – A aplicação foliar de Li na forma de sulfato promoveu resposta positiva nas características morfofisiológicas das cultivares de alface SVR 2005 e Solaris.

3 – As doses de Li que promoveram aumento positivo nas características morfofisiológicas foram em média 30 e 31 g Li ha⁻¹ para as cultivares SVR 2005 e Solaris.

4 – A cultivar Solaris mostou ser superior a SVR 2005 em todas as características avaliadas e também promoveu através da menor dose o maior acúmulo de Li nas nas folhas.

5 – A exposição das cultivares SVR 2005 e Solaris há elevadas doses de Li provocou efeito toxico reduzindo significativamente nas características agrônômicas e fisiológicas, sem mostrar visualmente sintomas de clorose ou necrose em ambas as cultivares de alface.

REFERÊNCIAS

ALLENDER, W. J.; CRESSWELL, G. C.; KALDOR, J.; KENNEDY, I. R. Effect of lithium and lanthanum on herbicide induced hormesis in hydroponically-grown cotton and corn. **Journal of Plant Nutrition**, v. 20, n. 1, p. 81-95, 1997.

ANTONKIEWICZ, J.; JASIEWICZ, C.; KONCEWICZ-BARAN, M.; BĄCZEK-KWINTA, R. Determination of lithium bioretention by maize under hydroponic conditions. **Archives of environmental protection**, v. 43, n. 4, p. 94-104, 2017. DOI 10.1515/aep-2017-0036

CHEN, J.; SHIYAB, S.; HAN, F. X.; MONTS, D. L.; WAGGONER, A. W.; SU, Z. Y. Bioaccumulation and physiological effects of mercury in *Pteris vittata* and *Nephrolepis exaltata*. **Ecotoxicology**, v.18, p.110–121. 2009. DOI: 10.1007/s10646-008-0264-3.

DÍAZ-GÓMEZ, J.; TWYMAN, R. M.; CHANGFU, Z.; FARRÉ, G.; SERRANO, J. C. E.; OTIN, M. P. Biofortification of crops with nutrients: factors affecting utilization and storage. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 44, p. 115-123, 2017. DOI: 10.1016/j.copbio.2016.12.002.

EMBRAPA. Centro nacional de pesquisa em solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

EL-AAL, F. S. A.; SHAHEEN, A. M.; AHMED, A. A.; MAHMOUD, A. R. Effect of foliar application of urea and amino acids mixtures as antioxidants on growth, yield and characteristics of squash. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v.6, p.583-588, 2010.

FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T. **Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional de hortaliças**. Lavras, UFLA/FAEPE, 2004. 88p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001.

FLEXAS, J.; BARBOUR, M. M., BRENDEL, O.; CABRERA, H. M.; CARRIQUÍ, M.; ESPEJO, A. D. Mesophyll diffusion conductance to CO₂: An unappreciated central player in photosynthesis. **Plant Science**, v.193, p.70–84, 2012. DOI: 10.1016/j.plantsci.2012.05.009.

FORLENZA, O. V.; DINIZ, B. S.; RADANOVIC, M.; SANTOS, F. S.; TALIB, L. L.; GATTAZ, W. F. Disease-modifying properties of long-term lithium treatment for amnesic mild cognitive impairment: randomized controlled trial. **The British Journal of Psychiatry**, vol. 198, p.351-356, 2011. DOI: 10.1192/bjp.bp.110.080044.

FRANZARING, J.; SCHLOSSER, S.; DAMSOHN, W.; FANGMEIER, A. Regional differences in plant levels and investigations on the phytotoxicity of lithium. **Environmental pollution**, v. 216, p. 858–865, 2016. DOI:10.1016/j.envpol.2016.06.059.

GÓMEZ-GALERA, S.; ROJAS, E.; SUDHAKAR, D.; ZHU, C.; PELACHO, A. M.; CAPELL, T.; CHRISTOU P. Critical evaluation of strategies for mineral fortification of staple food crops. **Transgenic Research**, v.19, p. 165 – 180, 2010. DOI: 10.1007/s11248-009-9311-y.

HAWRYLAK-NOWAK, B.; KALINOWSKA, M.; SZYMAŃSKA, M. A study on selected physiological parameters of plants grown under lithium supplementation. **Biological trace element research**, v. 149, 3, p. 425–430, 2012. DOI:10.1007/s12011-012-9435-4.

HENRY, R. C.; ENGSTRÖM, K.; OLIN, S.; ALEXANDER, P.; ARNETH, A.; ROUNSEVELL, M. D. A. Food supply and bioenergy production within the global cropland planetary boundary. **PLoS ONE**, v.13, n.3, 2018. DOI: 10.1371/journal.pone.0194695.

HUERTA, S. A.; ALVIM, P. T. Índice de área foliar y su influencia en la capacidad fotosintética del café. **Cenicafé**, v. 13, n.2, 75-84, 1962.

IBGE - **Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil / IBGE**, Coordenação de Trabalho e Rendimento. - Rio de Janeiro. 2011.150 p

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa: Série Histórica - Dados Diários de 01/01/1988 a 31/12/2017 Estação: 86630 – GURUPI – TO**. 2018.

JIANG, L. I.; WANG, L. E. I.; MU, S. H. U.Y.; TIAN, C. *Apocynum venetum*: a newly found lithium accumulator. **Flora**, v. 209, p. 285-289, 2014. DOI: 10.1016/j.flora.2014.03.007.

JURKOWSKA H, ROGÓŻ A. Influence of high doses of Cu, Zn, Pb and Cd on lithium content in oat plants. **Polish Journal of Soil Science**. v.26, v.77–80, 1993.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A. B. **Trace elements from soil to human**. Springer-Verlag, Berlin, pp 87–93, 2007.

KALINOWSKA, M.; HAWRYLAK-NOWAK, B.; SZYMAŃSKA, B. The influence of two lithium forms on the growth, L-Ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce plants. **Biological trace element research**, v. 152, n. 2, p. 251–257, 2013. DOI: 10.1007/s12011-013-9606-y.

LI, D.; SHU, Z.; YE, X.; ZHU, J.; PAN, J.; WANG, W. et al. Cell wall pectin methylesterification and organic acids of root tips involve in aluminum tolerance in *Camellia sinensis*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.119, p.265–274, 2017. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.09.002

MALAVOLTA, E; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba : POTAFOS, 1997, 319p.

MARTINEZ, N. E.; SHARP, J. L.; JOHNSON, T. E.; KUHNE, W. W.; STAFFORD, C. T.; DUFF, M. C. Reflectance-Based Vegetation Index Assessment of Four Plant Species Exposed to Lithium Chloride. **Sensors**, v.18, p.2750, 2018. DOI: 10.3390/s18092750.

MCSTAY, N. G.; ROGERS, H. H.; ANDERSON, C. E. Effects of lithium on *Phaseolus vulgaris* L. *Science of the total environment*, v. 16, n. 2, p. 185–191, 1980. DOI: 10.1016/0048-9697(80)90023-6.

MENG, F. J. *The Basis of Plant Physiology Agricultural Press*, Beijing, China, p.53-55, 1987.

MLECZEK, M., SIWULSKI, A. RZYMSKI, S. BUDZYŃSKA, M. GASECKA, P. KALAC, P. NIEDZIELSKI. Cultivation of mushrooms for production of food biofortified with lithium. **European Food Research and Technology**, v.243, n.6, p.1097-1104, 2017. DOI: 10.1007/s00217-016-2823-9.

NIKINMAA, E.; HÖLTTÄ T.; HARI, P.; KOLARI, P.; MÄKELÄ, A.; SEVANTO, S. Assimilate transport in phloem sets conditions for leaf gas exchange. **Plant, Cell & Environment**, v.36, p.655–669, 2013. DOI: 10.1111/pce.12004.

ONU – Organização das nações unidas (United Nations Organization). **World Population Prospects 2017**. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/>>. Acessado em: 01 de Nov. 2018.

RAWAT, N.; NEELAM, K.; TIWARI, V. K.; DHALIWA, H. S. Biofortification of cereals to overcome hidden hunger **Plant Breed**, v.132, p. 437-445, 2013. DOI: 10.1111/pbr.12040.

REIS, J. A.; GERON, V. L. M. G.; BRONDANI, F. M. M.; FAGUNDES, D. S.; LIMA, R. R. O. L. Lítio: tratamento de primeira escolha no transtorno bipolar. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 6, n.1, p. 27-37, 2015. DOI: 10.31072/rcf.v6i1.292.

REHMAN, H. M.; COOPER, J. W.; LAM, H.; YANG, S. H. Legume biofortification is an underexploited strategy for combatting hidden hunger. **Plant Cell Environ**, p.2–19, 2018. DOI: 10.1111/pce.13368.

ROBINSON, B. H.; YALAMANHALI, R.; REISER, R.; DICKINSON, N. M. Lithium as an emerging environmental contaminant: mobility in the soil-plant system. **Chemosphere**, v. 197, p. 1–6, 2018. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.01.012.

SCHEEPENS, J. F.; FREI, E. S.; STÖCKLIN, J. Genotypic and environmental variation in specific leaf area in a widespread Alpine plant after transplantation to different altitudes. **Oecologia**, v.164, p.141–50, 2010. DOI: 10.1007/s00442-010-1650-0.

SCHRAUZER, G. N. Lithium: Occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 21, p. 14–21, 2002.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA (SEPLAN). Perfil socioeconômico dos municípios do estado do Tocantins. 2013. Disponível em: <http://www.seplan.to.gov.br/Portal/faces/index_2.xhtml>. Acesso em 19 out. 2018.

SHAHZAD, B.; TANVEER, M.; HASSAN, W.; SHAH, A. N.; ANJUM, S. A.; SARDAR ALAM CHEEMA, S. A.; ALI, I. Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities e a review. *Plant physiology and biochemistry*, v. 107, p. 104-115, 2016. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.05.034.

SPOSITO, G. *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York, 2016.

TOCANTINS. Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: Seplan, 6. ed. rev. atu. 2012.

VAN CAUWENBERGH, R.; HENDRIX, P.; ROBBERECHT, H.; DEELSTRA, H. Daily dietary lithium intake in Belgium using duplicate portion sampling. **Lebensm unters forsh A**, v. 208, p. 153-155, 1999. DOI: 10.1007/s002170050393.

WEI, Y.; SHOHAG, M.; WANG, Y.; LU, L.; WU, C.; et al. Effect of zinc sulfate fortification in germinated brown rice on seed zinc concentration, bioavailability and seed germination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, p.1871–1879, 2012. DOI: 10.1021/jf205025b.

WEHR, R.; COMMANE, R.; MUNGER, W. J.; MCMANUS, B. J.; NELSON, D. D.; ZAHNISER, M. S. Dynamics of canopy stomatal conductance, transpiration, and evaporation in a temperate deciduous forest, validated by carbonyl sulfide uptake. **Biogeosciences**, v.14, p.389–401, 2017. DOI: 10.5194/bg-14-389-2017.

WERADUWAGE, S. M.; CHEN, J.; ANOZIE, F. C.; MORALES, A.; WEISE, S. E.; SHARKEY, T. D. The relationship between leaf area growth and biomass accumulation in *Arabidopsis thaliana*. **Frontiers in Plant Science**, v.6, p.167, 2015. DOI: 10.3389/fpls.2015.00167.

WIETELMANN, U.; STEINBILD, M. Lithium and lithium compounds. **ULLMANN'S Encyclopedia of Industrial Chemistry**, p. 1-138, 2014. DOI: 10.1002/14356007.a15_393.pub2.

ZODAPE, S. T.; GUPTA, S. A.; BHANDARI, U. S.; RAWAT, D. R.; CHAUDHRY, K. ESWARAN J.; CHIKARA. Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), **Journal of Scientific & Industrial Research**, v.70, p.215-219, 2011.

ZUNG, S.; MICHELON, L.; CORDEIRO, Q. O uso do lítio no transtorno afetivo bipolar. Arquivos médicos dos Hospitais e da Faculdade de Ciências Médicas. Santa Casa São Paulo. v.55, n.1, 30-7. 2010.

CAPÍTULO 3

INTERAÇÃO DO ÍON Li^+ COM NUTRIENTES E SUA DISTRIBUIÇÃO EM PLANTAS DE ALFACE

RESUMO: O lítio (Li) é um metal alcalino e através de sua característica química possui interação com outros elementos chegando a substituí-los nos processos bioquímicos. Plantas submetidas a metais em altas quantidades exibem vários mecanismos de defesa e dentre elas podemos destacar a distribuição para outros tecidos. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da fertilização foliar com doses de Li nas características nutricionais, bem como avaliar a repartição e acumulação de Li em duas cultivares de alface. O experimento foi conduzido em canteiros de 14,5 m² preenchidos com Latossolo Amarelo distrófico de textura média. O delineamento experimental utilizado foi em bloco casualizados com quatro repetições e oito replicada por repetição. Os dez tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 5x2, sendo cinco doses de Li (0; 16; 32; 48 e 64 g ha⁻¹) e duas cultivares de alface do tipo crespa (SVR 2005 e Solaris). A fonte de Li utilizada foi o Sulfato de Lítio (10,8% de Li) e as aplicações consistiu na adubação foliar. Após secagem das plantas e realizado a digestão por via húmida foram determinados os teores de Ca, Mg, N, K, Mn, Zn, Fe e Li em toda a planta, bem como a análise de Li na parte superior e inferior de ambas as cultivares. As leituras foram realizadas em Espectrômetro de absorção atômica e fotômetro de chama Quimis. Doses crescentes de Li aplicado via foliar promoveu alterações nos teores de macro e microelementos em ambas as cultivares de alface. Na dose máxima aplicada de Li promoveu redução expressiva nos teores de Ca, K, Fe Mn e Zn para ambas as cultivares de alface. A aplicação de Li via foliar possibilitou maiores teores deste elemento na parte superior de ambas as plantas de alface. Programas de biofortificação com Li deve levar em conta a sua interação com outros elementos e com isso evitar possíveis casos de deficiências e redução na massa seca das culturas.

PALAVRAS CHAVES: Lítio, aplicação foliar, substituição de cátions, repartição de lítio

INTERACTION OF ION LI WITH NUTRIENTS AND ITS DISTRIBUTION IN LETTUCE PLANTS

ABSTRACT: Lithium is an alkali metal and through its chemical characteristic it has interaction with other elements, replacing them in the biochemical processes. Plants exposed to metals in high quantities exhibit various defense mechanisms and among them we can highlight the distribution to other tissues. The objective of this work was to evaluate the effect of foliar fertilization with Li doses on nutritional characteristics, as well as to evaluate the distribution of Li in two lettuce cultivars. The experiment was conducted in 14.5 m² beds filled with a Yellow Oxisol of medium texture. The experimental design was a randomized block with four repetitions and eight replicates per repetition. The ten treatments were arranged in a 5x2 factorial scheme, with five Li doses (0; 16; 32; 48 and 64 g ha⁻¹) and two crisp-type lettuce cultivars (SVR 2005 and Solaris). The source of Li was Lithium Sulphate (13.8% Li) and the applications consisted of foliar fertilization. After drying the plants and performing the wet digestion, the contents of Ca, Mg, N, K, Mn, Zn, Fe and Li were determined in the plant, as well as the Li analysis at the top and bottom of both as cultivars. The determinations were performed in Atomic Absorption Spectrometer and Quimis flame photometer. Increasing doses of Li applied via leaf promoted changes in the levels of macro and microelements in both lettuce cultivars. At the maximum applied dose of Li promoted a significant reduction in the contents of Ca, K, Fe Mn and Zn for both lettuce cultivars. The application of Li via foliar allowed higher levels of this element in the upper part of both lettuce plants. Li biofortification programs should take into account their interaction with other elements and with this to avoid possible cases of deficiencies and reduction in the dry mass of the crops.

KEY WORDS: Lithium, foliar application, cation substitution, lithium partitioning

INTRODUÇÃO

O lítio (Li) é um metal alcalino com número atômico 3 e massa atômica de 6,941, é o mais leve dos metais, com peso específico de $0,534 \text{ g cm}^{-3}$. O Li é membro do grupo 1 da tabela periódica e, portanto, tem uma valência de +1 (Li^+). Na crosta terrestre, encontra-se bastante distribuído, sendo-lhe atribuída uma percentagem da ordem de 0,006% (WIETELMANN & STEINBILD, 2014; MARTINEZ et al. 2018). Esse elemento é encontrado em minerais, tais como o espodumênio, a lepidolita, a petalita e a ambligonita, além de ser encontrado também em salmouras, reservatórios subterrâneos, água subterrânea e superficial e argila do tipo hectorita (MOHR et al., 2012; BRAGA; FRANCA, 2013).

Uma vez no ambiente, o Li é facilmente absorvido pelas plantas e transportado para a biomassa vegetal acima do solo mesmo não sendo considerado nutriente essencial para as plantas. No entanto, a relatos na literatura demonstrando que a aplicação de Li promove aumento na massa seca foliar e radicular, entretanto, esse efeito benéfico ainda não está claro (HAWRYLAK-NOWAK et al., 2012, KALINOWSKA et al., 2013, ANTONKIEWICZ et al., 2018).

Quando as plantas absorvem altas quantidades de Li ocorre uma série de alterações e inevitáveis modificações nos processos biológicos. Como efeito negativo podemos destacar a redução do crescimento das plantas, dos processos fisiológicos, crescimento radicular, produção de etileno, resultando na abscisão precoce das folhas, além da competição com macros e microelementos de grande importância para o completo desenvolvimento das plantas (JIANG et al., 2014; SHAHZAD et al., 2016).

O Li é transportado para a célula das plantas via difusão passiva e seu transporte ocorre de forma ativa usando bomba Na/ K (ATPase), substituindo o Na. Após absorvido o Li tem grande capacidade para substituir os cátions Na, K, Mg, Ca, Cu, Zn, Rb, Mn e Co em várias membranas e sítios de ligação enzimática devido ao seu raio menor e alta resistência polarizante (MARIA et al., 2015). É recomendável destacar que o Li pode inibir proteínas que contem Mg, em sua estrutura (DUFF et al., 2014). Como ainda não existe uma essencialidade comprovada sugere-se que o Li pode ter funções similares ao Mg ou Ca podendo substituir esses elementos durante os processos metabólicos nas plantas (SHAHZAD et al., 2016). Esse mesmo fato pode ser observado para o K, sabido que o Li pode substituí-lo em até 50% (SHAHZAD et al., 2016).

Plantas submetidas a metais em altas quantidades exibem vários mecanismos de defesa dentre elas a não absorção, acumulação na parede celular e acumulação em vacúolos que corresponde a um tipo de distribuição subcelular (LI et al., 2017). Para o Li não é diferente,

estudos mais recentes mostram que plantas submetidas a esse metal alcalino tende a armazenar altas quantidade deste elemento nos vácuos, seguido da parede celular e outras frações (QIAO et al., 2018). O vacúolo consiste em vários compostos orgânicos que podem se ligar ao íon de metal pesado reduzindo sua atividade (WANG et al., 2015).

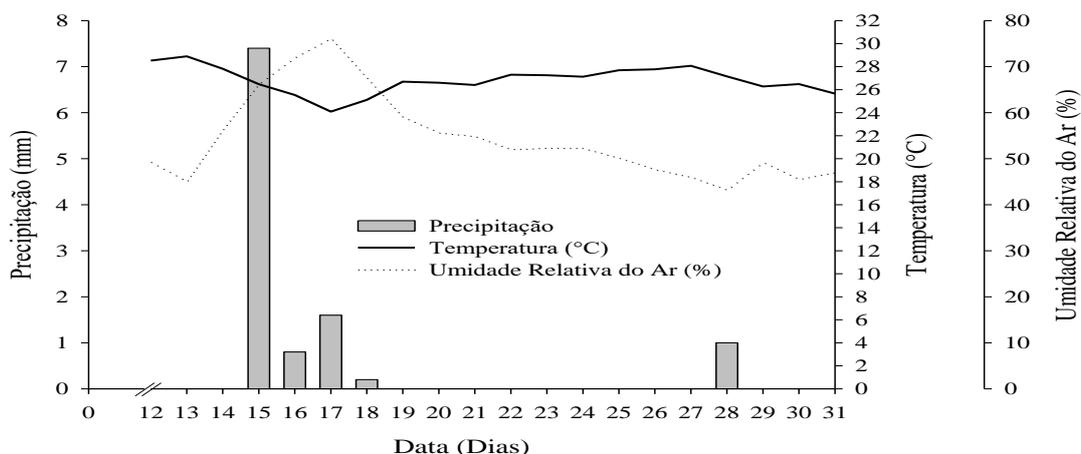
Estudos envolvendo a aplicação exógena e a determinação de Li em plantas silvestres ou cultivadas está sendo bastante estudado atualmente, pois sabemos que esse elemento para os humanos tem sua devida importância na prevenção de doenças envolvendo o sistema nervoso das pessoas (transtorno bipolar). A Biofortificação agrônômica de alimentos torna-se ideal para contornar esse problema, entretanto, em um programa de biofortificação com Li deve-se levar em conta não apenas a forma de aplicação, mas também ter a preocupação com a interação do Li com outros elementos essenciais para as pessoas e as plantas, bem como a sua distribuição na planta, não agravando ainda mais a deficiência ocasionada pela deficiência de outros elementos. Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da adubação foliar com Li nas características químicas e avaliar sua movimentação e acumulação em duas cultivares de alface.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no mês de agosto de 2018 no setor de Olericultura do Campus Universitário de Gurupi – CAUG, da Fundação Universidade Federal do Tocantins, localizada na latitude 11°43'45" S e longitude 49°04'07" O com altitude média de 287 m. Pela classificação climática de Thornthwaite, o município de Gurupi se encontra inserido na regionalização climática do tipo C2wA'á'', caracterizado por um clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada (TOCANTINS, 2012).

A temperatura média anual é de 29,5 °C, com precipitação média anual de 1.688 mm, caracterizada por um inverno seco e um verão chuvoso (INMET, 2018). Os solos predominantes no município são os Latossolos (SEPLAN, 2013). As condições climáticas do período de realização dos experimentos estão na Figura 1.

Figura 1 - Precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar registradas no mês de agosto de 2018, período de condução do experimento, Gurupi – TO (Fonte: INMET, 2018)



O delineamento experimental utilizado foi em bloco casualizados (DBC) com quatro repetições e oito replicada por repetição. Os dez tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 5x2, sendo cinco doses de Li (0; 16; 32; 48 e 64 g ha⁻¹) e duas cultivares de alface do tipo crespa (SVR 2005 e Solaris), ambas da empresa Seminis[®]. A fonte de Li utilizada foi o Sulfato de Lítio (10,8% de Li) por ter proporcionado bons resultados em trabalhos anteriores. A escolha das cultivares de alface como planta modelo foi devido a boa aceitação pela população da região, rápido ciclo de cultivo e manejo relativamente fácil.

O experimento foi conduzido em Latossolo Amarelo distrófico de textura média (EMBRAPA, 2013). As análises físicas e químicas do solo foi realizado conforme método descrito pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997), apresentaram os seguintes valores: teor de areia: 675 g kg⁻¹; silte: 50 g kg⁻¹; argila: 275 g kg⁻¹; pH em CaCl₂: 4,6; MOS: 17 g kg⁻¹; CO: 10 g kg⁻¹; P (Mehlich 1): 6,3 mg dm⁻³; K: 97,0 mg dm⁻³; Ca: 3,6 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,9 cmol_c dm⁻³; Al: 0,0 cmol_c dm⁻³ e H + Al: 3,10 cmol_c dm⁻³.

A determinação do teor natural de Li no solo não adubado foi realizada por extração em solução de Mehlich e a determinação por fotômetro de chama, segundo EMBRAPA (1997), apresentando o seguinte resultado: Li - 1,0 mg kg⁻¹. Já a determinação do teor de Li no estercó bovino foi realizada pelo processo de digestão por via úmida conforme Malavolta (1997), com H₂SO₄ e mistura catalítica, composta por sulfato de sódio anidro (Na₂SO₄) e sulfato de cobre pentahidratado (CuSO₄.5H₂O) e apresentou o seguinte resultado: Li – 40 mg kg⁻¹, ambas análises foram realizadas no laboratório de solos da UFT.

Com base na análise química do solo, foi efetuada a aplicação de 1,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (30% de CaO, 18% de MgO e PRNT = 97,55%) e 0,2 kg ha⁻¹ de gesso agrícola (26% de CaO e 26% de SO₄). Após 15 dias, com umidade próxima a 60% do volume total de

poros (VTP), foi efetuada a adubação básica de plantio com 80 mg de N, 175 mg de P, 24 mg de K e 15 mg de S (via gesso) por dm^{-3} de solo, utilizando as fontes: fosfato monoamônio (MAP) – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ e cloreto de potássio – KCl. A adubação básica com micronutrientes de 3 mg de Zn; 0,42 mg de Cu; 1,05 mg de Mn; 0,9 mg de B e 0,05 mg de Mo por dm^{-3} de solo foi fornecido na forma de FTE BR-12 (*Fritted Trace Elements*). Além da adubação química efetuou-se a aplicação de 2,0 kg m^{-2} de esterco bovino curtido, totalizando 20 Mt ha^{-1} . Além da adubação de plantio ocorreu três adubações de cobertura com N e K na dose de 80 e 55 mg dm^{-3} , distribuídas aos 13 (20% da dose), 20 (30% da dose) e 27 (50% da dose) DAT. Utilizou-se como fonte a uréia e o cloreto de potássio.

A formação das mudas foi realizada em casa de vegetação utilizando bandejas de poliestireno expandido (Isopor[®]). As plântulas foram submetidas à irrigação manual com início logo após a semeadura, sendo realizadas duas aplicações diárias. O transplante das mudas de alface para as parcelas experimentais ocorreu quando as mesmas possuíam quatro a seis folhas bem formadas.

O local definitivo foi constituído por quatro canteiros com as dimensões de 1,0 x 14,5 x 0,20 m de largura, comprimento e profundidade respectivamente, com parcelas de 1,5 m de comprimento e 1,0 m de largura. Cada parcela experimental foi formada por 24 plantas, sendo considerado como parcela útil apenas oito plantas centrais. O espaçamento utilizado foi 0,25 cm entre plantas e 0,25 cm entre linhas totalizando 160 mil plantas por hectares. A irrigação das plantas ocorreu por meio do gotejamento, utilizando fita gotejadora com espaçamento entre gotejadores de 0,25 m com vazão de 2 litros por hora com turno de regra de 2 horas por dia, no período da manhã e no período da tarde.

As aplicações de sulfato de lítio foram realizadas por via foliar, sendo que as doses de foram subdivididas em duas aplicações, aos 15 dias após o transplante (DAT) foi aplicado 33% da dose e aos 22 DAT o restante composto por 66% da dose total calculada. As aplicações foram realizadas por meio de pulverizador manual, adotando um volume fixo de 05 ml de solução por planta, gastando-se 800 L de calda por hectare por aplicação. Para evitar a ocorrência de deriva, no momento da aplicação, foi instalada ao redor da parcela uma cortina plástica com 1.0 m de altura.

Durante o desenvolvimento da cultura o controle de pragas e doenças foi realizado com aplicações do Inseticida Evidence[®] 700 WG - grupo químico dos neonicotinoides (300 g ha^{-1} em calda de 800 L ha^{-1}) e Cercobin[®] 700 WP - grupo químico Benzimidazol (70 g para cada 100 L de calda). Durante a condução do experimento foram realizadas duas capinas manuais conforme necessidade da cultura.

A colheita foi realizada aos 35 DAT, quando as plantas apresentavam padrão comercial, sem indícios de florescimento e com máximo de desenvolvimento vegetativo. Foi dada especial atenção para a limpeza das folhas com água para retirar o excesso de Li mantido na superfície externa das folhas.

As características nutricionais, bem como a descrição das mesmas, serão apresentadas a seguir.

Após o processo de secagem separadamente das folhas e caules em estufa de circulação de ar forçado, as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey com peneira de 1,27 mm. Em seguida o material foi submetido a digestão por via úmida utilizando ácido sulfúrico e mistura catalítica, composta por sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4) e Sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) p.a. Nos estratos adquiridos foram determinados os teores de Ca, Mg, N, K, Mn, Zn, Fe e Li de acordo com a metodologia descrita por Malavolta (1997). Sendo, que os macronutrientes foram expressos em g kg^{-1} de massa seca e os micronutrientes em mg kg^{-1} de massa seca (MS).

Cabe ressaltar também que além da coleta das plantas em campo para a quantificação dos teores de Li nas folhas e caule, foi realizado também a coleta de novas plantas em cada parcela, sendo que estas foram divididas igualmente em duas partes superior e inferior aonde ocorreu a remoção das folhas que constituía cada parte (superior e inferior). O processo de secagem, trituração e digestão destas amostras seguiu os mesmos procedimentos das características químicas anteriores.

O teor de Li no caule de ambas as cultivares de alface não foi determinado neste trabalho por que em testes anteriores, dados não publicados, não foi constatado a presença deste elemento em caule de alface.

Os teores de Ca, Mg, Mn, Zn e Fe foram determinados em espectrômetro de absorção atômica modelo SHIMADZU AA-7000. Os teores N foi determinado pelo método de Kjeldahl através do destilador de N. A determinação de K e Li foi feita em fotômetro de chama Quimis, sendo utilizada solução padrão diluída a 10% (v/v) para efetuar a calibração do aparelho, conforme recomendação do fabricante (QUIMIS, nd). O digerido foi diluído na proporção de uma parte para cinco de água deionizada (5 ml + 25 ml) e transferido para um recipiente de 50 ml antes de efetuar a leitura.

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância utilizando-se o teste F, adotando-se 1 e 5% de probabilidade. Depois foram submetidos à análise de regressão, avaliando a significância dos betas e dos coeficientes de determinação utilizando o programa Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2011). Os gráficos das regressões foram plotados utilizando o

programa estatístico SigmaPlot versão 10[®]. Para os dados referentes a repartição de Li entre parte superior e inferior de ambas as cultivares de alface foi realizado teste de médias (Tukey) utilizando-se o teste t e adotando-se 1 e 5% de probabilidade.

RESULTADOS

O resumo da análise de variância com o quadrado médio, bem como os respectivos valores médios e coeficientes de variação para massa seca da parte aérea, teor foliar de Ca, Mg, K, N, Fe, Mn, Zn e Li e teor foliar de Li no terço superior e inferior de ambas as cultivares de alface esta demonstrada na Tabela 1. Observa-se que as fontes de variação cultivar e doses de Li tiveram grande influência em todas as características químicas avaliadas, exceto apenas para o teor foliar de Zn e N que teve efeito não significativo. Já para a interação entre estas fontes de variação testadas observa-se que apenas o teor foliar de Ca, N e Zn, além da massa seca da parte aérea não apresentou efeito significativo. Deste modo, para as características que apresentaram efeito significativo sobre as fontes doses e interação, uma resposta linear ou quadrática foi calculada (Figura 2, 3 e 4) fornecendo as equações de regressão e o coeficiente de determinação (R^2) (Tabela 2).

Contata-se que independente das doses de Li aplicada, bem como em relação ao tratamento sem aplicação de Li, a cultivar Solaris demonstrou ser estatisticamente superior nos resultados que corresponde a massa seca da parte aérea, teor foliar Mg, K, Fe, Mn e Li em relação a cultivar SVR 2005, mesmo quando submetida a maior dose de Li (64 g Li ha⁻¹) de acordo com a Tabela 1, Figuras 2 A e B, Figura 3 B e C e Figura 4 A e B.

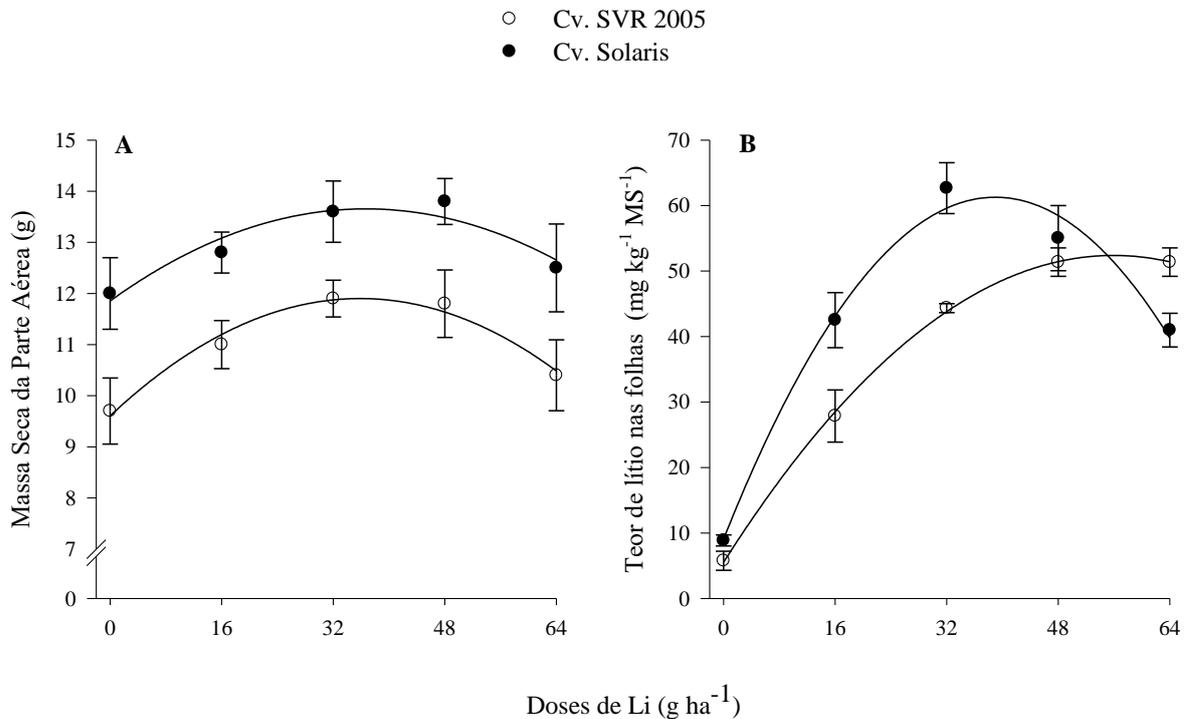
Tabela 1 - Resumo da análise de variância referentes a massa seca da parte aérea, teor foliar de Ca, Mg, K, N, Fe, Mn, Zn e Li de duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da adubação foliar de Sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018

Avaliações	Fonte de Variação					Média Geral	C.V. (%)
	Cultivar (C)	Doses (D)	Int. CxD	Bloco	Resíduos		
	Grau de Liberdade						
	1	4	4	3	27		
MSPA	4,25*	3,42**	1,82ns	0,62	0,90	11,09	8,59
LiF	234,06**	349,05**	86,65**	6,34	19,10	39,13	20,75
Ca	2,25ns	113,9**	6,89ns	5,66	4,34	9,37	15,3
Mg	22,35**	0,73**	0,54**	0,07	0,11	3,14	10,51
K	158,56**	31,06**	8,74*	7,62	3,52	51,44	3,65
N	47,41**	2,73ns	1,40ns	7,18	4,57	31,64	6,76
Fe	59,889**	8156,3**	1183,41*	828,40	1798	211,21	13,36
Mn	35377,5**	3805,1**	3077,92**	363,92	583,1	114,83	16,3
Zn	522,07ns	2983,3**	395,74ns	650,57	499,92	121,24	18,44

C.V.: Coeficiente de Variação. **: significativo ao nível 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *: significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns: não significativo ($p \geq 0,05$) pelo teste F.

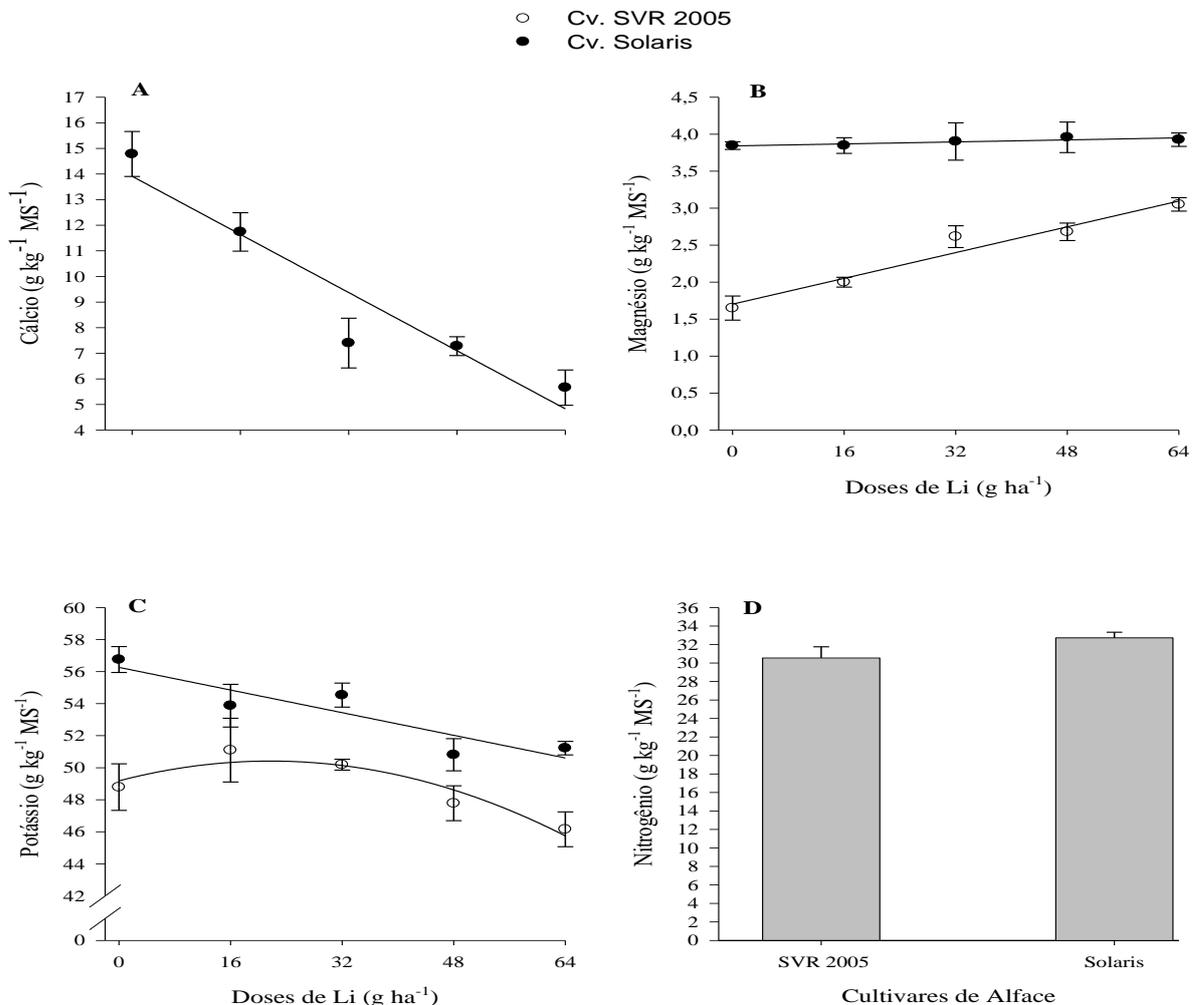
A massa seca da parte aérea de ambas as cultivares foi estimulada até a dose 36 e 38 g Li ha⁻¹, no qual proporcionou aumento de 22 e 15% para as cultivares SVR 2005 e Solaris, em relação ao tratamento sem aplicação de Li. Após a dose de máxima eficiência ocorreu redução nesta característica se intensificando quando submetidas a 64 g Li ha⁻¹ (Figura 2 A). Já o teor de Li nas folhas observa-se teor baixo deste elemento nas plantas sem aplicação de Li e que o teor deste elemento foi influenciado diretamente com o aumento das doses de Li aplicado via foliar, ou seja, o teor deste elemento aumentou linearmente até 56 e 39 g Li ha⁻¹ levando a um teor máximo de 52 e 61 mg Li kg⁻¹ MS⁻¹ para as cultivares SVR 2005 e Solaris respectivamente. Desta forma, a aplicação de Li através da fertilização foliar aumentou em cerca de 803% e 600% os teores deste elemento nas folhas, em comparação com os tratamentos sem aplicação de Li (5,76 e 8,86 mg Li kg⁻¹ MS⁻¹). Doses acima das consideradas de maior eficiência provocou redução no teor de lítio nas folhas, mas este por sua vez ainda foi maior que no tratamento sem aplicação de Li.

Figura 2 - Massa seca da parte aérea (A) e teor de lítio nas folhas (B) de duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da aplicação foliar de sulfato de Li (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupi-TO, 2018



Em relação ao teor de Ca nas folhas foi observado relação inversão as doses de Li aplicadas via foliar, ou seja, o teor de Ca foliar de ambas as cultivares testadas reduziu 15% conforme aumento de 16 g de Li, totalizando 61,5% de redução em relação ao tratamento sem aplicação de Li (Figura 3 A). Já o teor de Mg teve resposta linear positiva com o aumento das doses de Li, a SVR 2005 teve resposta mais expressiva em relação a Solaris, chegando a obter 3 g kg⁻¹ de MS⁻¹ quando submetida a 64 g Li ha⁻¹, aumento de 82% em relação ao tratamento sem aplicação de Li. O teor de Mg da Solaris se manteve estável, sem grande aumento quando submetidas a doses crescente de Li (Figura 3 B).

Figura 3 - Teor foliar de Ca (A), Mg (B), K (C) e N (D) de duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da aplicação foliar de sulfato de Li (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupitô, 2018

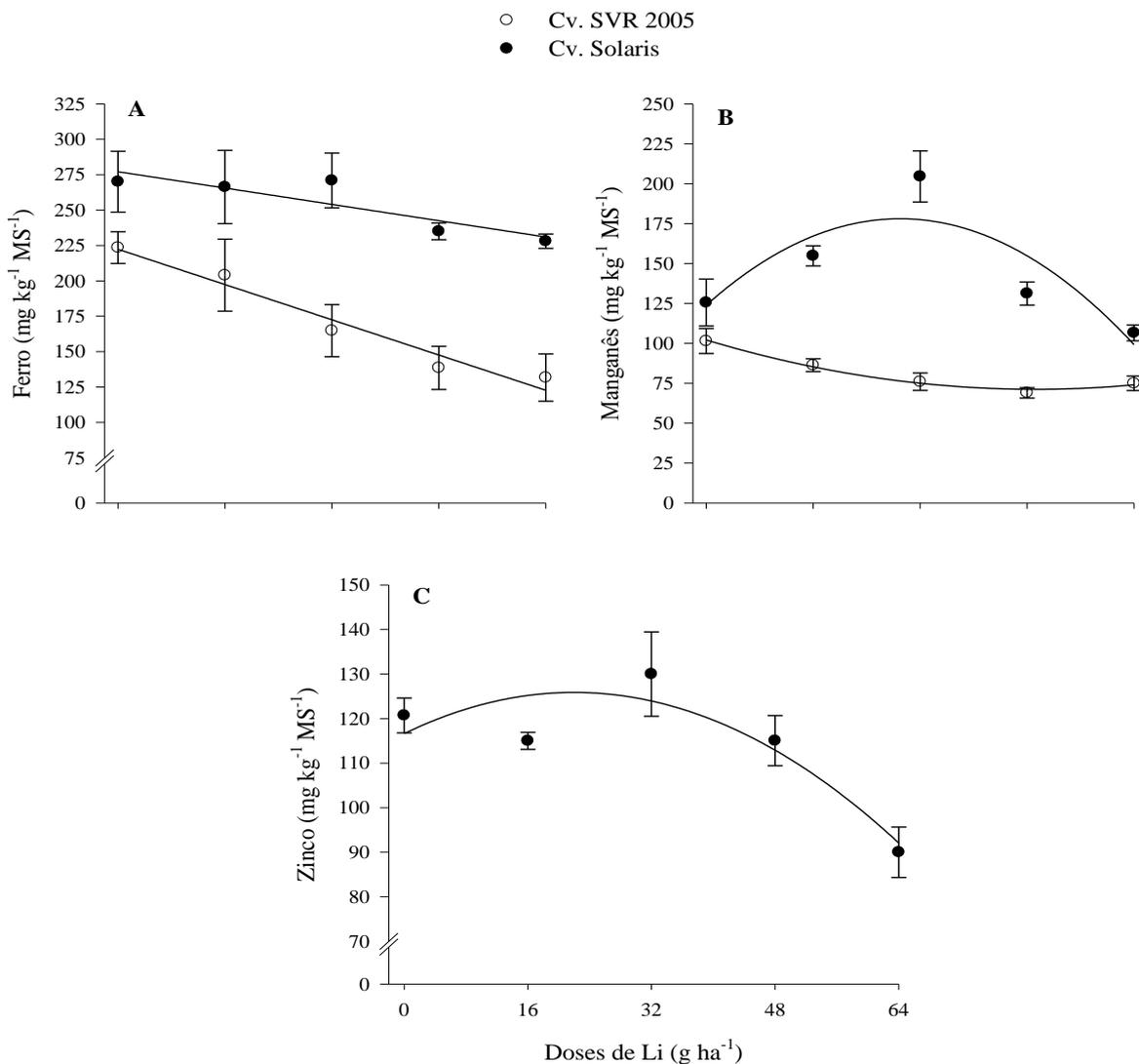


Para os teores de K observa-se resposta distintas em função da aplicação de doses de Li via foliar, para a SVR 2005 o teor foliar de K aumentou positivamente até 22 g Li ha⁻¹, mas este aumento não foi expressivo (apenas 3%), ao contrário do que aconteceu quando estas mesmas

plantas foram submetidas a 64 g Li ha⁻¹ chegando a reduzir em 10% o teor de K em relação a dose de maior eficiência. Resultado semelhante foi observado para a cultivar Solaris, a mesma teve seu teor de K foliar reduzindo em 11% quando submetida a 64 g Li ha⁻¹ em relação ao tratamento sem aplicação de Li (Figura 2 C). O teor de N não foi afetado pela aplicação de doses de Li, cabe ressaltar que dentre as cultivares de alface aquela que proporcionou os maiores valores foi a Solaris com 7% de superioridade em relação a SVR 2005 (Figura 3 D).

Para os micronutrientes constata-se também que a aplicação foliar de Li promoveu alterações significativas nos teores de Fe, Mn e Zn independente da cultivar de alface utilizada. As alterações nos valores foram mais expressivas quando as plantas foram expostas a dose máxima (64 g Li ha⁻¹).

Figura 4 - Teor foliar de Fe (A), Mn (B) e Zn (C) de duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da aplicação foliar de sulfato de Li (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹). Gurupitô, 2018



A cada 16 g Li ha⁻¹ aplicado via foliar reduziu em 10% o teor de Fe nas folhas da cultivar SVR 2005, chegando a 41% de redução na dose máxima aplicada correspondente a (64 g Li ha⁻¹). Resultado semelhante foi observado para a cultivar Solaris, entretanto, a redução do teor de Fe foi menor chegando a 4% de redução a cada 16 g Li ha⁻¹ aplicado, chegando a 15% de redução na dose máxima aplicada (Figura 4 A). O teor de Mn obteve respostas distintas entre as cultivares, enquanto que para a cultivar SVR 2005 ocorreu redução conforme o aumento das doses de Li, chegando a 26% de redução na dose máxima aplicada, a cultivar Solaris teve o teor de Mn foliar crescente até a dose de 29 g Li ha⁻¹ com posterior redução de 40% em relação a dose de maior eficiência (Figura 4 B). O aumento nos teores de Zn foliar ocorreu até 22 g Li ha⁻¹ e com esta dose ambas as cultivares de alface obteve 6% de acréscimo em relação ao tratamento sem aplicação de Li, quando estas plantas foram submetidas a 64 g ha⁻¹ a redução dos teores de Zn foi de 28% sendo sua redução mais expressiva do que o seu aumento na dose de maior eficiência (Figura 4 C).

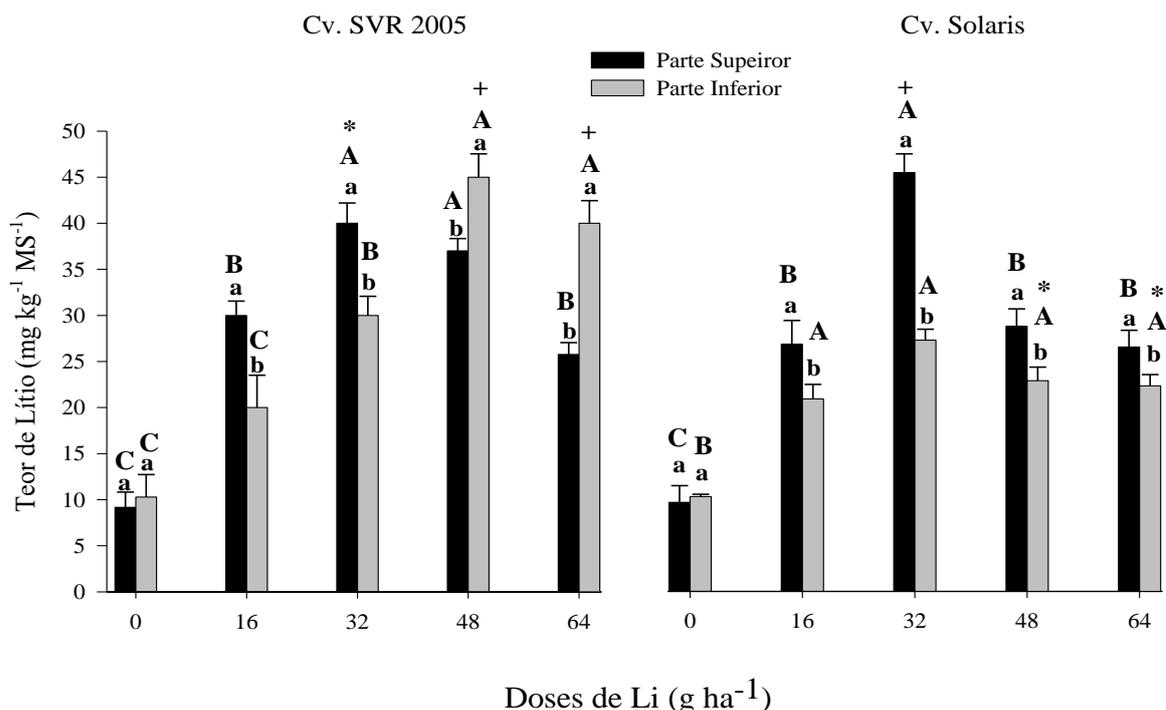
Tabela 2 - Equação de regressão e coeficiente de determinação (R²) referentes a massa seca da parte aérea, teor foliar de Ca, Mg, K, N, Fe, Mn, Zn e Li de duas cultivares de alface (SVR 2005 e Solaris) em função da adubação foliar de Sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹), Gurupitô, 2018

Avaliações	Cultivar	Equação de Regressão	R ²
MSPA	SRV 2005	Y= 9,6057**+0,1280*x-0,0018*x ²	0,97
	Solaris	Y= 11,8543**+0,0982x-0,0013x ²	0,90
Ca	SRV 2005	Y= 13,9120-0,1419x	0,90
	Solaris		
Mg	SRV 2005	Y= 1,7028**+0,0218**x	0,95
	Solaris	Y= 3,8411**+0,0017x	0,76
K	SRV 2005	Y=49,1820**+0,1135x-0,0026x ²	0,89
	Solaris	Y= 56,2634**-0,0883*x	0,82
Fe	SRV 2005	Y= 222,3380**-1,5570**	0,95
	Solaris	Y= 277,1213**-0,7209*x	0,76
Mn	SRV 2005	Y= 102,1565**-1,2553*x+0,0127x ²	0,98
	Solaris	Y= 123,9429**+3,7348x-0,0644x ²	0,73
Zn	SRV 2005	Y= 116,6217**+0,8420x-0,0191x ²	0,81
	Solaris		
LiF	SRV 2005	Y= 5,5291**+ 1,6751**-0,0150**x ²	0,99
	Solaris	Y= 9,0637+2,6791**-0,0344x ²	0,98

A repartição das folhas de ambas as cultivares de alface em terço superior e inferior (folhas novas e folhas maduras) possibilitou observar a movimentação/repartição do Li aplicado via foliar. Um certo padrão foi observado na movimentação do Li em cada cultivar para cada terço avaliadas. Com exceção do tratamento sem aplicação de Li, independente da cultivar, observa-se diferença significativa nos teores de Li determinados no terço superior e inferior

para ambas as cultivares de alface em função da aplicação de doses crescentes de Li. Para a cultivar SVR 2005 constata-se que o teor de Li no terço superior aumentou linearmente, chegando aos maiores valores nas doses de 32 e 48 g Li ha⁻¹, que não se diferenciaram estatisticamente. O terço inferior desta mesma cultivar apresentou o mesmo comportamento linear significativo nos teores de Li, os maiores valores foram obtidos quando as plantas foram submetidas a 48 e 64 g Li ha⁻¹, que não se diferenciaram estatisticamente, ressalta-se no terço inferior da cultivar SVR 2005 os teores de Li obtidos nas doses 48 e 64 g Li ha⁻¹ foram maiores que no terço superior. Em relação a cultivar Solaris a movimentação do Li entre os terços superiores e inferiores se mantiveram no mesmo padrão até a dose máxima aplicada (64 g Li ha⁻¹), terço superior com os maiores valores deste elemento. O aumento nos teores de Li no terço superior ocorreu de forma positiva até 32 g Li ha⁻¹, com posterior redução, já o terço inferior obteve aumento nos teores de Li até 16 g Li ha⁻¹ se mantendo estatisticamente iguais no restante das doses. Entre as cultivares analisadas constata-se que o teor de Li nas doses de 48 e 64 g Li ha⁻¹ no terço inferior foi maior para a SVR 2005, enquanto que apenas a dose de 32 g Li ha⁻¹ promoveu os maiores teores de Li no terço superior para a cultivar Solaris em relação a cultivar SVR 2005 (Figura 5).

Figura 5 - Repartição dos teores de Li na parte superior e inferior das cultivares de alface SVR 2005 (A) e Solaris (B) em função da aplicação foliar de sulfato de lítio (0; 16; 32; 48 e 64 g Li ha⁻¹).



Médias seguidas de mesma letra minúscula, comparando teores de Li no terço superior e inferior dentro de cada cultivar, e maiúscula, comparando os teores de Li para cada terço da planta em cada dose de Li, não diferem entre

si (Tukey, $p \leq 0,05$). Médias seguidas por símbolos diferentes (+ e *), comparando os teores de Li em cultivares (SVR 2005 e Solaris) dentro de cada dose de Li em cada terço superior e inferior, diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

ANÁLISE

Elevadas doses de Li promove uma série de alterações nas plantas, dentre elas a competição com macros e microelementos, de grande importância para o completo desenvolvimento das plantas, e desta forma a aplicação de Li em plantas merece a devida atenção (JIANG et al., 2014; SHAHZAD et al., 2016). O presente trabalho demonstrou que o aumento nas doses aplicadas de Li promoveu aumento nos teores de Li foliar (Figura 1 B) e consequentemente ocorreu alterações nos teores de Ca, Mg, K, N, Fe, Mn e Zn considerados essenciais para o crescimento das plantas. Não há na literatura trabalhos que mostrem incrementos de macro e/ou microelementos com o aumento nas doses de Li independente da fonte, meio de cultivo ou tipo de planta estudada. Entretanto, este trabalho mostra efeito positivo no aumento dos teores de Mg para ambas as cultivares, de K apenas para a SVR 2005 (Figura 2 B e C), de Mn apenas para a Solaris e aumento nos teores de Zn para ambas as cultivares (Figura 3 B e C). De acordo com os dados e recomendável frisar que a dose máxima aplicada de Li via foliar promoveu a substituição de 64% do teor de Ca para ambas as cultivares, 10% do teor de K para a cultivar Solaris, 42 e 16% do teor de Fe para as cultivares SVR 2005 e Solaris respectivamente, além de 25% do teor de Zn para ambas as cultivares de alface.

Os cátions Na, K, Mg, Ca, Cu, Zn, Rb, Mn e Co competem com o Li pelo mesmo sítio de ligação e em alguns casos estes cátions são substituído pelo Li, esta competição depende da dose de Li absorvido Maria et al., (2015). Dentre os cátions citados, alta concentração de Li pode substituir em até 50% os teores de K na planta (SHAHZAD et al., 2016). Entretanto, Hawrylak-Nowak et al. (2012) concluiu que a aplicação de até 50 mg Li dm^{-3} promove aumento nos teores de K foliar, contrariando os resultados encontrado neste trabalho, para os teores de K, os únicos incrementos observados neste trabalho com o aumento das doses de Li dependendo da cultivar ocorreu para os teores de Mg, K, Mn e Zn.

Com estes resultados observamos que após ser absorvido pelas plantas em um programa de biofortificação com Li, este elemento pode ter características competitiva com elementos essenciais o que pode levar a uma deficiência generalizada em plantas e consequentemente redução na massa seca da parte aérea (Figura 1 A). Desta forma, um manejo da fertilidade do solo eficiente e de suma importância, tais como a realização da calagem, gessagem, adubação com macro e micronutrientes no plantio e realizar também adubação foliar

complementar para evitar que o produto colhido esteja com teores ideais de Li e baixo teores de macro e microelementos como Ca, Mg, K, N, Fe, Mn e Zn, o que não é desejado.

As plantas exibem vários mecanismos de defesa quando expostas a metais considerados tóxicos (Li et al., 2017). Qiao et al. (2018) explicam que a capacidade específica de plantas para acumular diferentes quantidades de Li em diferentes partes parece desempenhar um papel importante na adaptação ao Li. Neste trabalho o Li foi aplicado via foliar em contato direto em folhas do terço superior e desta forma as plantas de alface possuíram os maiores teores deste elemento (Figura 1 B), conforme o aumento do teor de Li nas folhas as plantas teve a capacidade de distribuir o Li presente no terço superior para o terço inferior e desta forma obteve maior acumulação. A cultivar SVR 2005 chegou a distribuir grande parte do teor foliar de Li do terço superior para o terço inferior na dose máxima aplicada (64 g ha^{-1}), este fato demonstra maior adaptação desta cultivar em comparação a cultivar Solaris, mas esta adaptação não reduziu os efeitos tóxicos do elemento, pelo contrário, ocorreu a competição entre o Li com os elementos Ca, K, Fe, Mn e Zn (Figura 2 e 3) reduzindo seus teores na planta e conseqüentemente ocorreu a redução na massa seca da parte área de ambas as cultivares (Figura 1 A).

Resultado semelhante foi descrito por Antonkiewicz et al. (2017), estes autores estratificaram as plantas de milho em folhas (folhas (terço superior, médio e inferior), caule e inflorescência com o objetivo de avaliaram a movimentação do Li, aplicado via solução nutritiva, entre estas partes. Desta forma poderão concluir que independente da dose de Li aplicado as folhas do terço inferior continham os maiores teores de Li conforme aumentava as doses de Li. A inflorescência obteve os menores teores deste elemento, mostrando assim pequena movimentação deste elemento em grandes distancias. Kent (1941) sugere que o Li é armazenado nas folhas mais antigas são imóveis e não podem ser translocados para outros órgãos. Além disso, Zeller e Fuller (2000) descobriram que os íons de Li são quase imóveis nos tecidos do floema de plantas de trigo. Qiao et al. (2018) foi mais além e conseguiu mostrar em sua pesquisa que plantas submetidas a doses elevadas de Li tende a armazenar altas quantidade deste elemento nos vácuos, seguido da parede celular e outras frações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1 - Doses crescentes de Li aplicado via foliar promove alterações nos teores de macro e microelementos em ambas as cultivares de alface.

2 - Doses crescentes de Li promoveu redução expressiva nos teores Ca, K, Fe Mn e Zn para ambas as cultivares de alface. O teor de Mg obteve aumento expressivo em doses elevadas de Li.

3 – A aplicação de Li via foliar possibilitou maiores teores deste elemento na parte superior de ambas as plantas de alface.

4 – Em programas de biofortificação com Li deve-se levar em conta a sua interação com outros elementos e dessa forma um manejo de adubação correto e de suma importância em todo o ciclo das plantas.

REFERÊNCIAS

ANTONKIEWICZ, J.; JASIEWICZ, C.; KONCEWICZ-BARAN, M.; BĄCZEK-KWINTA, R. Determination of lithium bioretention by maize under hydroponic conditions. **Archives of environmental protection**, v. 43, n. 4, p. 94-104, 2017. DOI 10.1515/aep-2017-0036

BRAGA, P. F. A.; FRANCA, S. C. A. Lítio: Um mineral estratégico. **Série estudos e documentos**, 2013.

DUFF, M. C.; KUHNE, W. W.; HALVERSON, N. V.; CHANG, C. S.; KITAMURA, E.; HAWTHORN, L.; STIEVE-CALDWELL, E. mRNA Transcript abundance during plant growth and the influence of Li⁺ exposure. **Plant Science**, v. 229, p. 262-279, 2014. DOI: 10.1016/j.plantsci.2014.10.004.

EMBRAPA. Centro nacional de pesquisa em solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001.

HAWRYLAK-NOWAK, B.; KALINOWSKA, M.; SZYMAŃSKA, M. A study on selected physiological parameters of plants grown under lithium supplementation. **Biological trace element research**, v. 149, 3, p. 425–430, 2012. DOI:10.1007/s12011-012-9435-4

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**: Série Histórica - Dados Diários de 01/01/1988 a 31/12/2017 Estação: 86630 – GURUPI – TO. 2018.

JIANG, L. I.; WANG, L. E. I.; MU, S. H. U.Y.; TIAN, C. *Apocynum venetum*: a newly found lithium accumulator. **Flora**, v. 209, p. 285-289, 2014. DOI: 10.1016/j.flora.2014.03.007

KALINOWSKA, M.; HAWRYLAK-NOWAK, B.; SZYMAŃSKA, B. The influence of two lithium forms on the growth, L-Ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce

plants. **Biological trace element research**, v. 152, n. 2, p. 251–257, 2013. DOI: 10.1007/s12011-013-9606-y.

KENT, N. L. Absorption, translocation and ultimate fate of lithium in the wheat plant. **New Phytol**, v.40, n.4, p.291–298, 1941.

LI, D.; SHU, Z.; YE, X.; ZHU, J.; PAN, J.; WANG, W. et al. Cell wall pectin methylesterification and organic acids of root tips involve in aluminum tolerance in *Camellia sinensis*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.119, p.265–274, 2017. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.09.002

MALAVOLTA, E; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba : POTAFOS, 1997, 319p

MARIA, D.; ZANETA, K.; JADWIGA, M. Lithium content in the tea and herbal infusions. **European Food Research and Technology**, p.241:289–293, 2015. DOI: DOI 10.1007/s00217-015-2456-4.

MARTINEZ, N. E.; SHARP, J. L.; JOHNSON, T. E.; KUHNE, W. W.; STAFFORD, C. T.; DUFF, M. C. Reflectance-Based Vegetation Index Assessment of Four Plant Species Exposed to Lithium Chloride. **Sensors**, v.18, p.2750, 2018. DOI:10.3390/s18092750.

MOHR, S. H.; MUDD, G. M.; GIURCO, D. Lithium Resources and Production: Critical Assessment and Global Projections. **Minerals**, v. 2, p. 65-84, 2012. DOI: 10.3390/min2010065.

QIAO, L.; TANVEER, M.; WANG, L.; TIAN, C. Subcellular distribution and chemical forms of lithium in Li-accumulator *Apocynum venetum*. **Plant physiology and biochemistry**, v. 132, p. 341–344, 2018. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.09.022.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA (SEPLAN). Perfil socioeconômico dos municípios do estado do Tocantins. 2013. Disponível em: <http://www.seplan.to.gov.br/Portal/faces/index_2.xhtml>. Acesso em 19 out. 2018.

SHAHZAD, B.; TANVEER, M.; HASSAN, W.; SHAH, A. N.; ANJUM, S. A.; SARDAR ALAM CHEEMA, S. A.; ALI, I. Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities e a review. **Plant physiology and biochemistry**, v. 107, p. 104-115, 2016. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.05.034.

TOCANTINS. Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: Seplan, 6. ed. rev. atu. 2012.

WANG, Y.; SHEN, H.; XIE, Y.; GONG, Y.; XU, L.; LIU, L. Transport, ultrastructural localization, and distribution of chemical forms of lead in radish (*Raphanus sativus* L.). **Frontiers in Plant Science**. v.6, p. 1–13, 2015. DOI: 10.3389/fpls.2015.00293.

WIETELMANN, U.; STEINBILD, M. Lithium and lithium compounds. **ULLMANN'S Encyclopedia of Industrial Chemistry**, p. 1-138, 2014. DOI: 10.1002/14356007.a15_393.pub2.

ZELLER, S.; FULLER, U. Long-distance transport of alkali metals in maturing wheat. **Biologia Plantarum**, v.43, n.4, p.523–528, 2000.