

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CARLOS VINÍCIUS SANCHES

**DISPONIBILIDADE DE Ni EM UM LATOSSOLO VERMELHO
DISTRÓFICO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA
E CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DO
ALGODOEIRO.**

Ilha Solteira

2017



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



CARLOS VINÍCIUS SANCHES

**DISPONIBILIDADE DE Ni EM UM LATOSSOLO VERMELHO
DISTRÓFICO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA
E CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DO
ALGODOEIRO.**

Dissertação apresentada a Faculdade de
Engenharia, UNESP – Campus de Ilha
Solteira como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção

Prof. Dr. Enes Furlani Júnior
Orientador

Ilha Solteira

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S211d Sanches, Carlos Vinícius .
Disponibilidade de ni em um latossolo vermelho distrófico em função da aplicação de gesso agrícola e caracterização fisiológica e bioquímica do algodoeiro. / Carlos Vinícius Sanches. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
45 f.

Dissertação - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia .
Área de conhecimento: Sistemas de Produção , 2017

Orientador: Enes Furlani Junior
Inclui bibliografia

1. Gossypium hrsutum. 2. Sulfato de níquel. 3. Sulfato de cálcio. 4. Absorção.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Disponibilidade de níquel em um latossolo vermelho distrófico em função da aplicação de gesso agrícola e caracterização fisiológica e bioquímica do algodoeiro

AUTOR: CARLOS VINÍCIUS SANCHES
ORIENTADOR: ENES FURLANI JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ENES FURLANI JUNIOR
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. MARCO EUSTAQUIO DE SA
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. SAMUEL FERRARI
Agronomia / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - Unesp

Ilha Solteira, 18 de agosto de 2017

Dedico...

A minha mãe Maria de Fátima Sanches Pelaio (*in memoriam*) que em vida não poupou esforços para dar a oportunidade para seus filhos estudarem e hoje, mesmo de longe, tem seu sonho realizado.

Ofereço...

Ao meu pai Acácio Donizetti Sanches Domingues, meu irmão Paulo Victor Sanches, Silvana Fernandes e a Flavia Sganzella Rodrigues que sempre estão ao meu lado e me dão todo o apoio e base necessária.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus por permitir cada passo, cada momento e cada linha escrita e por todas as bênçãos na minha vida.

A meu grande amigo e parceiro de trabalho e caminhada acadêmica Jailson Vieira Aguilár por toda amizade dedicada, conversas, momentos de descontração e toda a ajuda no desenvolvimento do experimento e dessa dissertação, sua contribuição foi essencial para realização desse trabalho.

Ao Professor Dr. Enes Furlani Junior por esses sete anos de acompanhamento, orientação, aconselhamento, paciência, insistência e amizade que me fizeram crescer pessoalmente e profissionalmente.

A toda minha família por todo apoio e união.

Aos irmãos da República ZR que formaram a minha família em Ilha Solteira.

Aos companheiros de trabalho Mirella dos Santos Pereira, Luiz Paulo Penna, Marcelo Bissoli, Amanda Paixão, Simone Silva Hiraki e todos os outros que participaram do desenvolvimento deste trabalho.

A cada amigo que fez parte da fase acadêmica e que se eternizaram em minha vida.

A Faculdade de Engenharia, campus de Ilha Solteira, por proporcionar excelentes condições de aprendizado e a todos os servidores que contribuíram diretamente ou indiretamente para a conclusão desse trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo suporte financeiro.

A Nutriplant, nas pessoas do Ricardo Pansa e Mário Luiz Croffi, que me deram uma grande oportunidade e acreditaram no meu trabalho e a todos os colegas de trabalho que se tornaram amigos na vida e companheiros de caminhada.

“Não cai, sequer, uma folha de uma árvore se não for a vontade de Deus”

RESUMO

O algodoeiro apresenta uma sensibilidade elevada nos sistemas de cultivo. A acidez do solo aliada a alta concentração de alumínio e a baixa disponibilidade de cálcio em profundidade podem limitar a produtividade sendo possível verificar distúrbios nutricionais. Nesse contexto, o níquel, nutriente essencial, componente da metaloenzima urease tem sua importância comprovada no metabolismo do nitrogênio e vem sendo estudado como alternativa para melhorar a qualidade do sistema de cultivo por meio da eficiência do uso do nitrogênio disponível. Outra vertente de estudos diz respeito a capacidade do níquel de agir como metal pesado sendo prejudicial para as culturas, dessa maneira faz-se necessário entender a dinâmica desse nutriente dentro dos sistemas de cultivo. Tendo em vista o exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos da aplicação de diferentes doses de níquel e gesso, e a interação entre os dois sobre o crescimento, produtividade e estado nutricional de plantas de algodoeiro em condições de campo. O experimento foi desenvolvido em dois anos, os tratamentos utilizados foram 0,0; 1,0; 2,0; 6,0; 12 e 16 kg ha⁻¹ de Ni e 0, 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ de gesso, aplicados via solo. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso em um fatorial 6x4 com 3 repetições. Para mensurar o efeito dos tratamentos, os parâmetros de crescimento (altura, diâmetro e número de ramos), estado nutricional (P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Ni), e produtividade (número de estruturas reprodutivas, produtividade de algodão em caroço, rendimento de fibra e massa de 20 capulhos), foram submetidos a análise de variância e regressão polinomial por meio do software de análise estatística Sisvar 5.1. Há variações na produtividade em função das condições climáticas, em déficit hídrico severo foi possível concluir que o aumento na dose de gesso pode reduzir a produtividade do algodoeiro linearmente, a aplicação de doses de níquel e gesso, nas condições apresentadas nesse experimento, não exercem influência no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. O fornecimento de gesso até 800 kg/ha interfere na absorção de Ni, verifica-se um antagonismo entre cálcio e níquel. O fornecimento de níquel via solo não interfere na absorção de nutrientes com exceção do cálcio. O cálcio exerce antagonismo em relação ao manganês. As doses de níquel não promoveram efeitos positivos ou negativos no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro.

Palavras Chave: *Gossypium hirsutum*. Sulfato de níquel. Sulfato de cálcio. Absorção.

ABSTRACT

The cotton plant has a high sensitivity in the cropping systems. The soil acidity allied to high aluminum concentration and low calcium availability in depth may limit the productivity and develop nutritional disorders. In this context, nickel, essential element, component of metalloenzyme urease, has its importance proven in the nitrogen metabolism. It has been studied as an alternative to improve the cropping system quality through an efficient use of the available nitrogen. Another strand of studies mentions about the nickel capacity to act as a heavy metal and being harmful to the crops, thereby making it necessary to understand this nutrient dynamic within the cropping systems. Based on the foregoing, the objective of this study was to verify the effects of the application of different nickel and gypsum doses, and the interaction between them on the growth, crop yield and nutritional status of cotton plants under field conditions. The experiment was conducted in two years, the treatments used were 0,0; 1,0; 2,0; 6,0; 12 and 16 kg ha⁻¹ of Ni and 0, 200, 400 and 800 kg ha⁻¹ of gypsum, applied via soil. A randomized complete block design was used in a 6x4 factorial scheme with 3 repetitions. In order to measure the treatment effects, the parameters of growth (high, diameter and number of branches), nutritional status (P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn and Ni), and crop yield (number of reproductive structures, seed cotton yield, fiber cotton yield and mass of 20 cotton bolls), were submitted to an analysis of variance and polynomial regression through a software of statistical analysis Sisvar 5.1. There are variations in the crop yield in function of the climate conditions; in severe water deficit, it was possible to conclude that the increase in gypsum doses can reduce cotton crop yield linearly. The application of doses of nickel and gypsum, under the conditions presented, do not influence the growth and development of the cotton plants. The supply of gypsum up to 800 kg ha⁻¹ interfere in the absorption of Ni, verifying an antagonism between calcium and nickel. The supply of nickel via soil do not interfere in the nutrients absorption with exception of calcium, which exerts antagonism over manganese. The doses of nickel did not promote positive or negatives effects in the growth and development of the cotton plants.

Keyword: *Gossypium hirsutum*. Nickel sulfate. Calcium sulfate. Absorption.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Temperatura (°C) e precipitação pluvial (mm) média mensal, no período de novembro a maio para o ano agrícola 2013/14. Selvíria-MS..... **23**
- Figura 2** - Temperatura (°C) e precipitação pluvial (mm) média mensal, no período de novembro a maio para o ano agrícola 2014/15. Selvíria-MS..... **23**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Características químicas iniciais do solo da área experimental nas profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m no ano agrícola 2013/14. Selvíria-MS, 2013.....	19
Tabela 2	- Características químicas iniciais do solo da área experimental nas profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m no ano agrícola 2014/15. Selvíria-MS, 2014.....	19
Tabela 3	- Valor de $p>F$, médias e testes de regressão para altura (cm), diâmetro (cm) e número de ramos de algodoeiro aos 50, 90 e 105 dias após a emergência em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2013/14.....	24
Tabela 4	- Valor de $p>F$, médias e testes de regressão para altura (cm), diâmetro (mm) e número de ramos de algodoeiro aos 50, 90 e 105 dias após a emergência em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2014/15.	26
Tabela 5	- Desdobramento da interação entre doses de níquel e gesso para altura aos 105 dias após a emergência na safra 2014/15.....	27
Tabela 6	- Valor de $p>F$, médias e testes de regressão para número de estruturas reprodutivas, produtividade (kg há ⁻¹ de algodão em caroço) e rendimento de fibra (%) em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2013/14.....	28
Tabela 7	- Valor de $p>F$, médias e testes de regressão para número de estruturas reprodutivas, produtividade (kg ha ⁻¹ de algodão em caroço) e rendimento de fibra (%) em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2014/15.....	29
Tabela 8	- Valor de $p>F$, médias e testes de regressão para teor de macronutrientes (g/kg de matéria seca) em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2013/14.....	30
Tabela 9	- Desdobramento da interação entre doses de níquel e gesso para teor de P na safra 2013/14.....	31
Tabela 10	- Desdobramento da interação entre doses de níquel e gesso para teor de Ca na safra 2013/14.....	32
Tabela 11	- Desdobramento da interação entre doses de níquel e gesso para teor de Mg na safra 2013/14.....	33
Tabela 12	- Valor de $p>F$, médias e testes de Regressão para teor de macronutrientes (g/kg de Matéria seca) em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2014/15.....	35
Tabela 13	- Desdobramento da interação entre doses de níquel e gesso para teor de Ca na safra 2014/15.....	36
Tabela 14	- Valor de $p>F$, médias e testes de regressão para teor de micronutrientes (mg/kg de Matéria seca) em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2013/14.....	37
Tabela 15	- Valor de $p>F$, médias e testes de Regressão para teor de micronutrientes (mg/kg de Matéria seca) em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2014/15.....	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	HIPÓTESE E OBJETIVO DO TRABALHO.....	13
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1	NÍQUEL.....	14
3.2	GESSAGEM EM ALGODOEIRO.....	17
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1	LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	19
4.2	CARACTERÍSTICAS DO SOLO.....	19
4.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	20
4.4	DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL E TRATOS CULTURAIS.....	20
4.4.1	Instalação do experimento.....	20
4.4.2	Aplicação das doses.....	20
4.4.3	Regulador de crescimento.....	21
4.5	VARIAVEIS ANALISADAS.....	21
4.5.1	Avaliações biométricas em campo.....	21
4.5.2	Determinação de macro e micronutrientes no tecido vegetal.....	21
4.5.3	Avaliações dos componentes da produção de plantas em campo.....	22
4.6	ANÁLISE DOS DADOS.....	22
5	DADOS CLIMÁTICOS.....	22
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
7	CONCLUSÕES.....	39
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro é uma cultura conhecida a milhares de anos, tem suas primeiras referências históricas há muitos séculos antes de Cristo em localidades diferentes, no Paquistão foram encontrados vestígios de tela e cordão de algodão com mais de 5000 anos, e também há vestígios na América, no norte do Peru com 4500 anos (PASSOS, 1977).

A fibra é produzida em mais de 60 países, em área superior a 34 milhões de hectares. Sua cadeia produtiva gera bilhões de dólares por ano e muitos empregos diretos e indiretos, o que comprovando a importância mundial dessa cultura. No cenário nacional a cultura desempenha papel de destaque também com 939,4 mil hectares cultivados na safra 2016/2017 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2017), o que leva o Brasil a ser o quinto maior produtor mundial. A Região Centro-Oeste se destaca como sendo a maior produtora de algodão do país, sendo o estado do Mato Grosso responsável por quase 67% da produção nacional de algodão em caroço (CONAB, 2017). A produção nacional de algodão em caroço foi de 3.715,2 mil toneladas e a produção de algodão em pluma foi de 1.484,7 mil toneladas na safra 2016/2017 (CONAB, 2017).

O desenvolvimento da cotonicultura na região Centro-Sul deu-se a partir do final da década de 60 a início de 70 com a modernização e implementação da mecanização. Na década de 80 esse crescimento passa a ser concentrado nas grandes empresas com a mecanização e avanços tecnológicos nas estruturas de produção, para isso o financiamento tornou-se um instrumento fundamental, o qual foi acessível para grandes e médios produtores. Os pequenos produtores e agricultores familiares tiveram dificuldades de acesso a esse crédito e conseqüentemente o seu acesso às tecnologias. A lavoura de algodão tem um custo relativamente elevada sendo este custo alavancado pelos insumos (sementes, fertilizantes e defensivos).

Algumas regiões agrícolas no Brasil apresentam grandes áreas de deficiência em micronutrientes, especialmente zinco e boro (ABREU et al., 2005), sendo que um elemento pouco estudado na adubação do algodoeiro é o Ni, que devido a algumas características e funções surge a possibilidade de utilização e aplicação de forma experimental para observações de seu comportamento e efeitos fisiológicos na planta.

O Ni é um elemento que gera dúvidas quanto a sua essencialidade, pois no passado costumava ser classificado como não essencial ou tóxico para as plantas. Entretanto, um trabalho com pecã (WOOD et al., 2004a; WOOD et al., 2004b) mostrou que o Ni satisfaz o critério indireto de essencialidade proposto por Arnon e Stout (1939). Preenche também o

critério direto por fazer parte da composição da metaloenzima urease (DIXON et al., 1975). Eskew et al. (1983, 1984) e Brown et al. (1987) colocaram-no na lista de micronutrientes.

A maioria dos solos de cerrado apresentam superfície acida coincidindo com a área de maior desenvolvimento de raízes das plantas cultivadas e essa é uma condição totalmente adversa para o cultivo do algodoeiro, planta bastante sensível à acidez do solo. Porém as limitações desses solos não se restringem as camadas superficiais, atingem as camadas mais profundas, onde a toxidez do alumínio e a baixa disponibilidade de cálcio são os principais fatores que impedem a maximização das produções, por limitar o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade. Dessa forma, práticas que visem à neutralização do alumínio tóxico e à elevação dos teores de cálcio são essenciais para o cultivo do algodoeiro em tais condições (SILVA et al., 1998).

2 HIPÓTESE E OBJETIVO DO TRABALHO

Considerando que o níquel é um elemento químico constituinte da urease e que desempenha um papel fundamental no processo de assimilação do nitrogênio e o íon sulfato presente no gesso tem a característica de arrastar cátions para camadas mais profundas, pode-se inferir que a utilização de doses crescentes de Ni, associada à utilização de gesso, possam afetar a absorção de níquel e assim afetar o crescimento e o desenvolvimento do algodoeiro. Tendo em vista o exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos da aplicação de doses de níquel e gesso, e a interação entre os dois sobre o crescimento, produtividade e estado nutricional do algodoeiro em condições de campo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 NÍQUEL

O Ni ocorre nos solos em várias formas: na solução do solo, trocável e não trocável, em minerais e associado à matéria orgânica (MALAVOLTA; MORAES, 2007). Rovers et al (1983) analisaram 38 amostras de solos do Estado de São Paulo e mostraram um teor do Ni solúvel em DTPA na faixa de menos de 0,5 até 1,4 mg kg⁻¹, valores considerados baixos. O teor total variou de menos de 10 até um máximo de 127 mg kg⁻¹.

O Ni faz parte da composição da urease (DIXON et al., 1975). A urease desdobra a uréia hidroliticamente em amônia (NH₃) e dióxido de carbono (CO₂). A deficiência de Ni impede a ação da urease o que leva ao acúmulo de uréia causando manchas necróticas nas folhas. Como consequência da deficiência, o metabolismo de ureídeos, aminoácidos e de ácidos orgânicos é perturbado (MALAVOLTA; MORAES, 2007). As manchas necróticas associadas a deficiência coincidem com o acúmulo de ureia, ácidos oxálico e lático.

Diversos autores citados por Malavolta e Moraes (2007) afirmaram que o níquel tem relação com a fixação simbiótica do N em leguminosas, já que aumenta a atividade da hidrogenase em bacterióides isolados dos nódulos, desse modo baixo nível de Ni nos solos agrícolas pode limitar a atividade da hidrogenase simbiótica de *Rhizobium leguminosarum*, os autores também encontraram níveis mais altos de Ni e Co em nódulos de algumas leguminosas que em raízes e parte aérea. Ainda afirmaram que pulverizações com sais de Ni são muito eficientes contra a infecção de ferrugens de cereais devido à sua toxidez para o patógeno e também devido a mudanças causadas na fisiologia do hospedeiro que levam à resistência.

Speir et al. (1999) observaram que a aplicação de sais metálicos, especialmente em altas concentrações, possui efeito significativo sobre acidificação do solo. Tezotto (2010) aplicou os metais zinco, níquel e cádmio na forma de sulfato em cafezal e observou aos 136 dias após o início da aplicação dos metais e aos 106 dias depois da calagem e da fertilização (300 kg ha⁻¹ N e K₂O), no tratamento controle (sem metais), aumento do pH, dos teores de Ca e Mg, da soma de bases e da saturação por bases, enquanto para a acidez potencial (H+Al) houve redução. Porém, nos tratamentos em que foram aplicados os metais, mesmo havendo sido feito a calagem, não observou aumento do pH comparativamente a área sem aplicação, após a correção aos 136 dias.

Carvalho et al. (2011) observaram que a aplicação de Ni em cafeeiro proporcionou maior porcentagem de frutos verdes, indicando um atraso na maturação dos frutos, o que leva

a maior perda de rendimento final comprometendo também o tipo de bebida. O Ni pode ser responsável por inibir a síntese de etileno em frutos, devido a substituição do Fe^{2+} da ACC oxidase e inativar a enzima com a formação de um complexo enzima-metal, (MCGARVEY; CHRISTOFFERSEN, 1992).

Aplicações de níquel no solo, em altas concentrações, reduziram o teor de Mn disponível (TEZOTTO, 2010). Apesar da aplicação do metal no solo proporcionar redução de alguns nutrientes, aos 136 dias os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn ficaram próximos as classes de teores médio e alto, conforme interpretação de resultados de análise de solo (RAIJ et al., 1997).

Já nas folhas Tezotto (2010) afirmou que os teores de Fe aumentaram com a aplicação de Ni no solo, contrariando o que foi observado por Mysliwa-Kurdziel, Prasad e Strzalka (2004) que relataram deficiência de Fe pela imobilização do micronutriente no sistema radicular devido a exposição ao Ni e também por atraso na absorção. Porém uma observação importante feita por Alloway (1995) diz que Ni pode disponibilizar o Fe, devido à similaridade dos seus raios iônicos, para a solução do solo aumentando o teor do nutriente prontamente disponível para absorção pelas plantas. Nas folhas diagnósticos de cafeeiro os teores de Fe encontrados ficaram acima da faixa adequada (TEZOTTO, 2010) de 50 – 200 mg Kg^{-1} (RAIJ et al., 1997). O teor de Mn nas folhas diagnoses foi reduzido com relação a plantas que não receberam aplicações de Ni. Com relação ao Zn o teor nas folhas diagnóstico e novas, no tratamento com Ni, ficaram abaixo do nível considerado adequados para o cafeeiro.

A aplicação de Ni em cafeeiro resultou teores de clorofila superiores a plantas sem tratamento (TEZOTO, 2010). Folhas com elevado teor de nitrogênio apresentam grande teor de clorofilas o que resulta em melhor capacidade fotossintética em relação às folhas deficientes em nitrogênio (EVANS, 1983). Assim, a fotossíntese líquida aumenta linearmente com os níveis de proteínas solúveis, com maior assimilação de dióxido de carbono por unidade de nitrogênio em folhas com teor adequado desse elemento (LAWLOR, 1994; LEA; MOROT-GAUDRY, 2001). A aplicação de doses de Ni promove um aumento no conteúdo foliar de proteínas solúveis, o que pode ser explicado pela participação deste metal na enzima urease (GERENDÁS; SALLELMACHER, 1997; 1999), a qual permite o uso da uréia externa ou gerada internamente, como fonte de nitrogênio (MOBLEY; ISLAND; HAUSINGER, 1995; ANDREWS; BLAKELEY; ZERNER, 1984).

Enquanto que, em mamíferos, a uréia é um forma de excreção de nitrogênio, e estes não sintetizam urease, em plantas, uma quantidade significativa de nitrogênio está na forma de

uréia (47% p/p em N), que somente é reciclada por ação da urease (SIRKO; BRODZIK, 2000; WITTE, 2011).

A uréia em plantas deriva primariamente da arginina, que é forma mais importante de transporte e armazenamento de N nos vegetais (POLACCO; HOLLAND, 1993). Foi proposto que a urease, em combinação com a arginase, teriam um papel na utilização das reservas proteicas das sementes durante a germinação. A uréia também pode ser gerada a partir do catabolismo de ureídeos como alantoína e ácido alantóico (TODD; POLACCO, 2004; MUNÕZ et al., 2006).

O aminoácido arginina proveniente da degradação de proteínas é convertido em ornitina e uréia pela enzima mitocondrial arginase; a uréia é transportada para o citoplasma, onde por ação da urease é convertida a dióxido de carbono e amônia, uma forma de nitrogênio facilmente aproveitável para síntese de outros compostos aminados (POLACCO; HOLLAND, 1993).

O Ni é um elemento móvel nas plantas e pode acumular nas sementes, devido à sua grande mobilidade no floema (TEZOTO, 2010). A aplicação foliar de ^{63}Ni em trigo teve grande mobilidade no floema, sendo transportado principalmente para as raízes e folhas jovens (RIESEN; FELLER, 2005).

Contraditoriamente, em cevada (BRUNE; DIETZ, 1995) e milho (BACCOUCH; CHAOU; EL-FERAJANI, 1998), o maior acúmulo de Ni se deu na raiz. Na mesma linha Cardoso et al. (2005) observaram que pouco do Ni absorvido pelas raízes de *Crotalaria juncea* foram translocados para a parte aérea. Tais resultados contraditórios indicam que a distribuição de Ni nas plantas varia entre as espécies.

Diferente de outros metais pesados, Ni é constituinte de enzima, a urease, e pequenas quantidades (0,01 a 5 $\mu\text{g/g}$ de peso seco) são essenciais para algumas espécies de plantas, no entanto em altas concentrações pode se tornar tóxico (SEREGIN; KOZHEVNIKOVA, 2006). Os sintomas de toxidez de Ni se apresentam como redução da área foliar que pode ser explicada pela tendência de apresentar folhas mais lanceoladas, em relação aos lançamentos foliares da planta sem os sintomas (MACEDO et al., 2011). Outro sintoma, encontrado em cevada, é a diminuição da capacidade de desenvolver sementes viáveis por impedir o crescimento do embrião, e se relatou várias anomalias no desenvolvimento do endosperma e diminuição da atividade da desidrogenase (SEREGIN; KOZHEVNIKOVA, 2006).

Wood et al (2006a) afirmaram que com uma ou duas aplicações de Ni nas folhas, na concentração de 10 a 100 mg L^{-1} (mais uréia e um surfactante), no caso da pecã, podem corrigir a deficiência e garantir o crescimento normal. Os tratamentos foram feitos durante a

fase inicial de expansão da copa ou logo depois da abertura das gemas. O Ni satisfaz o critério direto (DIXON et al., 1975) e indireto (BROWN; WELCH; CARY, 1987) de essencialidade, passando da categoria de tóxico para essencial. Porém, em altas concentrações é altamente tóxico para humanos, animais e plantas (POULIK, 1997). Nas plantas, os sintomas gerados pela toxicidade do Ni incluem clorose e necrose foliar, inibição do crescimento da parte aérea, redução da área foliar e radicular (SHAW; SAHU; MISHRA, 2004), redução das taxas de fotossíntese e respiração (SCHICKLER; CASPI, 1999), baixa germinação de sementes (RAO; SRESTY, 2000) e redução da produtividade (POULIK, 1997).

Em condições de estresse a planta pode acumular aminoácidos em concentrações elevadas, e dessa forma contribuir para uma maior habilidade da cultivar em tolerar o estresse pela exposição ao metal pesado. De fato, muitos aminoácidos são considerados antioxidantes não enzimáticos participando do metabolismo oxidativo da célula (TEZOTO, 2010). Um caso bastante conhecido é da prolina, aminoácido que pode estar envolvido no processo de retenção de água na célula, proteção e estabilização de macromoléculas e estruturas celulares (BOHNERT; JENSEN, 1996). Outro fator que contribui para a proteção contra o estresse oxidativo é a disponibilidade de nitrogênio (RAMALHO et al., 1998).

3.2 GESSAGEM EM ALGODOEIRO

A toxidez do alumínio e a baixa disponibilidade de cálcio são os principais fatores que impedem a maximização das produções de algodoeiro, por limitar o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade. Dessa forma, práticas que visem à neutralização do alumínio tóxico e à elevação dos teores de cálcio são essenciais para o cultivo do algodoeiro em tais condições (SILVA et al., 1998).

Farina; Channon (1988) observaram uma boa eficiência do sulfato de cálcio em promover a movimentação do cálcio e magnésio para as camadas subsuperficiais. Além da movimentação descendente de cálcio, a aplicação de gesso pode ocasionar lixiviação de potássio e magnésio nas formas de K_2SO_4 e $MgSO_4$ (PAVAN et al., 1984). Ao entrar em contato com o solo o gesso agrícola sofre dissolução conforme a seguinte equação: $2 CaSO_4 \cdot 2H_2O + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-} + CaSO_4^0 + 3 H_2O$ (DIAS, 1992; PITTA et al., 2002).

Uma vez na solução do solo, o íon Ca^{2+} pode reagir no complexo de troca do solo, deslocando Al^{3+} , K^+ , Mg^{2+} , para a solução do solo, que podem, por sua vez, reagir com o SO_4^{2-} formando $AlSO_4^+$ (que é menos tóxico para as plantas) e os pares iônicos neutros: $K_2SO_4^0$ e $MgSO_4^0$, além do $CaSO_4^0$. Os pares iônicos apresentam grande mobilidade ao longo do perfil, ocasionando uma descida de cátions para as camadas mais profundas do solo

(DIAS, 1992). A neutralização do alumínio trocável pela adição de gesso, pode ocorrer, de diversas formas: precipitação na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$, em face da liberação de OH^- para a solução proporcionada pela adsorção de sulfato; formação do complexo de AlSO_4^+ que é menos tóxico as plantas; formação de par iônico AlF^{2+} decorrente da presença de F^- no gesso agrícola; precipitação de minerais de sulfato de alumínio (Al), como alunita e basaluminita, por exemplo, decorrente do aumento da concentração de sulfato na solução (DIAS, 1992; PITTA et al., 2002).

Silva et al (1998) avaliando a movimentação de nutrientes no solo, bem como a produção de matéria seca do algodoeiro, quando da aplicação de diferentes relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ observou que aumento da relação $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ houve acentuada movimentação de cálcio e sulfato em profundidade e do ponto de vista agrônomo, a movimentação de magnésio foi bastante expressiva. A movimentação implica em redução nos teores de cálcio trocável nas primeiras camadas do perfil.

O expressivo aumento da quantidade de S- SO_4 até a camada de 30-40 cm, com o aumento da quantidade de CaSO_4 nos tratamentos, evidenciou a sua movimentação na condição de íon acompanhante do cálcio (SILVA et al., 1998).

Em experimentos de campo, Silva et al. (1997) estudaram o efeito de aplicações de calcário e de gesso. Analisando periodicamente o solo observaram que a ação do calcário sobre a acidez foi maior na camada superficial, enquanto o gesso aprofundou gradativamente sua ação até à camada de 40-60 cm, lixiviando bases e aumentando a porcentagem de saturação por bases em subsuperfície. Por incrementar a produtividade do algodoeiro e as concentrações foliares de S, Ca e mesmo de Mg, concluíram que a gessagem tenha promovido o aprofundamento de raízes das plantas, em especial quando associada à calagem em dose máxima.

Rampim (2008) avaliando a influência do uso de gesso nas características químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico sob sistema de plantio direto também observou aumento nos teores de Ca e S e redução nos teores de alumínio, além da lixiviação de K e Mg, aumentando a soma de bases e a saturação por bases (V%) em camadas mais profundas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O presente trabalho foi desenvolvido em dois anos agrícolas, 2013/14 e 2014/15, sendo instalado na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, FEIS/UNESP, localizada no município de Selvíria-MS, com coordenadas geográficas 20°22' de Latitude Sul e 51°22' de Longitude Oeste e com altitude média de 335m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Apresenta temperatura média anual de 24,5°C, precipitação média anual de 1.232 mm e umidade relativa média anual de 64,8% (HERNADEZ et al., 1995).

4.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO

O tipo de solo cultivado foi um LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, textura argilosa, A moderado alumínico, fortemente ácido (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA, 1999b). Com a devida antecedência foi realizada amostragem de solo para caracterização das propriedades químicas (Tabela 1 e 2) e determinação da necessidade de correção da acidez através da calagem, seguindo a metodologia de análise descrita por Raij e Quaggio (1987), Raij et al. (2001) e Embrapa (1999a).

Tabela 1- Características químicas iniciais do solo da área experimental nas profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m no ano agrícola 2013/14. Selvíria-MS, 2013.

Profundidade	P-resina (mg/dm ³)	M.O (g/dm ³)	pH (CaCl ₂)	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
M	(mmolc/dm ³)									
0 – 0,20	34	23	5,1	2,8	23	17	28	0	70,8	60
0,20 – 0,40	15	19	5,0	1,9	16	14	29	0	60,9	52

Fonte: Silva (2016).

Tabela 2- Características químicas iniciais do solo da área experimental nas profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m no ano agrícola 2014/15. Selvíria-MS, 2014.

Profundidade	P-resina (mg/dm ³)	M.O (g/dm ³)	pH (CaCl ₂)	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
M	(mmolc/dm ³)									
0 – 0,20	22	21	5,3	3,9	21	15	31	0	70,9	56
0,20 – 0,40	10	18	5,1	2,1	16	12	31	0	61,1	49

Fonte: Silva (2016).

4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Para realização da pesquisa, foram instalados dois ensaios empregando o delineamento experimental em blocos ao acaso (GOMES, 2000), num fatorial 6x4, com 24 tratamentos em 3 repetições, perfazendo um total de 72 parcelas.

Foram estudados tratamentos constituídos pela aplicação de seis doses de níquel e quatro doses de gesso. Os tratamentos envolvendo o uso do níquel apresentaram as seguintes

doses: 0,0 (testemunha); 1; 2; 6; 12 e 16 Kg ha⁻¹ de Ni; e as doses de gesso utilizadas foram: 0,0 (testemunha); 200; 400 e 800 Kg ha⁻¹ de gesso.

4.4 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL E TRATOS CULTURAIS

4.4.1 Instalação do experimento

O experimento foi conduzido em sistema convencional, e para tanto, foi necessário o preparo anterior da área de cultivo mediante a utilização de práticas convencionais de preparo do solo, não se aplicou calcário.

A instalação do experimento foi realizada no dia 30 de novembro de 2013 e 29 de novembro de 2014 para a safra 2013/14 e 2014/15 respectivamente, em áreas diferentes nos dois anos agrícolas. O cultivar de algodoeiro utilizado foi o FM 975WS[®] de ciclo longo com a tecnologia WideStrike[®], que confere à planta resistência ao ataque de mastigadores, principalmente as lagartas do algodoeiro. É uma planta de porte médio/alto e possui uma ótima qualidade de fibra, resistente à doença azul e à bacteriose (BAYER CROPSCIENCE, 2016).

Cada parcela experimental foi composta por quatro linhas de cultivo, com 0,90 m de espaçamento e cinco metros de comprimento, sendo a área útil constituída pelas duas linhas centrais da parcela. Utilizou-se densidade de plantio de 9 plantas por metro em todos os tratamentos, totalizando uma população de aproximadamente 100.000 plantas por hectare. A adubação de semeadura para os dois anos de experimento foram 300 kg/ha da fórmula 08-28-16 e a adubação de cobertura foram 70 kg de nitrogênio por hectare na fonte ureia, feito aos 45 dias após a emergência. Após a semeadura e a adubação de cobertura foram realizadas irrigações por aspersão para a emergência e estabelecimento da cultura, com um carretel enrolador autopropelido. Durante o ciclo o experimento contou com irrigação apenas de salvamento, nos momentos mais críticos de déficit hídrico.

4.4.2 Aplicação de doses

A aplicação de níquel e gesso foi realizada via solo no momento recomendado para a adubação de cobertura em única aplicação aos 45 dias após emergência (d.a.e). A aplicação de Ni foi realizada por meio da diluição de sulfato de Ni em 1 L de água e distribuição via solo em cada parcela, ao lado da linha da cultura. O produto utilizado como fonte de Ni foi o sulfato de níquel (NiSO₄.6H₂O), contendo 22% de Ni. A aplicação de gesso foi em cobertura sem incorporação no mesmo lugar onde foi aplicado o sulfato de níquel. O gesso tem fórmula

química $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ contendo cerca de 16–20% de cálcio (Ca) e 13–17% de enxofre (S) em sua composição

4.4.3 Regulador de crescimento.

O crescimento vegetativo do algodoeiro foi controlado por meio do emprego de regulador de crescimento, comercializado com a denominação de PIX HC[®], cujo princípio ativo é o de cloreto de mepiquat (250 g L^{-1}). O regulador foi aplicado de forma parcelada aos 40, 50, 60 e 70 DAE com pulverizador de barras tratorizado, na dosagem de 20, 40, 60 e 80 mL ha^{-1} em cada aplicação, respectivamente.

4.4.4 Controle fitossanitário.

Foi efetuado o controle de plantas daninhas das áreas experimentais por meio de manejo químico e por capinas manuais, na medida em que as mesmas emergiram. O controle de pragas teve caráter preventivo, evitando-se que elas ocasionassem danos à cultura.

4.5 VARIÁVEIS ANALISADAS

4.5.1 Avaliações biométricas em campo

As características agrônômicas foram avaliadas em cinco plantas escolhidas ao acaso dentro da área útil de cada parcela e marcadas para as avaliações. As variáveis analisadas referentes a crescimento, sendo avaliadas aos 50, 90 e 105 d.a.e., foram:

- **Altura de plantas:** realizada com auxílio de trena, sendo medido do colo até a última ramificação do meristema apical;
- **Diâmetro do caule:** realizado com auxílio de paquímetro, na altura de 2 cm em relação ao solo;
- **Número de ramos:** contagem do número de ramos secundários das mesmas plantas que foi realizada a avaliação de altura.

4.5.2 Determinação de macro e micronutrientes no tecido vegetal

Nos dois anos de condução do experimento foram coletadas 10 folhas por parcela, sendo a quinta folha do ápice para baixo completamente expandida, aos 70 d.a.e. e levadas para secar em estufa a 65°C com circulação de ar forçada para análise e determinação dos teores de macronutrientes e micronutrientes. A determinação dos macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn e Ni) foi feita através da digestão nítrico-

perclórica. O nitrogênio foi submetida à digestão sulfúrica, conforme metodologia descrita em Malavolta et al. (1997).

4.5.3 Avaliações dos componentes da produção de plantas em campo

Os componentes da produção avaliados ao final do ciclo da cultura (150 d.a.e.) foram:

- **Número de estruturas reprodutivas:** contagem dos capulhos das mesmas plantas selecionadas para avaliação de altura antes da colheita;
- **Massa de 20 capulhos:** colhidos aleatoriamente no terço médio das plantas e pesados com auxílio de balança digital, logo após a colheita;
- **Produtividade de algodão em caroço:** colheita das linhas centrais de forma manual, pesagem e estimativa para produtividade em kg ha^{-1} ;
- **Rendimento de fibra:** as amostras da massa de 20 capulhos foram submetidas a separação da fibra e semente; posteriormente, foi feita a pesagem de cada componente e realizado o cálculo do rendimento de fibra: $(\text{peso de fibra}/\text{peso fibra} + \text{semente}) * 100$;
- **Produtividade de fibra:** calculada da seguinte forma: $(\text{produtividade de algodão em caroço}) * (\% \text{ fibra}/100)$.

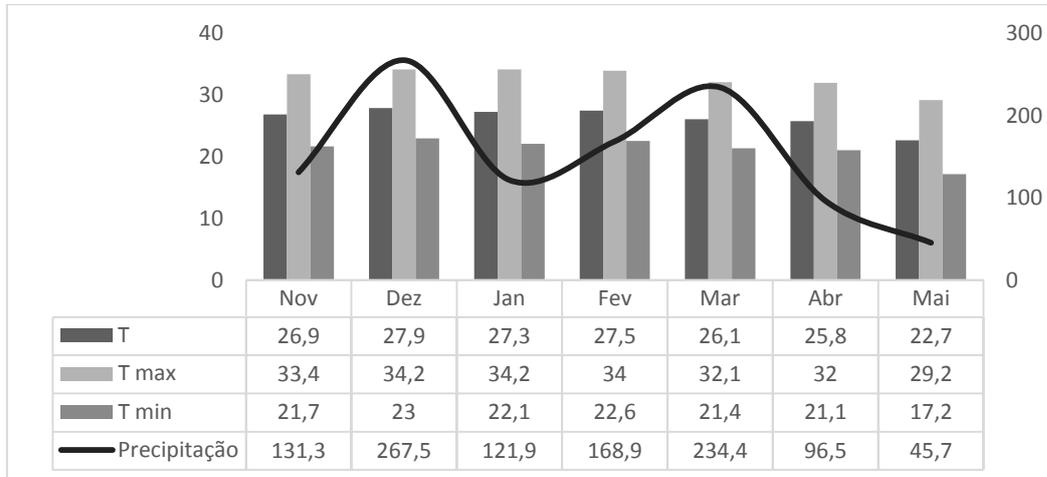
4.6 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância através do teste F ao nível de significância de 5%, utilizando a metodologia descrita por Gomes (2000). O software estatístico utilizado foi o SISVAR 5.1 (FERREIRA, 2000). Para os resultados significativos, foram aplicados modelos de regressão que melhor se ajustaram aos efeitos obtidos.

5 DADOS CLIMÁTICOS

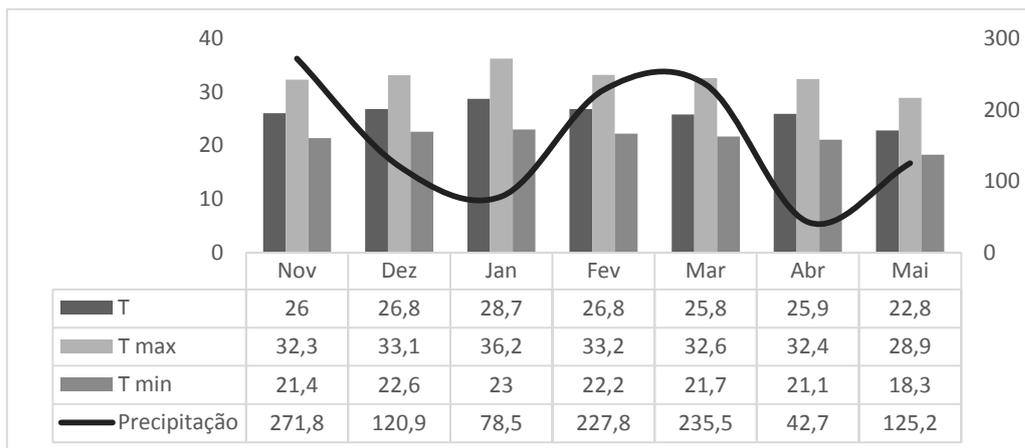
Na Figura 1 e 2 estão apresentados os dados climáticos obtidos para os meses em que o experimento foi desenvolvido.

Figura 1- Temperatura (°C) e precipitação pluvial (mm) média mensal, no período de novembro a maio para o ano agrícola 2013/14. Selvíria-MS.



Fonte: Próprio Autor

Figura 2- Temperatura (°C) e precipitação pluvial (mm) média mensal, no período de novembro a maio para o ano agrícola 2014/15. Selvíria-MS.



Fonte: Próprio Autor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão apresentados os dados obtidos para as variáveis de crescimento obtidas no ano agrícola de 2013/14. Os dados indicaram significância apenas para altura aos 50 dias após a emergência e diâmetro aos 90 dias após a emergência. Para altura observou-se um ajuste quadrático negativo para as doses de gesso onde o mínimo foi verificado na dose de 440 kg ha⁻¹, os dados obtidos para diâmetro aos 90 dias após a emergência também revelaram um ajuste quadrático negativo com ponto mínimo observado na dose de 291 kg ha⁻¹, em ambos os casos os valores observados foram maior no controle do que nos outros tratamentos realizados.

Tabela 3- Valor de p>F, médias e testes de regressão para altura (cm), diâmetro (cm) e número de ramos de algodoeiro aos 50, 90 e 105 dias após a emergência em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2013/14.

	Altura			Diâmetro			N° de ramos		
	50 dae	90 dae	105 dae	50 dae	90 dae	105 dae	50 dae	90 dae	105 dae
	p>F								
(Ni)	0,343	0,353	0,639	0,567	0,194	0,270	0,332	0,842	0,312
(G)	0,014*	0,068	0,494	0,154	0,031*	0,106	0,398	0,492	0,382
Ni*G	0,641	0,965	0,963	0,989	0,995	0,998	0,531	0,077	0,605
Media	102,40	120,81	123,48	1,43	1,52	1,68	14,19	18,08	19,26
CV (%)	6,61	7,76	13,53	8,22	10,3	11,28	7,76	3,15	9,27
Doses de Ni									
0	100,61	120,33	120,72	1,41	1,47	1,63	14,41	18,19	18,89
1	101,22	120,55	119,14	1,42	1,49	1,65	13,58	18,22	19,61
2	106,22	126,49	129,53	1,46	1,58	1,75	14,58	18,03	19,86
6	103,19	119,92	121,50	1,42	1,50	1,64	14,31	18,00	18,39
12	100,89	118,72	123,05	1,48	1,59	1,76	14,08	17,97	19,08
16	102,27	118,83	126,97	1,45	1,48	1,62	14,19	18,11	19,72
p>F lin.	0,754	0,203	0,513	0,288	0,900	0,963	0,912	0,526	0,830
p>F quad	0,538	0,896	0,846	0,540	0,185	0,238	0,851	0,281	0,178
R ² lin.	1,71	29,19	12,76	29,69	0,21	0,03	0,21	20,10	0,76
R ² quad	8,35	29,49	13,88	39,49	23,60	21,55	0,81	78,63	31,33
Doses de Gesso									
0	104,31	122,96	126,76	1,49	1,57	1,72	14,57	18,20	19,48
200	103,66	122,39	123,35	1,40	1,55	1,70	14,09	17,93	19,02
400	97,70	115,55	118,59	1,43	1,43	1,58	13,98	18,07	19,79
800	103,92	122,33	125,54	1,43	1,53	1,71	14,13	18,15	19,74
p>F lin.	0,66	0,66	0,80	0,29	0,31	0,72	0,312	0,894	0,544
p>F quad	0,009*	0,03	0,15	0,11	0,020*	0,05	0,175	0,263	0,105
R ² lin.	1,61	2,48	2,55	20,6	10,65	1,99	34,55	0,73	11,91
R ² quad	64,36 ⁽¹⁾	62,26	90,15	67,2	70,23 ⁽²⁾	66,11	97,56	53,17	99,27
Equação	⁽¹⁾ Y = 0,00003 x ² - 0,0264x + 105,24; ⁽²⁾ Y = 0,000001 x ² - 0,000582 x + 1,592								

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

A não significância observada para o níquel nos parâmetros de avaliação do crescimento nos dois períodos de avaliação podem estar relacionadas com a capacidade de tolerância da planta de algodoeiro em presença de níquel no solos. Os valores críticos de níquel nos solos agrícolas estão na margem de 70 mg kg^{-1} , sendo o valor de prevenção de 30 mg kg^{-1} (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB, 2005), os quais são suficientes para causar danos ao crescimento na maioria das plantas cultivadas. A fitotoxicidade do Ni é resultado de sua ação no fotossistema, causando distúrbios no ciclo de Calvin e inibição do transporte de elétrons por causa das quantidades excessivas de ATP e NADPH acumuladas pela ineficiência das reações da fase bioquímicas (KRUPA et al., 1993), no entanto pouco se sabe sobre seu efeito em plantas de algodoeiro. Poulik, (1997) relatou que, plantas de aveia com teor próximo a 168 mg kg^{-1} de Ni apresentaram sintomas de toxicidade e morreram. No entanto o teor de Ni no solo menor do que 56 mg kg^{-1} provocou incrementos nas espigas, o que ressalta a importância de estudos para analisar o metabolismo do níquel em plantas de algodoeiro.

Tavares et al. (2013) observou que plantas de algodoeiro, embora não apresentem capacidade de fitoextração conseguem crescer mesmo em exposição a diversos metais, desse modo o efeito do níquel na nutrição ou no metabolismo de carbono precisa ser entendido, visto que a dose utilizada nesse experimento extrapola os teores necessários para se provocar danos ao crescimento e desenvolvimento da maioria das plantas.

Na Tabela 4 estão apresentados os dados obtidos para as variáveis de crescimento obtidas no ano agrícola de 2014/15.

Não foi verificada significância para os dados de crescimento avaliados exceto para altura aos 105 dias após a emergência na safra 2014/15. O desdobramento obtido entre doses de níquel e gesso para altura aos 105 dias após a emergência (Tabela 5) foi significativa para a dose 0 de níquel dentro das doses de gesso, mostrando uma equação quadrática negativa, mesmo comportamento observado para a significância obtida para a dose 0 de gesso dentro das dose de níquel.

Tabela 4- Valor de $p>F$, médias e testes de regressão para altura (cm), diâmetro (mm) e número de ramos de algodoeiro aos 50, 90 e 105 dias após a emergência em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2014/15.

	Altura			Diâmetro			Nº Ramos		
	50 dae	90 dae	105 dae	50 dae	90 dae	105 dae	50 dae	90 dae	105 dae
	$p>F$								
(Ni)	0,405	0,393	0,200	0,669	0,975	0,868	0,391	0,268	0,545
(G)	0,613	0,234	0,917	0,391	0,108	0,678	0,102	0,463	0,696
Ni*G	0,399	0,468	0,028*	0,710	0,249	0,427	0,670	0,472	0,596
Media	84,75	95,81	104,15	12,39	12,81	13,17	12,75	14,80	18,63
CV (%)	7,5	6,86	7,70	34,07	8,68	10,18	7,26	9,97	8,33
Doses de Ni									
0	84,66	93,86	106,54	12,03	12,70	13,45	13,05	14,08	18,27
1	87,77	94,97	101,25	12,29	12,84	13,33	12,72	14,33	18,44
2	85,91	97,77	107,86	12,04	12,80	13,31	13,08	15,05	19,16
6	83,72	93,97	102,45	14,35	12,74	12,94	12,55	14,86	18,22
12	83,44	95,77	101,29	11,88	13,05	13,17	12,66	15,22	18,61
16	83,00	98,52	105,53	11,75	12,73	12,85	12,39	15,27	19,08
$p>F$ lin.	0,091	0,213	0,596	0,761	0,792	0,279	0,074	0,043	0,422
$p>F$ quad	0,754	0,438	0,184	0,223	0,690	0,772	0,811	0,434	0,532
R^2 lin.	57,26	30,07	3,75	2,92	8,70	65,33	62,89	64,94	16,14
R^2 quad	59,17	41,59	27,57	50,48	28,67	69,95	63,97	74,32	25,89
Doses de Gesso									
0	85,68	97,77	104,37	13,82	13,03	12,96	12,96	14,85	18,55
200	83,13	95,03	103,68	11,47	12,50	13,01	12,31	15,24	18,77
400	85,29	93,57	103,42	12,06	13,23	13,29	13,01	14,50	18,31
800	84,90	96,87	105,15	12,21	12,47	13,43	12,68	14,63	18,88
$p>F$ lin.	0,987	0,822	0,719	0,436	0,295	0,244	0,843	0,398	0,633
$p>F$ quad.	0,601	0,043	0,545	0,218	0,482	0,903	0,784	0,975	0,556
R^2 lin.	0,01	1,16	25,90	20,10	17,54	91,62	0,61	27,97	15,99
R^2 quad.	15,19	99,51	99,53	70,90	25,37	92,61	1,77	28,01	40,29

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

Avaliando-se o desdobramento da interação entre doses de níquel e gesso para altura aos 105 dias após a emergência, pode-se observar que entre as doses de gesso apresentaram diferença significativa, somente na ausência de níquel, obtendo-se o menor crescimento com doses próximas a 418 Kg ha⁻¹ de gesso. O mesmo também se observa quando desdobram-se as doses níquel, onde só é verificada diferença significativa na ausência de gesso, demonstrando o menor crescimento em dose de 7,43 Kg ha⁻¹ de níquel, o que sugere a conclusão prévia de que um fator não oferece interferência direta sobre o outro quando é analisado o crescimento do algodoeiro.

Rigon et al. (2011), utilizando quatro doses de nitrogênio (0; 50; 75 e 100 Kg ha⁻¹) na ausência e presença do níquel na dose de 0,3 Kg ha⁻¹, em casa de vegetação, encontrou maior altura de plantas na presença do níquel na adubação, no entanto, Aguilar (2017) em condições

de campo salientou que, o algodoeiro quando submetidas a subdoses de 2,4-D, com doses de níquel de 0,6 Kg ha⁻¹ em associação com doses de nitrogênio (0; 40; 80 e 120 Kg ha⁻¹) não afetam a altura, diâmetro e número de ramos.

Tabela 5- Desdobramento da interação entre doses de níquel e gesso para altura aos 105 dias após a emergência na safra 2014/15.

Doses de Ni	Doses de gesso (Kg ha ⁻¹)				p>F linear	p>F quad	R ² linear	R ² quad
	0	200	400	800				
0	111,83	110,48	91,54	112,32	0,830	0,005*	0,33	62,60 ⁽¹⁾
1	99,48	98,63	103,52	103,40	0,449	0,872	62,27	66,09
2	104,25	103,03	115,99	108,16	0,361	0,233	17,84	48,38
6	98,39	110,49	98,88	102,05	0,959	0,557	0,06	8,05
12	97,90	98,26	104,62	104,37	0,249	0,692	70,70	78,93
16	114,40	101,20	105,96	100,58	0,096	0,378	50,78	64,73
p>F lin.	0,54	0,30	0,435	0,159				
p>F quad.	0,005*	0,75	0,644	0,614				
R ² linear	3,15	15,06	4,05	46,36				
R ² quad.	76,10 ⁽²⁾	16,39	5,47	52,19				
Equação	⁽¹⁾ Y = 0,0000977x ² - 0,0817x + 114,872 ⁽²⁾ Y = 0,2468x ² - 3,6665x + 108,843							

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Na Tabela 6 estão expostos os dados obtidos para número de estruturas reprodutivas, produtividade, rendimento de fibra e massa de 20 capulhos em função das doses de níquel no ano agrícola de 2013/14, onde não foi observado efeito significativo para as variáveis analisadas exceto para produtividade dentro das doses de gesso, sendo possível estabelecer uma equação linear negativa, onde as maiores doses de gesso provocaram um decréscimo na produtividade do algodoeiro em caroço. Silva et al. (1995) salientaram que o gesso é capaz de melhorar a exploração radicular, e por conseguinte, a produtividade até 6 toneladas por hectare e Sousa et al. (2008) observou que a aplicação de gesso em uma dose de 3 toneladas por hectare, antes do plantio, em sistema plantio direto é capaz de provocar efeitos positivos na produtividade.

Em déficit hídrico severo observa-se que a aplicação de gesso prejudicou a produtividade, uma hipótese é que o gesso pode dificultar a absorção de água pela planta, pois

a quantidade de água no solo já estava muito abaixo do ideal para uma boa produtividade comprometendo ainda mais o desenvolvimento.

Tabela 6- Valor de $p>F$, médias e testes de regressão para número de estruturas reprodutivas, produtividade (kg há^{-1} de algodão em caroço) e rendimento de fibra (%) em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2013/14.

	Est. Reprodutivas	Produtividade	Rendimento de fibra $p>F$	Massa de 20 capulhos
Doses Ni (Ni)	0,530	0,949	0,575	0,584
Doses gesso (G)	0,080	0,026*	0,742	0,187
Ni*G	0,476	0,437	0,969	0,559
Media	11,57	983,97	41,18	94,68
CV (%)	44,53	20,94	2,63	6,58
Doses de Ni	Nº de estruturas	Kg/há	%	G
0	9,95	968,87	40,75	94,97
1	10,86	969,21	41,35	95,49
2	10,83	1040,81	41,51	94,02
6	13,86	981,43	41,15	92,05
12	11,92	973,72	40,99	94,74
16	12,03	969,83	41,32	96,73
$p>F$ linear	0,297	0,761	0,889	0,505
$p>F$ quad.	0,174	0,805	0,964	0,104
R^2 linear	26,57	8,32	0,51	11,90
R^2 quad.	72,10	13,78	0,57	84,29
Doses de Gesso	Nº de estruturas	Kg/há	%	G
0	14,09	1062,90	41,22	94,11
200	11,11	1055,58	40,95	94,67
400	11,54	932,68	41,34	92,67
800	9,56	884,75	41,21	97,21
$p>F$ linear	0,020	0,004*	0,785	0,160
$p>F$ quad.	0,524	0,766	0,964	0,180
R^2 linear	79,70	87,80 ⁽¹⁾	6,00	40,73
R^2 quad.	85,43	88,69	6,16	77,83
Equação	⁽¹⁾ $Y = -0,2445 x + 1069,56$			

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Não foi possível observar efeito significativo para as variáveis; número de estruturas reprodutivas, produtividade, rendimento de fibra e massa de 20 capulhos em função dos tratamentos com gesso e níquel no ano agrícola de 2014/15, (Tabela 07). A discrepância do clima durante os dois anos do experimento prejudicou a análise dos dados, fato observado pelo valor médio de produtividade do experimento que na safra 2013/14 foi de $983,97 \text{ kg há}^{-1}$ enquanto que na safra 2014/15 foi de $2317,03 \text{ kg há}^{-1}$, a falta de chuvas em períodos críticos

do sistema de produção bem como, após a aplicação dos tratamentos, limitaram o efeito do gesso no solo o que também pode ter exercido influência nos tratamentos com níquel.

A safra 2013/14 obteve produtividade muito abaixo do que a safra 2014/15 apesar de as duas estarem bem a quem da media para o mesmo estado. O primeiro ano de experimento teve uma distribuição de chuvas ainda pior que o segundo resultando em capulhos menores e mais leves do que a seguinte safra, explicando a grande diferença de produtividade das duas. Ao observar o peso de 20 capulhos da safra 2014/15 tem-se em média capulhos 23% mais pesados que na safra anterior.

Tabela 7- Valor de p>F, médias e testes de regressão para número de estruturas reprodutivas, produtividade (kg ha⁻¹ de algodão em caroço) e rendimento de fibra (%) em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2014/15.

	Est. Reprodutivas	Produtividade p>F	Rendimento de fibra	Massa de 20 capulhos
Doses Ni (Ni)	0,582	0,748	0,818	0,498
Doses gesso (G)	0,047	0,290	0,703	0,587
Ni*G	0,498	0,155	0,971	0,246
Media	9,07	2317,03	43,89	122,71
CV (%)	21,42	22,57	5,32	17,18
Doses de Ni	Nº de estruturas	Kg/há	%	G
0	9,08	2344,58	43,89	120,00
1	8,88	2430,36	44,05	123,75
2	9,83	2285,55	44,17	126,25
6	8,58	2372,12	44,12	112,50
12	9,44	2112,40	43,00	128,33
16	8,61	2357,17	44,13	125,41
p>F linear	0,579	0,519	0,627	0,519
p>F quad.	0,787	0,539	0,645	0,467
R ² linear	8,18	15,77	10,89	9,53
R ² quad.	10,10	30,05	20,67	21,70
Doses de Gesso	Nº de estruturas	Kg/há	%	G
0	9,53	2172,22	44,15	128,33
200	8,20	2228,36	44,28	120,28
400	9,88	2469,72	43,51	119,44
800	8,66	2397,83	43,63	122,78
p>F linear	0,523	0,145	0,385	0,558
p>F quad.	0,748	0,339	0,768	0,228
R ² linear	4,82	56,78	54,44	1786
R ² quad.	6,04	80,90	60,62	94,76

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

De acordo com os dados disponibilizados pela CONAB (2017), os valores de produtividade de algodão em caroço obtidos para o mesmo estado, nas safras de 2013/14 e

2014/15 foram 4275 e 4500 kg ha⁻¹, respectivamente, dado que pode ser comparado com as produtividades nos dois períodos do experimento mostrando que as condições climáticas contribuíram negativamente para o estabelecimento da pesquisa.

Para os dados obtidos na análise nutricional de folhas de algodoeiro para macronutrientes no ano agrícola de 2013/14 foi verificada significância para as interações entre níquel e gesso para os nutrientes P, Ca e Mg, os quais serão discutidos adiante. Também foi observado efeito significativo das doses de gesso sobre os nutrientes K e S, onde foi evidenciado um ajuste linear positivo para ambos. Para potássio o comportamento dos dados indicam um acréscimo no acúmulo desse nutriente a medida em que a dose de gesso é aumentada. Para enxofre o comportamento dos dados indica a mesma tendência observada para potássio.

Tabela 8- Valor de p>F, médias e testes de regressão para teor de macronutrientes (g/kg de matéria seca) em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2013/14

	N	P	K	Ca	Mg	S
	p>F					
(Ni)	0,909	0,478	0,412	0,880	0,302	0,265
(G)	0,512	0,006	0,027*	0,007	0,231	0,007*
Ni*G	0,137	0,038*	0,949	0,018*	0,032*	0,295
Media	47,73	5,43	10,28	24,86	4,86	6,09
CV (%)	14,56	6,93	21,17	7,83	12,79	24,22
Doses de Ni	g/kg					
0	48,41	5,43	10,58	25,12	4,94	5,71
1	47,26	5,32	9,00	24,94	4,92	6,19
2	47,44	5,36	10,31	24,96	4,70	5,75
6	47,16	5,36	10,66	24,38	4,54	6,17
12	49,59	5,57	10,60	24,55	5,07	5,72
16	46,49	5,54	10,50	25,23	5,00	6,99
p>F linear	0,948	0,086	0,354	0,949	0,330	0,117
p>F quad.	0,714	0,755	0,621	0,204	0,178	0,313
R ² linear	0,28	66,94	17,05	0,24	15,50	38,11
R ² quad.	9,27	69,07	21,86	95,11	45,35	53,68
Doses de Gesso	g/kg					
0	48,37	5,24	9,01	25,23	4,88	4,50
200	45,93	5,63	10,57	25,31	4,71	6,44
400	47,30	5,30	10,26	23,42	4,75	5,41
800	49,29	5,55	11,26	25,50	5,11	8,00
p>F linear	0,457	0,106	0,008*	0,942	0,174	0,007*
p>F quad.	0,265	0,669	0,435	0,008*	0,122	0,573
R ² linear	24,05	19,47	76,09 ⁽¹⁾	0,04	42,83	74,90 ⁽³⁾
R ² quad.	78,51	20,80	82,27	55,58 ⁽²⁾	98,66	75,47
Equação	Y= 0,00239X + 9,438; ⁽²⁾ Y= 0,000009x ² -0,00726x+25,55; ⁽³⁾ Y=0,00381x+4,755					

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

Os tratamentos à base de gesso proporcionaram às plantas aumento significativo de enxofre na folhas, devido ao gesso apresentar em média 17 % de S em sua constituição (OLEYNIK et al., 1998), assim explicando a diferença que os tratamentos contendo gesso que proporcionaram acréscimo de S no teor foliar. Silva et al. (1995) indicam a faixa adequada de S sendo de 4-8 g kg⁻¹ de massa seca de folhas do algodoeiro, indicando que na safra 2013/14 os teores de S estão adequados até maior dose de gesso aplicada enquanto que na safra 2014/15 os teores superam os valores citados por Silva et al. (1995).

Para potássio Silva et al. (1995) atribuíram que a faixa ideal do teor de potássio na matéria seca de folhas do algodoeiro é entre 15 e 25 g kg⁻¹, indicando que para as duas épocas de avaliação há um nível deficiência do nutriente independentemente dos tratamentos que foram empregados. Segundo Vivancos (1989), as plantas de algodoeiro, em seu ciclo, necessitam de valores próximos a 150 kg ha⁻¹ de K₂O para alcançar produtividades próximas a 3,5 toneladas por hectare de algodão em caroço. Bissani et al. (2004) relatam que a amplitude da relação Mg/K também pode influenciar na absorção de potássio pelas plantas, assim como efeitos observados para cálcio e outros nutrientes o que levará a planta a deficiência.

Foi observada significância para as interações entre doses de níquel e gesso para o acúmulo de fósforo, em folhas de algodoeiro na safra 2013/14, (Tabela 09).

Tabela 9- Desdobramento da interação entre doses de níquel e gesso para teor de P na safra 2013/14.

Doses de Ni	Doses de gesso (Kg ha ⁻¹)				p>F linear	p>F quad	R ² linear	R ² quad
	0	200	400	800				
0	5,56	5,34	5,64	5,17	0,288	0,526	40,66	55,01
1	5,39	5,25	5,23	5,39	0,918	0,504	2,24	98,67
2	5,27	5,43	4,88	5,87	0,086	0,048*	29,08	68,06 ⁽¹⁾
6	4,92	5,86	5,05	5,60	0,195	0,601	13,81	16,03
12	5,15	6,14	5,52	5,47	0,927	0,055	0,08	35,99
16	5,12	5,75	5,45	5,82	0,071	0,534	52,46	58,49
p>F linear	0,16	0,08	0,37	0,21				
p>F quad.	0,14	0,05*	0,15	0,76				
R ² linear	38,3	59,7	9,04	21,58				
R ² quad.	80,16	91,1 ⁽²⁾	32,1	22,78				
Equação	⁽¹⁾ Y= 0.000003x ² -0,0019x+5.385 - ⁽¹⁾ Y= 0.000008x ² -0,0016x+5.19							

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Analisando-se o desdobramento das doses de níquel dentro de cada nível de gesso observa-se significância para os dados obtidos na doses de 2 Kg ha⁻¹ de níquel em um ajuste quadrático negativo com ponto de mínimo obtido na dose de 317 Kg ha⁻¹ de gesso. O

desdobramento para doses de gesso dentro de cada nível de níquel indicou significância para a dose de 200 Kg ha⁻¹ de gesso apresentando um ajuste quadrático positivo, onde o maior acúmulo de fósforo foi obtido na dose de 10 Kg ha⁻¹ de níquel, apresentando um coeficiente de determinação elevado. Zeng et al. (2003), observou que o gesso não proporcionou aumento na disponibilidade do fósforo em leguminosas cultivadas em solos salino-sódicos. No entanto, Eleizalde et al. (1982), em estudo com centeio em solo salino, em Zaragoza na Espanha, atestaram que doses crescentes de gesso têm influência significativa positiva sobre a concentração de fósforo na parte aérea das plantas. Quando não se trata de solos salinos a literatura registra aumentos tanto no fósforo quanto no magnésio com o incremento de gesso (GALON et al., 1996; CAIRES et al., 2003). A menor adsorção de fosforo no solo com gesso deve-se a formação de fosfato de cálcio insolúveis. Segundo Francisco e Hoogerheide, (2013) comparação das médias observadas para todos os tratamentos em confronto com indicadores para a interpretação da análise nutricional foliar indicam que os teores apresentadas aqui revelam uma concentração de fosforo maior do que os valores de indicação para algodoeiro de média e alta produtividade, sendo os valores de 2,5 até 4 e 3 até 4 g kg⁻¹, respectivamente, o que pode resultar em pouco efeito dos tratamentos sobre a atividade do fósforo na planta.

Na Tabela 10 estão apresentados os dados obtidos para o desdobramento da interação entre doses de níquel e gesso para Ca, o desdobramento das doses gesso dentro de cada nível de níquel foi significativo para as doses 0 e 16 Kg ha⁻¹ de níquel, sendo na dose 0 de níquel observado significância para o ajuste quadrático negativo, onde os menores valores observados estão situados na dose de 357,5 Kg ha⁻¹ de gesso, ainda no mesmo desdobramento, na maior dose de níquel é possível estabelecer uma equação linear de modo que o aumento das doses de gesso até 800 Kg ha⁻¹ favorecem o acúmulo de cálcio em folhas de algodoeiro. Oliveira et al. (2000) verificaram que com o uso do gesso agrícola como corretivo resultou em um aumento nos teores de fósforo, cálcio, magnésio em folhas. O desdobramento das doses de níquel dentro de cada nível de gesso revelou significância para as doses 0 e 800 Kg ha⁻¹ de gesso, de modo que para dose 0 foi obtida uma equação linear negativa onde quando aumenta-se a dose de níquel sem aplicação de gesso há um decréscimo na concentração de cálcio em folhas. Na dose 800 Kg ha⁻¹ de gesso a significância se dá para o ajuste quadrático negativo com ponto de mínimo em doses próximas a 8,2 Kg ha⁻¹ de níquel.

Tabela 10- Desdobramento da interação entre doses de níquel e gesso para teor de Ca na safra 2013/14.

Doses de Ni	Doses de gesso (Kg ha ⁻¹)				p>F linear	p>F quad	R ² linear	R ² quad
	0	200	400	800				
0	26,25	24,08	23,50	26,66	0,575	0,023*	5,45	99,98 ⁽¹⁾
1	25,66	25,75	22,33	26,00	0,965	0,051	0,03	55,96
2	27,00	25,33	22,50	25,00	0,195	0,023	21,13	88,05
6	24,62	26,41	21,58	24,87	0,645	0,192	2,21	20,19
12	25,00	25,41	25,41	22,37	0,724	0,200	66,39	99,55
16	22,83	24,83	25,16	28,08	0,002*	0,976	96,59 ⁽²⁾	96,60
p>F lin.	0,01*	0,95	0,24	0,98				
p>F quad.	0,70	0,21	0,27	0,03*				
R ² linear	74,06 ⁽³⁾	0,13	54,76	0,00				
R ² quad.	75,75	64,27	67,33	65,14 ⁽⁴⁾				
Equação	⁽¹⁾ Y = 0,00002x ² - 0,0143x + 26,23- ⁽²⁾ Y = 0,0062x + 23,046- ⁽³⁾ Y = 0,0019x + 26,407- ⁽⁴⁾ Y = 0,00006x ² - 0,0098x + 26,95							

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Os valores de Cálcio observados se mostraram dentro dos teores ótimos relatados por Francisco e Hoogerheide, (2013), que preconizam valores de 25 a 35 g kg⁻¹ de M.S., Caires et al. (2003), diz respeito ao aumento nos teores de cálcio trocável no solo com aplicação de gesso até a profundidade de 60 cm independentemente de outros tratamentos.

O desdobramento obtido para o acúmulo de Mg nas doses de níquel e gesso na safra 2013/14 revelou significância tanto para a interação das doses de níquel dentro de cada nível de gesso bem como para doses de gesso dentro de cada nível de níquel. Para o primeiro caso houve significância para o ajuste quadrático negativo nas doses de 1 e 2 Kg ha⁻¹ de níquel sendo ponto de mínimo na dose de 350 e 487,5 Kg ha⁻¹ de gesso respectivamente, há indícios que a dose de 400 Kg ha⁻¹ sofreu, coincidentemente, e consideravelmente as pressões ambientais bióticas e abióticas, pois os padrões observados nos dados até aqui sugerem um comportamento atípico e biologicamente incompreensível. Para o segundo caso, o desdobramento apresentou significância nas doses de gesso de 0 e 200 Kg ha⁻¹ de modo que o ajuste o qual melhor se adequou ao comportamento dos dados foi o linear, onde na dose 0 de gesso foi possível estabelecer um ajuste linear negativo parecido com o comportamento obtido para cálcio na mesma dose e safra. Para a dose de 200 Kg ha⁻¹ de gesso o padrão se inverte sendo observado um ajuste positivo indicando que o aumento nas doses de níquel para essa situação provoca interferência positiva no acúmulo de magnésio em folhas de algodoeiro.

Tabela 11- Desdobramento da interação entre doses de níquel e gesso para teor de Mg na safra 2013/14.

Doses de Ni	Doses de gesso (Kg ha ⁻¹)				p>F linear	p>F quad	R ² linear	R ² quad
	0	200	400	800				
0	5,16	4,25	5,00	5,33	0,341	0,196	17.37	49.59
1	5,25	4,50	4,50	5,41	0,483	0,032*	9.08	97.72 ⁽¹⁾
2	5,75	4,50	3,91	4,62	0,060	0,002*	27.22	99.99 ⁽²⁾
6	4,37	4,66	4,50	4,62	0,724	0,841	31.16	41.24
12	4,58	5,16	5,16	5,37	0,166	0,499	72.91	90.01
16	4,16	5,16	5,41	5,25	0,065	0,060	47.70	97.62
p>F lin.	0,03*	0,02*	0,21	0,69				
p>F quad.	0,64	0,75	0,19	0,21				
R ² linear	65,58 ⁽³⁾	93,48 ⁽⁴⁾	47,00	2,86				
R ² quad.	67,08	95,26	62,12	31,98				
Equação	⁽¹⁾ Y= 0.000006x ² - 0.0042x + 5.21 ⁽²⁾ Y= 0,000008x ² - 0.0078x + 5.75 ⁽³⁾ Y= 0.008x + 5.342 - ⁽⁴⁾ Y= 0.006x + 4.36							

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

A relação Ca/Mg tende a ser afetada quando o desequilíbrio entre esses nutrientes é experimentado, Büll e Nakagawa (1995), avaliando o aumento da relação Ca/Mg no solo, mostraram um aumento do teor de K e Ca e diminuição de Mg da parte aérea, Epstein (1975) complementou que na absorção do Mg e do Ca pela planta há competição, e o excesso de um desses elementos resulta na diminuição na absorção do outro. Tal efeito no desequilíbrio nutricional pode resultar na diminuição no desenvolvimento vegetal (ROSOLEM et al., 1984).

Salvador et al. (2011) observaram que quanto maior a relação Ca/Mg, maiores foram os teores foliares de cálcio, enquanto as menores relações de Ca/Mg aplicadas proporcionaram maiores teores foliares de magnésio, tendo sido observado comportamento parecido por Clarck et al. (1997). Hernandez e Silveira (1998), por outro lado, verificaram que baixos teores de Mg na solução do solo, em associação ao desequilíbrio Ca/Mg no solo, provocado pelos corretivos com alta proporção de cálcio, resultam em diminuição na produção das plantas, em função da deficiência de magnésio. Os dados verificados por Francisco e Hoogerheide (2013) indicaram valores ótimos de nutrição por magnésio na casa de 3 a 8 g kg⁻¹, os valores observados nas plantas do experimento estão próximo aos valores mínimos exigidos para sistemas de cultivo de algodoeiro de média produtividade, o que pode estar relacionado com o aporte extra de cálcio por ocasião da gessagem. Esse desequilíbrio também pode ter contribuído para o comportamento dos dados.

Para os dados obtidos na análise nutricional de folhas de algodoeiro para macronutrientes no ano agrícola de 2014/15 foi verificada significância para as interações

entre níquel e gesso para os teores de Ca (Tabela 13). Foi evidenciado efeito significativo nos dados obtidos para enxofre tanto em doses de níquel quanto para doses de gesso. Para doses de níquel observou-se um ajuste quadrático positivo vislumbrando um ponto de máximo entre na dose de 9,4 Kg ha⁻¹ de níquel, indicando que doses de níquel de 12 e 16 Kg ha⁻¹ podem prejudicar o acúmulo de enxofre em folhas de algodoeiro.

A ocorrência de um aporte excessivo de enxofre no solo pode ter impossibilitado a absorção equilibrada de nutrientes visto que, além da fonte de enxofre oferecida no gesso agrícola, ainda foi oferecida uma fonte extra de enxofre o qual diz respeito ao sulfato de níquel aplicado como fonte de Ni para os tratamentos, nas concentrações mais elevadas, a presença de enxofre em excesso pode ter causado a variação avaliada.

Tabela 12- Valor de p>F, médias e testes de Regressão para teor de macronutrientes (g/kg de Matéria seca) em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2014/15.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	p>F					
Doses Ni (Ni)	0,203	0,537	0,745	0,242	0,512	0,024*
Doses gesso (G)	0,915	0,530	0,866	0,292	0,205	0,002*
Ni*G	0,339	0,992	0,630	0,047*	0,281	0,550
Media	43,58	2,74	14,02	25,59	6,95	9,56
CV (%)	23,06	10,45	18,79	20,50	19,35	38,50
Doses de Ni						
0	45,79	2,78	14,39	23,78	6,92	7,33
1	37,82	2,77	13,58	24,55	6,98	7,33
2	47,41	2,78	14,26	27,46	7,23	11,32
6	46,11	2,83	14,76	27,61	7,32	11,18
12	42,89	2,63	13,89	26,39	6,95	10,01
16	41,49	2,67	13,24	23,72	6,29	10,22
p>F linear	0,560	0,120	0,391	0,812	0,180	0,091
p>F quad.	0,365	0,707	0,329	0,022	0,129	0,041*
R ² linear	4,55	60,54	27,83	0,82	42,94	20,73
R ² quad.	15,57	63,99	63,88	80,66	98,20	51,34 ⁽¹⁾
Doses de Gesso						
0	43,86	2,91	13,93	25,21	7,04	8,93
200	42,25	2,71	14,42	26,55	7,34	8,30
400	43,63	2,67	14,05	26,82	7,03	8,41
800	44,60	2,68	13,69	23,77	6,39	12,61
p>F linear	0,690	0,037	0,635	0,299	0,078	0,001*
p>F quad.	0,685	0,073	0,590	0,104	0,273	0,024*
R ² linear	31,26	55,58	31,47	28,64	68,39	67,33 ⁽²⁾
R ² quad.	63,44	96,12	72,03	99,98	94,17	99,78
Equação	⁽¹⁾ Y=-0,0402x ² +0,754x +7,865; ⁽²⁾ Y= 0,0049x+7,838					

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Para gesso foi possível estabelecer significância para as duas equações avaliadas de modo que foi escolhido o ajuste linear o qual oferece uma melhor explicação biológica para o comportamento dos dados. O ajuste linear revelou uma reta positiva de modo que a medida que se aumenta o gesso aplicado aumentam-se também os teores de enxofre foliar, por consequência da disponibilidade do nutriente em maiores quantidades.

A interação entre doses de níquel e gesso para o acúmulo de Ca revelou significância apenas para o desdobramento de doses de níquel dentro de cada nível de gesso nas doses de 6 e 16 Kg ha⁻¹ de níquel. Quando as plantas foram expostas ao tratamento na concentração de 6 Kg ha⁻¹ de níquel foi observado um ajuste quadrático positivo com ponto de máximo próximo da dose de 377,8 Kg ha⁻¹. A exposição na dose de 16 Kg ha⁻¹ provocou um efeito linear negativo de modo que o aumento nas doses de gesso até 800 Kg ha⁻¹ fez diminuir o acúmulo de cálcio nas folhas de algodoeiro, padrão contrário ao observado para o mesmo nutriente na safra passada. O níquel, por ser um cátion com a mesma valência do cálcio pode ter exercido inibição competitiva ao cálcio. Quando se tem uma dose menor de Ni (6 kg ha⁻¹) se observa um ponto máximo de acúmulo de cálcio com a dose de 377,8 kg ha⁻¹ de gesso, em contrapartida, uma dose maior de Ni (16 kg ha⁻¹) associada com o aumento na dose de gesso (800 Kg ha⁻¹) faz reduzir o acúmulo de cálcio, efeito resultante da competição entre os cátions no solo.

Tabela 13- Desdobramento da interação entre doses de níquel e gesso para teor de Ca na safra 2014/15.

Doses de Ni	Doses de gesso (Kg ha ⁻¹)				p>F linear	p>F quad	R ² linear	R ² quad
	0	200	400	800				
0	26,84	25,10	21,96	21,23	0,168	0.635	85.86	95.86
1	23,57	23,65	23,06	27,93	0,288	0.498	68.65	96.19
2	22,25	29,66	29,55	28,39	0,265	0.134	31.29	88.60
6	26,04	26,41	37,83	20,16	0,244	0.002*	7.77	69.89 ⁽¹⁾
12	24,22	28,80	27,43	25,13	0,948	0.299	0.29	76.87
16	28,33	25,70	21,08	19,78	0,038*	0.495	87.24 ⁽²⁾	96.31
p>F lin.	0,42	0,72	0,70	0,31				
p>F quad.	0,48	0,41	0,90	0,52				
R ² linear	23,22	4,51	0,65	42,89				
R ² quad.	40,83	27,94	29,04	60,32				
Equação	⁽¹⁾ Y = -0,00007x ² + 0,0529x + 24,03				⁽²⁾ Y = -0,0109x + 27,54			

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Não foi verificado efeito significativo dos tratamentos no teor de micronutrientes para o ano agrícola de 2013/14, (Tabela 14).

Tabela 14- Valor de p>F, médias e testes de regressão para teor de micronutrientes (mg/kg de Matéria seca) em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2013/14.

	Cu	Fe	Mn	Zn
	p>F			
(Ni)	0,593	0,351	0,481	0,871
(G)	0,175	0,183	0,449	0,373
Ni*G	0,382	0,796	0,999	0,336
Media	9,58	110,55	100,35	44,65
CV (%)	72,30	13,80	23,79	22,61
Doses de Ni				
0	9,17	104,17	107,50	42,50
1	8,33	112,50	100,83	42,50
2	12,50	112,92	90,83	45,83
6	8,33	108,75	102,92	45,42
12	8,33	117,50	94,17	45,00
16	10,83	107,50	105,83	46,67
p>F linear	0,943	0,640	0,917	0,338
p>F quad.	0,515	0,212	0,295	0,765
R ² linear	0,14	3,88	0,24	51,66
R ² quad.	11,65	31,85	24,80	56,63
Doses de Gesso				
0	8,33	116,67	92,50	48,05
200	11,67	108,88	102,22	43,88
400	11,11	105,55	102,22	42,22
800	7,22	111,11	104,44	44,44
p>F linear	0,377	0,379	0,192	0,364
p>F quad.	0,048	0,045	0,419	0,132
R ² linear	15,34	15,58	64,85	26,32
R ² quad.	94,80	99,98	89,51	99,81

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Foi observada significância para os acúmulos dos micronutrientes Fe, Mn e Ni em folhas de algodoeiro no ano agrícola de 2014/15 (Tabela 15). Os dados obtidos para concentração de ferro foliar apresentaram significância para as doses de gesso em um ajuste quadrático positivo com maior acúmulo evidenciado na dose de 238,5 Kg ha⁻¹. Para o acúmulo de manganês houve significância nas doses de níquel e gesso, para níquel foi possível estabelecer um ajuste linear positivo, o qual, a medida que elevam-se as doses de níquel ocorrem incrementos no Mn foliar, nas doses de gesso o mesmo comportamento é observado.

No ano agrícola 2013/14 não foi observada diferença significativa para o teor de Mn foliar em plantas de algodoeiro, no entanto, os valores obtidos para cálcio aumentaram a medida em que as doses de gesso foram elevadas. Na safra 2014/15 houve uma diminuição na

concentração de cálcio com o aumento das doses de níquel até 16 kg ha⁻¹ o que leva a entender que a absorção de cálcio é prejudicada pelo aumento do níquel no solo.

Esse comportamento é contrário ao obtido para o teor de manganês na safra 2014/15, onde o aumento da oferta de níquel e gesso provou um aporte maior desse nutriente, o que nos remete a tese de que o cálcio interfere diretamente na absorção do manganês, sendo que, em condições de absorção normal de cálcio, o manganês também é absorvido normalmente, por outro lado a diminuição da absorção de cálcio favorece o aporte de manganês.

Tabela 15- Valor de p>F, médias e testes de Regressão para teor de micronutrientes (mg/kg de Matéria seca) em função de doses de níquel (Ni) e doses de gesso (G). Selvíria-MS, 2014/15.

	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni
	p>F				
(Ni)	0,274	0,463	0,048*	0,292	0,229
(G)	0,185	0,042*	0,021*	0,196	0,005*
Ni*G	0,745	0,886	0,543	0,865	0,802
Media	9,07	124,10	234,29	18,27	10,11
CV (%)	20,90	35,89	14,13	21,62	11,63
Doses de Ni					
0	8,61	121,16	208,31	16,95	9,92
1	9,60	140,58	225,24	16,65	10,66
2	9,10	134,25	237,36	18,04	10,50
6	8,71	112,33	243,76	18,98	9,75
12	8,37	127,75	244,00	19,08	9,66
16	10,00	108,50	247,09	19,90	10,16
p>F linear	0,526	0,208	0,010*	0,026	0,292
p>F quad.	0,128	0,904	0,116	0,555	0,252
R ² linear	6,21	34,62	59,33 ⁽²⁾	82,90	15,79
R ² quad.	42,67	34,94	80,37	88,47	34,54
Doses de Gesso					
0	9,06	125,33	216,62	18,49	10,77
200	8,45	145,88	228,99	17,21	10,33
400	8,91	123,44	240,79	17,52	10,00
800	9,84	101,72	250,78	19,85	9,33
p>F linear	0,106	0,031*	0,003*	0,177	0,001*
p>F quad.	0,181	0,016*	0,461	0,095	0,822
R ² linear	54,13	55,69	94,65 ⁽³⁾	38,47	99,56 ⁽⁴⁾
R ² quad.	90,94	78,47 ⁽¹⁾	99,80	97,97	99,91
Equação	⁽¹⁾ Y= 0,0001x ² + 0,0477x + 129,48; ⁽²⁾ Y=223,428+1,762x; ⁽³⁾ Y= 219,567+ 0,0421x; ⁽⁴⁾ Y=10,73 – 0,00178x				

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Para níquel foi observado significância no tratamento com aplicação de gesso. Os dados ofereceram um ajuste linear negativo onde o aumento das doses de gesso prejudicou o

acumulo desse nutriente em folhas de algodoeiro. Ao observar-se a Tabela 13, vê-se que na maior dose de níquel a diminuição da concentração de cálcio, em consórcio com o aumento das doses de gesso, o qual é uma fonte poderosa de cálcio, desse modo, quando a oferta de níquel no ambiente é elevada, o aumento da concentração de cálcio faz diminuir a sua absorção. Na Tabela 15 é possível observar que o aumento nas doses de gesso (aumento da concentração de cálcio) leva a diminuição da concentração foliar de níquel, o que pode estar relacionado a um antagonismo na absorção desses nutrientes.

Apesar de no experimento ter-se usado altas doses de níquel em cobertura, não se observou nenhum dano ao desenvolvimento da planta e nenhum sinal de toxidez, não interferindo no crescimento e produtividade do algodoeiro o que desperta a dúvida sobre a interação do elemento com o solo, suas formas de absorção e sítios de metabolismo e acumulo na planta.

7 CONCLUSÕES

O aumento na dose de gesso, em condições de déficit hídrico severo, reduziu linearmente, a produtividade do algodoeiro.

A aplicação de doses de níquel e gesso, nas condições apresentadas, não exerceram influência no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro.

O fornecimento de gesso até 800 kg/ha interfere na absorção de Ni. Verifica-se um antagonismo entre cálcio e níquel.

O fornecimento de níquel via solo não interfere na absorção de nutrientes com exceção do cálcio.

O cálcio exerce antagonismo em relação ao manganês.

As doses de níquel não promoveram efeitos positivos ou negativos no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A. ; VAN RAIJ, B.; ABREU, M. F.; GONZÁLEZ, A. P. Routine soil testing to monitor heavy metals and boron. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 564-571, 2005.
- AGUILAR, J. V. **Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro tratado com subdose hormética de 2,4-D em função da aplicação de níquel e nitrogênio**. 2017. 43 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista- UNESP, Ilha Solteira, 2017.
- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 2. ed. London: Blackie Academic & Professional, 1995. 368 p.
- ANDREWS, R. K.; BLAKELEY, R. L.; ZERNER, B. Urea and urease. **Advances in Inorganic Biochemistry**, New York, v. 6, n. 83, p. 245-283, 1984.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, Rockville, v. 14, n. 2, p. 371-375, 1939.
- BACCOUCH, S.; CHAOU, A.; EL-FERAJANI, E. Nickel-induced oxidative damage and antioxidant responses in *Zea mays* shoots. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 36, n. 9, p. 689-694, 1998.
- BOHNERT, H.J.; JENSEN, R.G. Strategies for engineering waterstress tolerance in plants. **Trends in Biotechnology**, Cambridge, v. 14, n. 3, p. 89-97, 1996.
- BISSANI, C. A.; GIANELO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. 328 p.
- BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 85, n. 3, p. 501-803, 1987.
- BRUNE, A.; DEITZ, K.J. A comparative analysis of element composition of roots and leaves of barley seedlings grown in the presence of toxic cadmium, molybdenum, nickel and zinc concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 4, p. 853-868, 1995.
- BÜLL, L. T.; NAKAGAWA, J. Desenvolvimento, produção de bulbos e absorção de nutrientes na cultura do alho vernalizado em função de relações cálcio: magnésio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 409-415, 1995.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286, mar./abr. 2003.
- CARDOSO, P. F.; GRATAO, P. L.; GOMES JUNIOR, A. L.; MEDICI, L. O.; AZEVEDO, R. A. Response of *Crotalaria juncea* to nickel exposure. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 17, n. 2, p. 267-272, 2005.

CARVALHO, B. V.; TEZOTTO, T.; FAVARIN, J. L.; AZEVEDO, R. A.; MAZZAFERA, P. Produtividade de cafeeiro exposto ao cádmio, níquel e zinco. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Araxá. **Resumos...** Araxá: [s.n.], 2011. 5 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB. **Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**, São Paulo, v. 115, n. 227, p. 22-23. 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, oitavo levantamento, maio 2015. Brasília: CONAB, 2015. 118 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras 1976/77 a 2015/16 de grãos, 2001 a 2016 de café, 2005/06 a 2016/17 de cana-de-açúcar**. Brasília-DF: Conab, 2016. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252>>. Acesso em: 14 maio 2017.

CLARK, R. B. et al. Maize growth and mineral acquisition on acid soil amended with flue gas desulfurization byproducts and magnesium. **Communi. Soil Sci. Plant Anal**, Philadelphia, v. 28, n. 15-16. p. 1441-1459, 1997.

DIAS, L. E. **Uso de gesso como insumo agrícola**. Seropédica: Embrapa – Centro nacional de Pesquisa de Biologia – CNPBS, 1992. p. 1- 6. (Comunicado Técnico, 7).

DIXON, N. E.; GAZZOLA, C.; BLAKELEY, R. L.; ZERNER, B. Jack bean urease (EC 3.5.1.5) a metalloenzyme: simple biological role for nickel. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 97, n. 14, p. 4131-4133, 1975.

ELEIZALDE, B.; DIAZ, A.; ALTARES, M. Rye-grass yield in saline soils. **Agrochemica**, Pisa, v. 26, n. 3, p. 71-78, 1982.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: São Paulo, 1999a. 370 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 1999b. 412 p.]

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1975. 416 p.

ESKEW, D. L.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: an essential micronutrient for legumes and possibly all higher-plants. **Science**, Washington, v. 222, n. 4624, p. 621-623, 1983.

ESKEW, D. L.; WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. **Plant Physiology**, Rockville, v. 76, n. 3, p. 691-693, 1984.

EVANS, J. R. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Physiology**, Rockville, v. 70, p. 1605-1608, 1983.

- FARINA, N.P.W.; CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. II. Gypsum effect on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 1, p. 169-175, 1988.
- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- FRANCISCO, E.; HOOGERHEIDE, H, C. Manejo de nutrientes para o algodoeiro de alta produtividade. **Informações agronômicas**, Georgia, n. 141, p. 14-18, 2013.
- GALON, J. A; BELLINGIERI, P. A; ALCARDE, J. C. Efeito de modos e épocas de aplicação de gesso e calcário sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. CARIOCA-80. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 119-125, jan/abr. 1996.
- GERENDÁS, J.; SATTELMACHER, B. Influence of Ni supply on growth, urease activity and nitrogen metabolites of *Brassica napus* grown with NH_4NO_3 or urea as N source. **Annals of Botany**, Oxford, v. 83, n. 2, p. 65-71, 1999.
- GERENDÁS, J.; SATTELMACHER, B. Significance of Ni supply for growth, urease activity and the concentrations of urea, amino acids and mineral nutrients of urea-grown plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 190, n.1, p. 153-162, 1997.
- GOMES, P.F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Nobel. 2000. 460 p.
- HERNANDEZ, F.B.T.; LEMOS FILHO, M.A.F.; BUZETTI, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: FEIS/UNESP, 1995. 45 p. (Série Irrigação, 1).
- HERNANDEZ, R. J.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 79-85, 1998.
- KRUPA, Z.; SIEDLECKA, A.; MAKSYMIEC, W.; BASZYNSKI, Y. T. In vivo response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. **Journal of Plant Physiology**, Muenchen, v. 142, n. 6, p. 664-668, 1993.
- LAWLOR, D.W. Relation between carbon and nitrogen assimilation, tissue composition and whole plant function. In: ROY, J.; GARNIER, E. (Ed.). **A whole perspective and carbon nitrogen interactions**. The Hague: SPB Academic Publ., 1994. p. 47-60.
- LEA, J. P.; MOROT-GAUDRY, J. F. **Plant nitrogen**. Berlin: Springer Verlag, 2001. 407 p.
- MACEDO, L.; TEZOTTO, T.; FAVARIN, J.L.; AZEVEDO, R. A.; MAZZAFERA, P. Crescimento e fotossíntese de cafeeiro exposto ao cádmio, níquel e zinco. In SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Araxá. **Resumos...** Araxá: Consorcio Pesquisa Café, 2011. 5 p.

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

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Nickel: from toxic to essential nutrient. **Better Crops**, Peachtree Corners, v. 91, n. 3, p. 26-27, 2007.

MCGARVEY, D.J.; CHRISTOFFERSEN, R.E. Characterization and kinetic parameters of ethylene-forming enzyme from avocado fruit. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 267, n. 9, p. 5964-5967, 1992.

MOBLEY, H. L. T.; ISLAND, M. D.; HAUSINGER, R. P. Molecular biology of microbial ureases. **Microbiological Reviews**, Washington, v. 59, n. 3, p. 451-480, 1995.

MUNOZ, A.; RASO, M. J.; PINEDA, M.; PIEDRAS, P. Degradation of ureidoglycolate in French bean (*Phaseolus vulgaris*) is catalysed by a ubiquitous ureidoglycolate urea-lyase. **Planta**, Gante, v. 224, n. 1, p. 175-184. 2006.

MYSLIWA-KURDZIEL, B.; PRASAD, M. N. V.; STRZALKA, K. Photosynthesis in heavy metal stressed plants. In: PRASAD, M. N. V (Ed.). **Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems**. New Delhi: Narosa Publishing House, 2004. p. 146-181.

OLEYNIK, J.; BRAGAGNOLO, N.; BUBLITZ, U.; SILVA, J. C. **Análise de solo: tabelas para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados**. 5. ed. Curitiba: EMATER, 1998, 64 p.

OLIVEIRA, F. P.; SANTOS, D; MENDES, J. E. M. F. Efeito de doses de gesso e ácido fosfórico na alteração de propriedades químicas de um solo salino-sódico. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPB, 8., 2000, João Pessoa. **Encontro...** João OPessoa: Editora Universitária- UFPB, 2000. v. 2, p. 36.

PASSOS, S. M. G. **Algodão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1977. 424p.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime or gypsum application to a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 33-38, 1984.

PITTA, G. V. E.; COELHO, A. M.; ALVES, V. M. C.; FRANÇA, G. E.; MAGALHÃES, J. V. **Cultivo do milho: calagem e gessagem do solo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2002. 6 p. (Comunicado Técnico, 53).

POLACCO, J. C; HOLLAND, M. A. Roles of urease in plant cells. **International Review of Cytology**, Maryland Heights, v. 145, n. 8, p. 56-103, 1993.

POULIK, Z. The danger of cumulation of nickel in cereals on contaminated soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 63, n. 1, p. 25-29, 1997.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo- FUNDAG, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. **Análise química de solos para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 107 p.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001, 285 p.

RAMALHO, J. C.; CAMPOS, P. S.; TEIXEIRA, M.; NUNES, M. A. Nitrogen dependent changes in antioxidant system and in fatty acid composition of chloroplast membranes from *Coffea arabica* L. plants submitted to high irradiance. **Plant Science**, Limerick, v. 135, n. 2, p. 115-124, 1998.

RAMPIM, L. **Atributos químicos de um latossolo vermelho eutroférico submetido a gessagem e cultivado com trigo e soja em semeadura direta**. 2008. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Campus de Marechal Candido Rondon, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Lugar de Defesa, 2008.

RAO, K. V. M.; SRESTY, T. V. S. Antioxidant parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. **Plant Science**, Amsterdam, v. 157, n. 1, p. 113-128, 2000.

RIESEN, O.; FELLER, U. Redistribution of nickel, cobalt, manganese, zinc, and cadmium via the phloem in young and maturing wheat. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 28, n. 3, p. 421-430, 2005.

RIGON, J. P. G.; BRITO NETO, J. F.; CAPUANI, S.; BELTRÃO, N. E. M.; SILVA, F. V. F. Utilização de nitrogênio e níquel durante o crescimento do Algodão. **Enciclopedia Biosfera**, Goiânia, 7, n. 13, p. 1019- 1026, 2011.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. K.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 12, p. 1443-1448, 1984.

ROVERS, H.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Níquel total e solúvel em DTPA em solos no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, n. 3, p. 217-220, 1983.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHES, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica : Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SCHICKLER, H.; CASPI, H. Response of antioxidant enzymes to nickel and cadmium stress in hyperaccumulator plants of the genus *Alyssum*. **Physiologia plantarum**, Copenhagen, v. 105, n. 1, p. 39-44, 1999.

- SEREGIN, I. V.; KOZHEVNIKOVA, A. D. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, Nauka, v. 53, n. 2, p. 257–277, 2006.
- SHAW, B. P.; SAHU, S. K.; MISHRA, R. K. Heavy metal induced oxidative damage in terrestrial plants. IN: PRASAD, M. N. V. (Ed.) **Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems**. New Delhi: Narosa Publishing House, 2004. p. 84-126.
- SILVA, N. M.; CARVALHO, L. H. ; CIA, E.; FUZZATTO, M. G.; CHIAVEGATO, E. J. ALLEONI, L. R. F. Seja doutor do seu algodoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 1, n. 69, p. 1-24, 1995.
- SILVA, N. M.; RAIJ, B. V.; CARVALHO, L. H.; BATAGLIA, O. C.; KONDO, J. I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 2, p. 389-401, 1997.
- SILVA, A. A.; VALE, F. R.; FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E; MUNIZ, J. A. Efeitos de relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 451-457, 1998.
- SILVA, N. M.; RAIJ, B. van. Fibrasas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico- Fundação IAC, 1997. cap.16, p.107-111. (Boletim Técnico, 100).
- SIRKO, A.; BRODZIK, R. Plant ureases: roles and regulation. **Acta Biochimica Polonica**, Varsóvia, v. 47, n. 4, p. 1189-1195, 2000.
- SOUSA, D. M. G.de; REIN, T. A.; ALBRECH, J. C. Resposta a gesso pela cultura do algodão cultivada em sistema de plantio direto em um latossolo de Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9., 2008, **Anais...** Brasília: Embrapa, 2008. 1 CD-ROM.
- SPEIR, T. W.; KETTLES, H. A.; PERCIVAL, H. J.; PARSHOTAM, A. Is soil acidification the cause of biochemical responses when soils are amended with heavy metal salts? **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 31, n. 14, p. 1953-1961, 1999.
- TAVARES, S. R. L.; OLIVEIRA, S. A.; SALGADO, C. M.; Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. **Revista Holos**, Natal, v. 29, n. 5, p. 80-97, 2013.
- TEZOTTO, T. **Metabolismo e qualidade da bebida em cafeeiro expostos ao cádmio, níquel e zinco**. 2010. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências. Area de Concentração: Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- TODD, C. D.; POLACCO, J. C. Soybean cultivars Williams 82 and Maple Arrow produce both urea and ammonia during ureide degradation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 398, p. 867-877, 2004.

VIVANCOS, A. D. **Tratado de fertilización**. Madrid: Mundi-Prensa, 1989. 601 p.

WITTE C. P. Urea metabolism in plants. **Plant Science**, Shannon, v. 3, n. 180, p. 431-438. 2011.

WOOD, B. W.; REILLY, C. C.; NYCZEPIR, A. P. Field deficiency of nickel in trees: symptoms and causes. **Acta Horticulturae**, Lovaina, v. 721, n. 721, p. 83-97, 2006a.

WOOD, B. W.; REILLY, C. C.; NYCZEPIR, A. P. Mouse-ear of pecan: I. symptomatology and occurrence. **HortScience**, Virginia, v. 39, n. 1, p. 87-94, 2004a.

WOOD, B. W.; REILLY, C. C.; NYCZEPIR, A. P. Mouse-ear of pecan: II. Influence of nutrient applications. **HortScience**, Virginia, v. 39, n. 1, p. 95-100, 2004b.

ZENG, L.; POSS. J. A.; WILSON. C.; DRAZ. A.; GREGORIO, G. B.; GRIEVE, C. M., Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by physiological characters. **Euphytica**, Wageningen, v. 129, n. 3, p. 102-115, 2003.