

UNIVERSIDADE BRASIL
CURSO DE AGRONOMIA

**RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO À APLICAÇÃO DE DIFERENTES
DOSES DE NÍQUEL QUANTO AO DESENVOLVIMENTO DA PLANTA E À
ATIVIDADE DA UREASE NO SOLO**

RESPONSE OF CORN CULTIVATION TO THE USE OF DIFFERENT NICKEL
DOSES REGARDING THE PLANT DEVELOPMENT AND THE UREASE
ACTIVITY IN SOIL

Diogo Gabriel de Souza

DESCALVADO
2016

DIOGO GABRIEL DE SOUZA

**RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO À APLICAÇÃO DE DIFERENTES
DOSES DE NÍQUEL QUANTO AO DESENVOLVIMENTO DA PLANTA E À
ATIVIDADE DA UREASE NO SOLO**

Orientadora: Prof.^a Dra Valéria Peruca Melo

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

DESCALVADO

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Confeccionada pela Bibliotecária da UNICASTELO

Autorizo, exclusivamente, para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial deste TCC, por processos xerográficos ou eletrônicos.

Assinatura do Aluno

Descalvado, 26 de Outubro de 2016.

DIOGO GABRIEL DE SOUZA

**RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO À APLICAÇÃO DE DIFERENTES
DOSES DE NÍQUEL QUANTO AO DESENVOLVIMENTO DA PLANTA E À
ATIVIDADE DA UREASE NO SOLO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, Campus de Descalvado, São Paulo, Universidade Brasil.

Data: 26 de Outubro de 2016.

NOTA: _____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Prof. Dr. Valeria Peruca de Melo

Prof. Dr. Nome completo

Prof. Dr. Nome completo

DEDICATÓRIA

À minha família, orientadora, amigos, professores e a todos que me apoiaram e me incentivaram, participando direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por renovar a cada momento a minha força e disposição e pelo discernimento concedido ao longo dessa jornada.

Aos meus pais, Claudio Sebastião de Souza e Marcia Cristina Mota de Souza, que, com muito amor e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

À minha namorada Caroliny Reschini, que sempre me apoiou e me ajudou, dando força para que eu chegasse até aqui.

À minha orientadora, Prof.^a Dra Valéria Peruca de Melo, que acreditou na realização desse trabalho, ouvindo pacientemente as minhas considerações, compartilhou comigo seu conhecimento, suas ideias e experiências, sempre me motivando. Quero expressar o meu reconhecimento e admiração pela sua competência profissional e minha gratidão pela sua amizade.

Aos meus amigos Anderson Seller, Hilton V. Junior, Iago Ravazi, Marcus V. Vitulio, Lucas T. Franchin, Ulisses Borim, pelo companheirismo e amizade que fizemos ao longo do curso e que iremos levar para o resto de nossas vidas, o meu muito obrigado.

À todos os amigos de classe, que tanto contribuíram para a conclusão desta etapa.

À todos os professores da graduação, que foram muito importantes na minha vida acadêmica, os meus eternos agradecimentos.

À Universidade e a todos os funcionários, que colaboraram com este sonho que hoje se torna realidade.

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

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	2
3.1. CULTURA DO MILHO	2
3.2. NÍQUEL (NI).....	3
3.3. RELAÇÃO NÍQUEL E UREASE.....	6
4. MATERIAIS E MÉTODOS	6
4.1. LOCAL DO EXPERIMENTO	6
4.2. SOLO	6
4.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	7
4.4. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	9
4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	12
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
6. CONCLUSÃO	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise granulométrica da amostra de solo (0-20 cm) coletada na área em que o experimento foi conduzido	7
Tabela 2. Análise de fertilidade da amostra de solo (0-20 cm) coletada na área em que o experimento foi conduzido.....	7
Tabela 3. Dosagens de sulfato de níquel ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) aplicadas em cada tratamento	10
Tabela 4. Valores médios e resumo estatístico dos parâmetros estudados	13

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estufa da Universidade Brasil, Campus de Descalvado (SP), em que o experimento foi desenvolvido	7
Figura 2. Na dose máxima de Ni em uma única aplicação cessou crescimento da planta e resultou em esbranquiçamento das folhas.	8
Figura 3. Semeadura de cinco sementes por vaso	10
Figura 4. Amostras de milho, do dia da desmontagem dos vasos	11
Figura 5. Corte da planta rente ao solo para obtenção da produção de matéria fresca e matéria seca	11
Figura 6. Raízes das plantas de milho antes da secagem em estufa.....	12
Figura 7. Amostras de solo coletadas para realização das análises laboratoriais	12
Figura 8. Produção de matéria verde (MV) da parte aérea em função das doses de níquel	14
Figura 9. Produção de matéria seca (MS) da parte aérea em função das doses de níquel	14
Figura 10. Produção de matéria seca (MS) da raiz em função das doses de níquel	15
Figura 11. Atividade de urease em solo cultivado com milho, em função diferentes doses de níquel	16

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Ag	Agroceres
Ca	Cálcio
CO(NH ₂) ₂	Ureia
Cfa	Clima Subtropical Úmido
Cu	Cobre
CTC	Capacidade de Trocas de Cátions
°C	Graus Celsius
DAE	Dias Após Emergência
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
Fe	Ferro
ha	Hectare
H+Al	Hidrogênio + Alumínio (acidez potencial)
K	Potássio
kg	Quilograma
K ₂ O	Cloreto de Potássio
Mg	Magnésio
mL	Mililitro
M.O.	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
Ni	Níquel
NiSO ₄ .6H ₂ O	Sulfato de Níquel
N ₂	Gás nitrogênio
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforo
S	Sul
SB	Soma de Bases
t	Toneladas
V%	Saturação por Bases
W	Oeste

RESUMO

Resposta da cultura do milho à aplicação de diferentes doses de níquel quanto ao desenvolvimento da planta e à atividade da urease no solo

O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de doses crescentes de Ni sobre o desenvolvimento de plantas de milho (produção de matéria verde e matéria seca da raiz e da parte aérea) e na atividade da enzima urease no solo. O experimento foi instalado e conduzido em estufa, na Universidade Brasil, Campus de Descalvado-SP, utilizando-se vasos (9,5L). Utilizou-se delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (0,0; 52,5; 105,0; 210,0 e 420,0 kg ha⁻¹ de Ni; 0,00; 1,12; 2,24; 4,48 e 8,94 g NiSO₄.6H₂O por vaso⁻¹, respectivamente). O solo utilizado no experimento apresentou as seguintes características: argila = 30%, silte = 5%, areia = 65%; pH (CaCl₂) = 5,46; M.O. = 15 g dm⁻³, P_{resina} = 40 mg dm⁻³, K = 1,5, Ca = 10, Mg = 2, H+Al = 27, SB = 13,5, CTC = 40,5 mmol_c dm⁻³, V = 33%. Foi realizada a calagem para elevar a saturação por bases (V) a 70%, aplicando-se 1665 t ha⁻¹ de Minercal (7,9 g vaso⁻¹), igualmente em todas as unidades experimentais. Após 30 dias da aplicação do calcário, realizou-se a adubação de plantio, aplicando-se 30 kg ha⁻¹ de N (fonte ureia - 45% de N; 0,32 g vaso⁻¹), 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fonte superfosfato simples (SS) - 18% de P₂O₅; 1,85 g vaso⁻¹) e 50 kg ha⁻¹ de K₂O (fonte cloreto de potássio KCl - 58% de K₂O; 0,41 g vaso⁻¹). Em seguida, realizou-se a semeadura, inserindo-se cinco sementes por vaso. A aplicação das soluções contendo níquel nas diferentes concentrações foi dividida em duas aplicações, aos 20 e aos 35 dias após semeadura (DAS). Aos 25 DAS foi realizada a adubação de cobertura, adicionando-se 140 kg ha⁻¹ de N (fonte uréia; 1,48 g vaso⁻¹) e 80 kg ha⁻¹ de K₂O (fonte cloreto de potássio KCl; 0,66 g vaso⁻¹). Aos 90 DAS, as plantas foram cortadas rente ao solo e pesadas para obtenção da produção de matéria fresca (MF). Em seguida, foram lavadas em água destilada e encaminhadas para a estufa até atingirem peso constante para a determinação da produção de matéria seca (MS). O mesmo processo foi realizado com as raízes. Adicionalmente, foram coletadas amostras de solo, as quais foram encaminhadas para determinação da atividade ureolítica. Os resultados mostraram que no tratamento T2 (52,5 kg ha⁻¹) ocorreu um acréscimo na produção de matéria verde e seca da parte aérea e da matéria seca da raiz em relação ao tratamento T1 (testemunha). Dosagens superiores de níquel demonstraram efeito negativo em todos os parâmetros. Finalmente, a atividade da urease no solo relacionada com as aplicações de níquel apresentou resultado significativo até a dosagem T4 (210 kg ha⁻¹).

Palavras-chave: Atividade ureolítica, Metal pesado, *Zea mays* L.

ABSTRACT

Response of corn cultivation to the use of different nickel doses regarding the plant development and the urease activity in soil

The aim of this work was to evaluate the effects of using crescent doses of Nickel on the corn plants development (production of green and dry matter from the root and shoot) and on the urease enzyme activity in soil. The experiment was conducted in a greenhouse, located at Unicastelo, Campus Descalvado-SP, using 9.5L vases. It was employed a completely randomized design with five treatments (0.0; 52.5; 105.0; 210.0 and 420.0 kg ha⁻¹ Ni; 0.00; 1.12; 2.24; 4.48 and 8.94 g NiSO₄.6H₂O vase⁻¹, respectively). The characteristics of the soil used are as follow: clay = 30%, silt = 5%, sand = 65%; pH (CaCl₂) = 54.6; organic matter = 15 g.dm⁻³; P_{resin} = 40 mg dm⁻³; K = 1.5; Ca = 10; Mg = 2; H+Al = 27; sum of bases = 13.5; CEC = 40.5 mmol_c dm⁻³; base saturation = 33%. Liming was conducted to increase the base saturation to 70% through the application of 1665 t ha⁻¹ of Mineral (7.9 g vase⁻¹), equally in all the experimental units. After 30 days, it was carried out the planting fertilization, using 30 kg ha⁻¹ N (source urea - 45% N; 0.32 g vase⁻¹); 70 kg ha⁻¹ P₂O₅ (source simple superphosphate (SS) - 18% P₂O₅; 1.85 g vase⁻¹) and 50 kg.ha⁻¹ K₂O (source potassium chloride KCl - 58% K₂O; 0.41 g vase⁻¹). After that, it was proceeded the seeding, using five seeds per vase. The application of nickel solution in different concentrations occurred in two turns, 20 and 35 days after seeding (DAS). 25 DAS, It was held the top dressing; adding 140 kg ha⁻¹ N (source urea - 1.48 g vase⁻¹) and 80 kg ha⁻¹ K₂O (source potassium chloride KCl - 0.66 g vase⁻¹). 90 DAS, the plants were cut off close to the soil and weighed, in order to obtain the production of fresh matter (FM). Posteriorly, they were washed in distilled water and carried to the stove until reach constant weight and determine the production of dry matter (DM). The same process was performed to the roots. Additionally, soil samples were collected in order to determine the ureolytic activity. Results have shown that treatment T2 (52.5 kg ha⁻¹) in comparison to treatment T1 (which refers to the plants who did not receive doses of Ni to be compared to those who has received) led to an increase on the production of green and dry matter of the shoot and dray matter of the root. Higher doses of nickel demonstrated negative effect in all the parameters. Finally, the urease activity on the soil related to the nickel application showed significant result until the T4 dose (210 kg ha⁻¹).

Keywords: Ureolytic activity, Heavy metal, *Zea mays* L.

1. INTRODUÇÃO

O milho é uma gramínea que pertence à família Poaceae, gênero *Zea* e espécie *Mays* (*Zea mays* L.). É uma planta de origem tropical das Américas, principalmente do México, domesticada pelos povos da América Central, que por seleção desenvolveram inúmeras raças, sendo identificadas cerca de 300 raças ao longo dos últimos 8.000 anos (PATERNIANI et al., 2000).

Está entre as plantas de maior eficiência comercial, sendo que sua produção tem crescido, principalmente devido às atividades de avicultura ou suinocultura, onde pode ser consumido pelos animais de forma direta ou indireta e na fabricação de rações (MARCHI, 2008).

Com o aumento da demanda mundial e sua valorização, a cultura do milho passou por importantes avanços nos diversos campos da ciência agrônômica, com destaque para estudos relacionados à ecologia, a fisiologia e a nutrição, proporcionando melhor compreensão de sua relação com o ambiente da produção. Essas interações mostram-se fundamentais para a previsão do comportamento da planta e da manifestação do seu potencial produtivo (FANCELLI, 2010).

Dentro da nutrição mineral de plantas, inclusive do milho, são inúmeros os trabalhos realizados com o objetivo de alcançar o potencial máximo de produção da cultura, acompanhando o desenvolvimento do melhoramento genético das mesmas. No entanto, alguns elementos recentemente são classificados como nutrientes de plantas, como é o caso do níquel (Ni), ainda necessitam de estudos quanto à melhor dose a ser aplicada e aquelas consideradas fitotóxicas.

Apesar de tal elemento estar incluído dentro da categoria de metal tóxico, o qual é incorporado ao meio através dos insumos agrícolas e resíduos industriais, o níquel é considerado um elemento benéfico às plantas, havendo até mesmo a proposta de passar à categoria de essencial, principalmente devido à sua intervenção na ativação enzimática da urease (MALAVOLTA, 1994).

Dessa forma, é essencial que pesquisas sejam realizadas com o objetivo de estabelecer a dose mais adequada deste elemento para seu fornecimento e aproveitamento pela planta, sem causar efeitos fitotóxicos indesejados.

O níquel, atualmente considerado como elemento essencial para as plantas, tem importante papel na ativação da urease e na fixação simbiótica de nitrogênio, além de proporcionar efeitos indiretos que aumentam a tolerância a doenças.

Recentemente, trabalhos têm mostrado que o níquel também é importante para a tolerância a estresses abióticos em plantas e, dessa forma, ele pode potencializar a produtividade da cultura, no entanto, deve ser fornecido de forma controlada para que seu excesso não provoque toxidez nas plantas, o que pode reduzir a produtividade.

2. OBJETIVOS

O presente estudo tem por objetivo avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de níquel sobre o desenvolvimento da planta de milho, avaliando-se a produção de matéria verde e seca da parte aérea, a produção de matéria seca da raiz e a atividade da enzima urease no solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. CULTURA DO MILHO

O milho é uma gramínea que pertence à família Poaceae, gênero *Zea* e espécie *mays* (*Zea mays* L.). É uma planta de origem tropical das Américas, principalmente do México, domesticada pelos povos da América Central, os quais desenvolveram algumas raças através do processo de seleção, sendo identificadas cerca de 300 raças ao longo dos últimos 4000 anos (PATERNIANI, 2001 citado por PATERNIANI, 2013).

Provavelmente, o milho é a mais importante planta comercial de origem nas Américas. Há indicações que sua origem tenha sido no México, na América Central ou sudoeste dos Estados Unidos. É uma das culturas mais antigas do mundo, de acordo com provas obtidas através de escavações arqueológicas e geológicas, e de medições por desintegração radioativa. Logo depois do descobrimento da América, o milho foi levado para a Europa, onde era cultivado em jardins, até que seu valor alimentício tornou-se conhecido. Passou, então, a ser plantado em escala comercial e espalhou-se desde a latitude de 58° N (antiga União Soviética) até 40° S (Argentina) (DUARTE et al., 2015).

O milho apresenta ciclo vegetativo variado, evidenciando desde genótipos extremamente precoces, cuja polinização pode ocorrer 30 dias após a emergência, até mesmo aqueles cujo ciclo vital pode alcançar 300 dias. Nas condições brasileiras, a cultura do milho apresenta ciclo variável entre 110 e 180 dias, em função da caracterização dos genótipos (superprecoce, precoce e tardio), período este compreendido entre semeadura e colheita (FANCELLI, 2004).

De acordo com Romano (2005), o milho é o terceiro cereal em importância no mundo, perdendo apenas para o trigo e o arroz. Em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo.

Existem mais de 3500 usos diferentes para os produtos que se extraem do milho (amido, xarope, álcool, óleo, vegetal e glúten), os quais se prestam a inúmeras e diversificadas aplicações, inclusive medicinais, como a utilização do chá do milho como diurético, regulando as funções dos rins e da bexiga, além de regular a pressão e desintoxicação do sangue (FORNASIERI FILHO, 2007).

A cultura do milho (*Zea mays* L.) vem passando por importantes mudanças tecnológicas no Brasil, o que vem representando aumentos significativos de produtividade e produção. A introdução de novos componentes tecnológicos, juntamente com o aproveitamento integral e racional dos recursos disponíveis dentro da propriedade rural, promove um acréscimo na estabilidade dos sistemas de produção existentes, além de maximizar a eficiência dos mesmos, reduzindo custos e melhorando a produtividade (DAGA et al., 2009).

O uso de sementes de cultivares melhoradas, alterações no espaçamento e na densidade da semeadura, melhor aplicação de adubos e o parcelamento dos mesmos são algumas tecnologias que vêm sendo adotadas, de modo a conscientizar os produtores das melhorias na qualidade, no preparo e no uso do solo (FORNASIERI FILHO, 2007).

3.2. NÍQUEL (Ni)

O Níquel, cujo símbolo é representado como Ni, é um micronutriente catiônico componente comum das rochas ígneas, sendo um dos elementos recentemente identificados como essencial para as plantas. Era tido como tóxico, porém hoje é reconhecido seu valor como micronutriente.

Dixon et al. (1975) foram os primeiros a constatar a essencialidade do Ni para os seres vivos, quando demonstraram que a enzima urease apresentava dois átomos de Ni na sua composição estrutural.

O Ni foi inserido na lista de micronutrientes após pesquisadores verificarem que as sementes das plantas de cevadas cultivadas em soluções nutritivas com ausência de Ni, após três gerações eram inviáveis e não germinavam adequadamente, fato este que estava ligado à produção de etileno (SMITH e WOOD-BURN,1984).

Os micronutrientes desempenham múltiplas funções complexas na nutrição de plantas. Enquanto a maioria deles participa do funcionamento de muitos sistemas enzimáticos, há uma variação considerável do papel destes em funções específicas nos processos de crescimento microbiano e vegetal das plantas (BRANDY e WEIL, 2013).

Em estudos iniciais, o Ni foi considerado um elemento imóvel ou parcialmente móvel no floema. Porém, Cataldo et al. (1978), estudando o comportamento do Ni em plantas de soja, constataram que o micronutriente apresentou elevada mobilidade ao verificar que, no estágio de senescência, aproximadamente 70% do Ni presente nas folhas tinham sido remobilizados para as sementes.

De acordo com Malan e Farrant (1998), por apresentar alta mobilidade na planta, o Ni é encontrado em todo o tecido, principalmente nas sementes, sendo que, durante todo o ciclo da planta, o acúmulo ocorre de forma diferencial entre os tecidos, com maior concentração nos grãos, nas folhas e nas partes mais novas.

A fitotoxicidade do Ni é resultado de sua ação no fotossistema, causando distúrbios no ciclo de Calvin. Quando em altas concentrações no meio, pode inibir a absorção de micronutrientes metálicos, como Fe, Mn, Zn e Cu, o que causa deficiências dos mesmos. No entanto, uma leve redução na absorção de Fe poderia proporcionar menor produção de etileno, responsável pela senescência. Dessa forma, a redução da produção de etileno poderia reduzir a senescência das folhas, mantendo estas verdes por maior período, ou seja, mantendo a produção de energia durante o enchimento dos grãos, período fundamental para a determinação da massa dos grãos e da produtividade de soja. Segundo Berton et al. (2006), os sintomas de toxidez de Ni não estão bem definidos para os estádios iniciais de toxidade, mas sim nos estádios moderados e agudos.

Para os micronutrientes, a faixa entre os níveis de deficiência e de toxicidade pode ser bem estreita, tornando bem real a possibilidade de surgimento de sintomas de toxidez em plantas. A toxicidade por Ni foi observada em solos contaminados por lamas industriais, estrumes de porco e explorações extensivas de resíduos metálicos de fundições (BRANDY e WEIL, 2013).

Os sintomas peculiares de deficiência de Ni nas folhas de algumas plantas são denominados de “orelha de rato”, pois as pontas das folhas novas apresentam manchas escuras em formato arredondado, o que lhe confere um aspecto parecido com o de uma orelha de rato. Outros sintomas característicos da deficiência de Ni são a redução do tamanho da folha e o abortamento da ponta das folhas ou dos folíolos, sendo que a intensidade do abortamento é dependente do nível de deficiência, resultando em formato obtuso do ápice foliar (WOOD et al., 2006). Para tal, a realização de uma pulverização foliar com 100 mg L^{-1} (na forma de $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) foi suficiente para erradicar esse sintoma, não apresentando a planta sintoma visual de fitotoxicidade nas folhas. O Ni absorvido pelas folhas foi acumulado em regiões de reserva das plantas e, posteriormente, translocado para regiões dormentes, brotos e meristemas apicais.

Brady e Weil (2013) afirmam que a quantidade insuficiente de nutrientes é expressa por sintomas visíveis nas plantas, os quais são utilizados para diagnosticar essas deficiências.

O efeito fitotóxico do Ni é conhecido já algum tempo. Uren (1992) relata que teores de 2 mg kg^{-1} de Ni são suficientes para inibir o crescimento da raiz, sendo que a toxicidade de Ni difere conforme cada espécie vegetal.

A sintomologia da toxidez de Ni inclui clorose devido à menor absorção de Fe, crescimento reduzido da raiz e da parte aérea em casos mais severos, deformação de várias partes das plantas com manchas peculiares nas folhas (CHEN et al., 2009).

O Níquel foi inserido na Legislação Brasileira de Fertilizantes na instrução normativa N 05, de 23 de fevereiro de 2007 (MAPA, 2007). Os estudos a respeito de sua exigência pelas culturas em condições de campo e forma de utilização na agricultura se encontra em fase inicial, sendo o sulfato de Ni ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) a fonte mais empregada e estudada na agricultura.

As reservas mundiais de Ni, em 2003, foram definidas por depósitos minerais que ocorrem em vários países. Nesse contexto, Austrália, Cuba e Canadá

representam 46% do total das reservas mundiais atualmente conhecidas. No Brasil, as reservas de Ni encontram-se nos estados de Goiás (74,0%), Pará (16,7%), Minas Gerais (5,1%) e Piauí (4,2%) (ALOVISI et al., 2011).

3.3. RELAÇÃO NÍQUEL E UREASE

O níquel é constituinte da metaloenzima urease que desdobra a ureia [CO(NH₂)₂], além de participar do processo de fixação biológica do nitrogênio e desempenhar função sobre as enzimas envolvidas no metabolismo do nitrogênio. Há evidências de que a aplicação de Ni em soja melhora a fixação biológica de nitrogênio (FBN), a principal forma de obtenção de nutriente pela planta. A FBN é o processo pelo qual o nitrogênio da atmosfera (N₂) é captado e convertido por bactérias do gênero *Bradyrhizobium* sp. (que vivem em simbiose com a planta em suas raízes) em compostos nitrogenados assimiláveis pelo vegetal. Em plantações que recebem aplicações de Ni, percebe-se melhor formação de nódulos nas raízes, evidência de maior presença das bactérias ativas para suprir a demanda de nitrogênio da soja (EMERICH et al., 1979; CÂMARA, 2014).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado e conduzido em estufa (Figura 1), na Universidade Brasil, Campus de Descalvado, Estado de São Paulo, Brasil (21°54'14" S, 47°37'10" W, altitude 685m, clima subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger).

4.2. SOLO

O solo utilizado foi coletado no município de Descalvado-SP, o qual apresentou a composição granulométrica e os atributos químicos apresentados nas Tabelas 1 e 2.



Figura 1. Estufa da Universidade Brasil, Campus de Descalvado (SP), em que o experimento foi desenvolvido.

Fonte: Arquivo pessoal

Tabela 1. Análise granulométrica da amostra de solo (0-20 cm) coletada na área em que o experimento foi conduzido.

Argila	Silte	Areia		Classe Textural	
		Total	Grossa		Fina
----- % -----		-----			
30	5	65	24	41	Franco argilo arenosa

Tabela 2. Análise de fertilidade da amostra de solo (0-20 cm) coletada na área em que o experimento foi conduzido.

pH	M.O.	P _{resina}	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----			-----			%
4,6	15	40	1,5	10	2	27	13,5	40,5	33

4.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi instalado em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 5 repetições, totalizando 25 unidades experimentais. Foram utilizados vasos com capacidade para 9,5 L, preenchidos com

7,5 kg de terra homogeneizada e peneirada. Utilizou-se como planta teste o milho (*Zea mays* L.), híbrido AG8061. Os tratamentos testados foram:

- T1 - 0,0 kg ha⁻¹ de Ni (testemunha);
- T2 - 52,5 kg ha⁻¹ de Ni (1,12 g vaso⁻¹ de Ni);
- T3 - 105,0 kg ha⁻¹ de Ni (2,24 g vaso⁻¹ de Ni);
- T4 - 210,0 kg ha⁻¹ de Ni (4,47 g vaso⁻¹ de Ni) e;
- T5 - 420,0 kg ha⁻¹ de Ni (8,94 g vaso⁻¹ de Ni).

A fonte utilizada foi o sulfato de níquel hexahidratado (NiSO₄.6H₂O), sendo o fornecimento das doses realizado em duas aplicações, a primeira aos 20 dias após a semeadura (DAS), e a segunda aos 35 DAS. Esse parcelamento ocorreu em função de teste realizado em uma planta, a qual recebeu a maior dose em uma única aplicação, em que foi detectado efeito severo no desenvolvimento da planta, como mostrado na Figura 2.



Figura 2. Na dose máxima de Ni em única aplicação cessou crescimento da planta e resultou em esbranquiçamento das folhas.

Fonte: Arquivo pessoal

4.4. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os vasos de material de plástico, com capacidade de 9,5 L, foram preenchidos com 7,5 kg de terra. De acordo com o resultado da análise de fertilidade e com a recomendação do Boletim 100, foi necessário realizar a calagem para elevar a saturação por bases (V) a 70% recomendado para a cultura de milho (*Zea mays* L.). O calcário agrícola utilizado foi o Mineral Agrícola (PRNT=90%), aplicado igualmente em todas as unidades experimentais, 1665 t ha⁻¹ (7,9 g vaso⁻¹).

Após 30 dias da aplicação do calcário, realizou-se a adubação de plantio de acordo com o resultado da análise de fertilidade e segundo a recomendação para a cultura, buscando a produtividade máxima. Aplicou-se, em cada unidade experimental, o equivalente a:

- 30 kg ha⁻¹ de N (fonte ureia - 45% de N; 0,32 g vaso⁻¹);
- 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fonte superfosfato simples (SS) - 18% de P₂O₅; 1,85 g vaso⁻¹) e;
- 50 kg ha⁻¹ de K₂O (fonte cloreto de potássio (KCl) - 58% de K₂O; 0,41 g vaso⁻¹).

Em seguida, realizou-se a semeadura, inserindo-se cinco sementes por vaso (Figura 3), sendo estes irrigados diariamente, de modo a manter o teor de umidade do solo próximo a 50% da capacidade de retenção.

Aos 10 dias após a semeadura (DAS) foi realizado o desbaste, com o objetivo de conduzir apenas duas plantas por vaso, deixando-se os restos do desbaste picados nos respectivos vasos.

A aplicação da solução contendo as diferentes doses de Ni foi realizada em duas etapas, a primeira aos 20 DAS, e a segunda aos 35 DAS (Tabela 3), utilizando-se o sulfato de níquel (NiSO₄.6H₂O) como fonte.

Aos 25 DAS foi realizada a adubação de cobertura, seguindo as recomendações do Boletim 100 para a cultura. Aplicou-se, igualmente em todas as unidades experimentais, o equivalente a 140 kg ha⁻¹ de N (fonte ureia; 1,48 g vaso⁻¹) e 80 kg ha⁻¹ de K₂O (fonte cloreto de potássio (KCl); 0,66 g vaso⁻¹).



Figura 3. Semeadura de cinco sementes por vaso.
Fonte: Arquivo pessoal

Tabela 3. Quantidades de sulfato de níquel ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) utilizadas nos respectivos tratamentos estudados.

Tratamentos	Dose de Ni	1ª Aplicação	2ª Aplicação	Total
	---- kg ha^{-1} ----	----- g vaso^{-1} -----		
T1(testemunha)	0	0	0	0
T2	52,5	0,56	0,56	1,12
T3	105,0	1,12	1,12	2,24
T4	210,0	2,24	2,24	4,48
T5	420,0	4,47	4,47	8,94

A desmontagem dos vasos ocorreu aos 90 DAS, e o estágio de desenvolvimento das plantas é mostrado na Figura 4. As plantas foram cortadas rente ao solo (Figura 5) e pesadas para obtenção da produção de matéria fresca (MF). Em seguida, foram lavadas em água destilada e encaminhadas para a estufa com circulação forçada de ar, onde permaneceram a 60-70°C até atingirem peso constante para a determinação da produção de matéria seca (MS).



Figura 4. Amostras de milho, do dia da desmontagem dos vasos.
Fonte: Arquivo pessoal



Figura 5. Corte da planta rente ao solo para obtenção da produção de matéria fresca e matéria seca.
Fonte: Arquivo pessoal

As raízes foram removidas dos respectivos vasos, conforme a Figura 6, lavadas em água corrente e, posteriormente, em água destilada e encaminhadas para estufa com circulação forçada de ar mantida a 60-70°C até atingirem peso constante para determinação da matéria seca (MS).

Foram coletadas amostras de solo (Figura 7), as quais foram encaminhadas, juntamente com as amostras secas da planta, para ao Laboratório de Biogeoquímica da FCAV/UNESP – Campus de Jaboticabal para serem analisadas.

Foram avaliados os teores de N e atividade da enzima urease nas amostras de solo.



Figura 6. Raízes das plantas de milho antes da secagem em estufa.
Fonte: Arquivo pessoal



Figura 7. Amostras de solo coletadas para realização das análises laboratoriais.
Fonte: Arquivo pessoal

4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F com a realização das regressões, escolhendo-se a equação de melhor ajuste para as doses de Ni aplicadas ao solo. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade com o auxílio do Software ASSISTAT Versão 7.7 beta (SILVA, 2015).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta os valores médios e o resumo estatístico dos parâmetros estudados, ou seja, matéria verde (MV) da parte aérea, matéria seca (MV) da parte aérea, matéria seca (MS) da raiz e atividade de urease no solo em função das dosagens de níquel. Os resultados mostram que o uso de níquel em

diferentes doses levou a uma variação significativa dentro de cada parâmetro. Tal variação é explicada pela relação quadrática entre cada variável e a dose de Ni empregada, como segue: MV parte aérea: $R^2 = 0,9843$, MS parte aérea: $R^2 = 0,9903$, MS raiz: $R^2 = 0,9524$.

Tabela 4. Valores médios e resumo estatístico para matéria verde (MV) e matéria seca (MV) da parte aéreas, e matéria seca (MS) da raiz de plantas de milho e atividade de urease em solo de acordo com as doses de Ni (fonte sulfato de níquel) aplicadas via solo.

Dose de Ni -- kg ha ⁻¹ --	MV parte aérea ----- g planta ⁻¹ -----	MS parte aérea ----- g planta ⁻¹ -----	MS raiz -----	Urease mg kg ⁻¹ h ⁻¹
0	41,80 ab	5,00 a	5,70 ab	6,96 b
52,5	42,68 a	5,20 a	6,46 a	11,39 b
105,0	36,36 ab	4,82 a	5,58 ab	20,38 a
210,0	31,24 b	4,12 a	4,34 b	24,37 a
420,0	14,98 c	2,06 b	1,84 c	24,00 a
Reg. Linear	63,9034 **	31,5957 **	61,4381 **	148,5194 **
Reg. Quadrática	11,8363 **	11,2235 **	21,8811 **	10,1755 **
C.V. (%)	17,22	20,55	18,50	15,68

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os gráficos da produção de matéria verde da parte aérea, matéria seca da parte aérea e matéria seca da raiz são apresentados, respectivamente, nas Figuras 8, 9 e 10. Nota-se que todos demonstraram comportamento semelhante, ajustando-se a uma equação quadrática, com valores de produção decrescentes em função do aumento das doses de níquel.

No tratamento T2, em que foi aplicada a dosagem de 52,5 kg ha⁻¹ de Ni, ocorreu um acréscimo na produção de matéria verde e seca da parte aérea e da matéria seca da raiz em relação ao tratamento T1 (testemunha), em que não foi aplicado o micronutriente. A partir desta dose, observou-se efeito negativo da aplicação de Ni no desenvolvimento das plantas de milho, atingindo os menores valores na dose 420 kg ha⁻¹ (tratamento T5). Com esse resultado, pode-se considerar que a dose de 52,5 kg ha⁻¹ já é elevada para a cultura de milho, e que, com o aumento das doses, ocorreu possível fitotoxicidade, influenciando o desenvolvimento da planta e sua produção de matéria verde e seca.

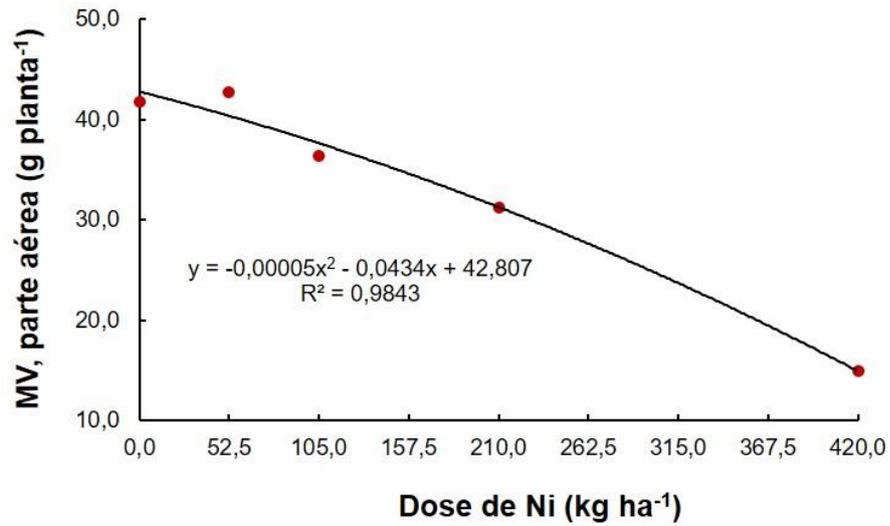


Figura 8. Produção de matéria verde (MV) da parte aérea em função das doses de níquel.
Fonte: Arquivo pessoal

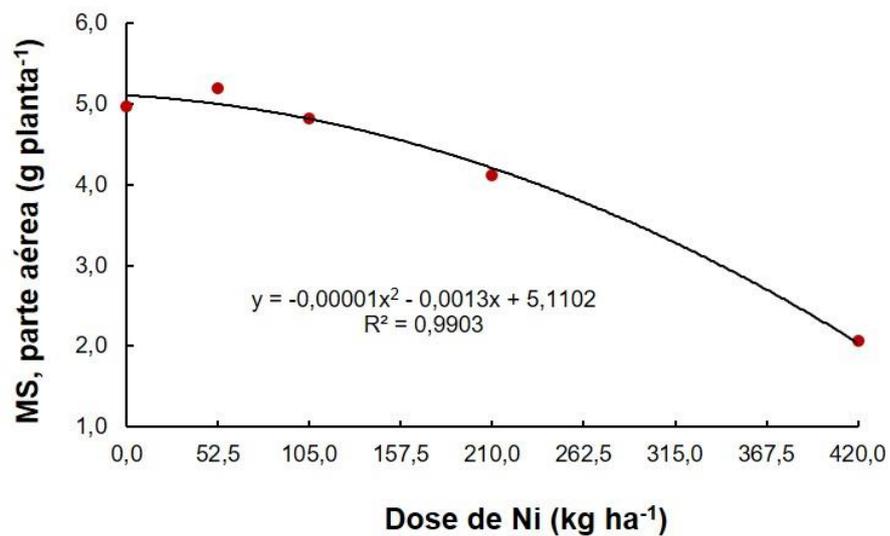


Figura 9. Produção de matéria seca (MS) da parte aérea em função das doses de níquel.
Fonte: Arquivo pessoal

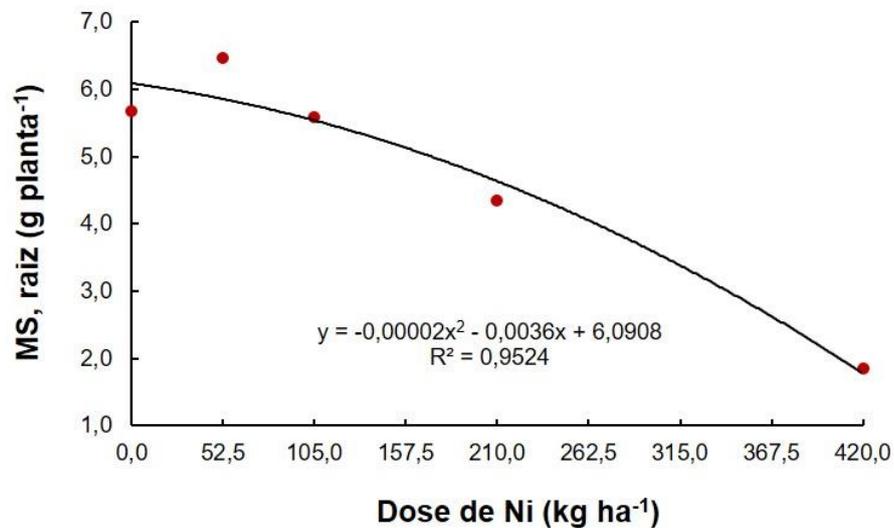


Figura 10. Produção de matéria seca (MS) da raiz em função das doses de níquel.
Fonte: Arquivo pessoal

O teor normal de Ni na matéria seca de plantas varia de 0,1 a 5 mg kg⁻¹, dependendo da espécie, da parte da planta, do estágio de maturidade na época de amostragem, do teor no solo, da acidez do solo, entre outros fatores (MITCHELL, 1945). Em geral, a toxidez de Ni se expressa quando a sua concentração na matéria seca das plantas é superior a 50 mg kg⁻¹, com exceção das espécies acumuladoras e hiperacumuladoras (ADRIANO, 1986).

Trabalho realizado por Rodak (2014) mostra que doses de 0,7 e 0,9 mg dm⁻³ de Ni proporcionaram maior acúmulo de massa seca de raízes de soja cultivada em solo franco arenoso e argiloso, respectivamente, sendo que tal comportamento repercutiu em incremento no acúmulo de matéria seca total.

A concentração de Ni em raízes de milho foi consideravelmente mais elevada do que na parte aérea, o que indicou a tendência das plantas de milho a acumularem maiores teores de Ni em raízes através do seu transporte seletivo em brotos (HUILLIER et al., 1996; BACCOUCH et al., 1998).

De acordo com Robertson (1985), o primeiro e mais importante efeito tóxico do Ni sobre o milho é a destruição da integridade dos meristemas da raiz.

A maior inibição no crescimento da raiz em milho é possivelmente devido aos níveis mais elevados de Ni encontrados nessa parte da planta (CATALDO, 1978).

Esse processo é caracterizado por redução no comprimento das raízes principal e lateral, além da redução na densidade de raízes laterais e pelos radiculares.

A inibição do crescimento da raiz é um efeito precoce da presença de metais pesados em níveis tóxicos para as plantas (BARCELÓ, 1990).

Em relação à atividade de urease, a adição de níquel foi favorável até a dose 210 kg ha⁻¹ (tratamento T4), a partir da qual houve uma deflexão, com tendência a decréscimo da atividade enzimática (Figura 11).

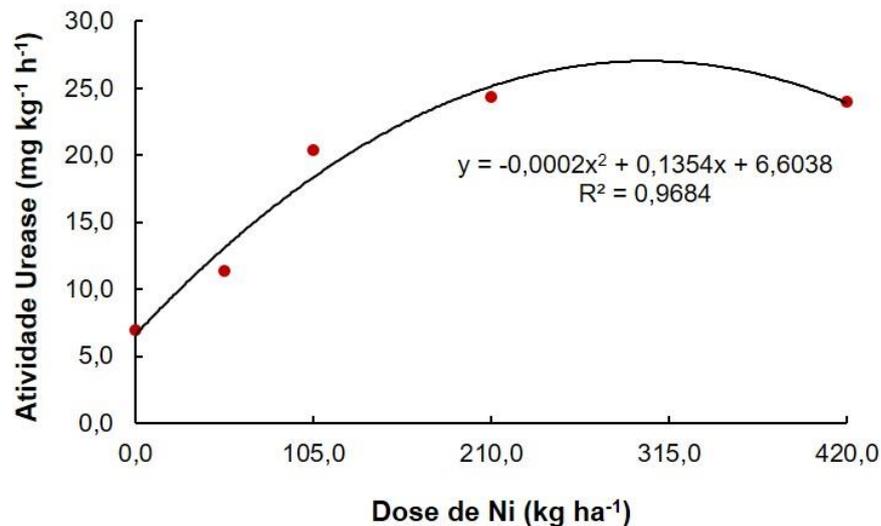


Figura 11. Atividade de urease em solo cultivado com milho, em função diferentes doses de níquel.
Fonte: Arquivo pessoal

Franco (2015), trabalhando com tratamento de soja com doses de níquel, obteve aumento na fixação biológica de nitrogênio (FBN), favorecendo o acúmulo de Ni e N nos grãos, com aumento da atividade da urease. Segundo o mesmo autor, a aplicação de baixas doses de Ni, entre 45 a 90 mg kg⁻¹, o que equivale a dose entre 2,5 a 5,0 g ha⁻¹, aplicada via semente, proporciona aumento do acúmulo de nutrientes na planta, incremento na massa seca da parte aérea, da massa seca de nódulos, aumento no teor de clorofila (índice SPAD) e da produção de grãos de soja. Outros trabalhos determinaram que o níquel é essencial para a ativação da urease, enzima que está envolvida no metabolismo do nitrogênio, a qual é necessária para processar a ureia. Possivelmente, a urease e o Ni são necessários para a mobilização de nitrogênio armazenado pelas sementes através de ureídeos ou arginina durante a fase inicial de crescimento das mudas (BARKER, 2007; BACCOUCH et al., 2001).

Cultivando soja a campo, no Brasil, Moraes et al. (2010) verificaram que o fornecimento de 50 g ha⁻¹ de Ni proporcionou aumento de até 6,2 sacas ha⁻¹, aventando que o Ni estaria atuando no controle de doenças fúngicas e, assim, aumentando a produtividade da soja de forma indireta.

6. CONCLUSÃO

A respeito da produção de matéria seca, tanto de raiz quanto de parte aérea, houve acréscimo com a aplicação de 52,5 kg ha⁻¹ de níquel, e decréscimo com dosagens superiores a essa.

A atividade da urease foi estimulada até a aplicação de 210 kg ha⁻¹ de Ni.

Nas condições em que o experimento foi conduzido, a aplicação de até 52,5 kg ha⁻¹ de Ni resulta em efeitos benéficos para as plantas de milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag, 1986. 533p.
- ALOVISI, A.M.T.; MAGRI, J.; DUTRA, J.E.; MAGRI, E.; SANTOS, M.J.G.; ALOSIVI, A.A. Adubação foliar com sulfato de níquel na cultura da soja. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.15, p.25-32, 2011. Disponível em: < <http://www.redalyc.org/pdf/260/26024358003.pdf>>. Acesso em 09 de junho de 2016.
- BACCOUCH, S.; CHAOUI, A.; EL FERJANI, E. Nickel toxicity: effects on growth and metabolism of maize. **Journal of Plant Nutrition**, v.21, p.577-588, 1998.
- BACCOUCH, S.; CHAOUI A.; EL FERJANI, E. Nickel toxicity induces oxidative damage in *Zea mays* roots. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.1085-1097, 2001.
- BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Plant water relations as affected by heavy metals stress: a review. **Journal of Plant Nutrition**, v.13, p.1-37, 1990.
- BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. **Handbook of Plant Nutrition**. Boca Raton: CRC Press, 2007. 632p.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.
- BERTON, R.S.; PIRES, A.M.M.; ANDRADE, S.A.L.; ABREU, C.A.; AMBROSANO, E.J.; SILVEIRA, A.P.D. Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1305-1312, 2006. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n8/31708.pdf>>. Acesso em 11 de junho de 2016.
- CÂMARA, G.M.S. Fixação biológica do nitrogênio em soja. **Informações Agronômicas**, n.147, p.1-9, 2014. Disponível em:< [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/B7FB85D4FAD745CF83257D660046A90D/\\$FILE/Page1-9-147.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/B7FB85D4FAD745CF83257D660046A90D/$FILE/Page1-9-147.pdf)>. Acesso em 12 de maio de 2016.
- CATALDO, D.A.; GARLAND, T.R.; WILDUNG, R.E. Nickel in plants: distribution and chemical form in soybean plants. **Plants Physiology**, v.62, p.566-570, 1978.
- CHEN, C.; HUANG, D.; LIU, J. Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. **Clean**, v.37, p.304-313, 2009. Disponível em:< http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/Ni_chen.pdf>. Acesso em 25 de maio de 2016.
- DAGA, J.; RICHART, A.; NOZAKI, M.H.; ZANETTI, T.A.; ZANETTI, R.D. Desempenho do milho em função da adubação química e orgânica. **Synergismus científica UTFPR**, v.4. 2009. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/viewFile/506/280>>. Acesso em 27 de maio de 2016.

DIXON, N.E.; GAZZOLA, C.; BLAKKELEY, R.L.; ZENNER, B. Jack bean urease (EC 3.5.1.5). Metalloenzyme. Simple biological role for nickel. **Journal of the American Chemical Society**, v.97, p.4131-4133,1975.

DUARTE, J.O.; MATTOSO, M.J.; GARCIA, J.C. **Árvore do conhecimento: milho** Brasília: EMBRAPA, 2015. Online. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAGO1_8168200511157.html>. Acesso em 6 de julho de 2016.

EMERICH, D.W.; RUIZ-ARGÜESO, T.; CHING, T.M.; EVANS, H.J. Hydrogen dependent nitrogenase activity and ATP formation in *Rhizobium japonicum* bacteroids. **Journal of Bacteriology**, v.137, p.153-160, 1979. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC218429/pdf/jbacter00284-0173.pdf>>. Acesso em 9 de agosto de 2016.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2.ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.

FANCELLI, A.L. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes na cultura de milho. **IPNI Informações Agronômicas**, n.131, Piracicaba, 2010. 16p. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/3F77E1CD143BB9F283257A8F0060D281/\\$FILE/Page1-16-131.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/3F77E1CD143BB9F283257A8F0060D281/$FILE/Page1-16-131.pdf)>. Acesso em 15 de maio de 2016.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**.1.ed. Jaboticabal: Funep, 2007. 273p.

FRANCO, G.C. **Tratamento de sementes de soja com níquel para o aumento da fixação biológica e atividade da urease**. 2015, 62p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64134/tde-19052015-143424/en.php>>. Acesso em: 07 de setembro de 2016.

HUILLIER, L.L.; AUZAC, J.; DURAND, M.; MICHAUD-FERRIER, N. Nickel effects on two maize (*Zea mays*) cultivars: growth, structure, Ni concentration and localization. **Canadian Journal of Botany**, v.74, p.1547-1554, 1996. Disponível em: <http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/b_fdi_47-48/010010341.pdf>. Acesso em 11 de junho de 2016.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental – Micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, 1994. 153p.

MALLAN, H.L.; FERRANT, J.M. Effects of the metal pollutants cádmium and nickel on soybean seed development. **Seed Science**, v.8, p.445-453, 1988.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instituto normativa MAPA. 2007 (D.O.U. 01/03/2007). Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/saude-vegetal/legislacao>>. Acesso em 09 de junho de 2016.

MARCHI, S.L. **Interação entre desfolha e população de plantas na cultura do milho na região oeste do Paraná**. 2008. 58p. Marechal Cândido Rondon: Universidade Estadual do Oeste do Paraná. (Dissertação – Mestrado em Agronomia).

MITCHELL, R.L. Cobalt and nickel in soils and plants. **Soil Science**, v.60, p.63-70, 1945.

MORAES, M.F.; ABREU JUNIOR, C.H.; LAVRES JUNIOR, J. Micronutrientes. In: PROCHNOW, L.I.; CASARN, V.; STIPP, S.R. (Eds.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, v.2. 2010. p.205-278

PATERNIANI, E.; NASS, L.L.; SANTOS, M.X. O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil – uma abordagem histórica da utilização do germoplasma. In: UDRY, C.W.; DUARTE, W. (Org). **Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos**. Brasília: Paralelo 15, 2000. p.11-14.

PATERNIANI, M.E.A.G.Z. Use of heterosis in maize breeding: history, methods and perspectives – A review. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, p.159-178, 2001.

ROBERTSON, A.I. The poisoning of roots of *Zea mays* by nickel ions, and the protection afforded by magnesium and calcium. **The New Phytologist**, v.100, p.173-189, 1985. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.1985.tb02769.x/pdf>>. Acesso em 06 de maio de 2016.

RODAK, B.W. **Níquel em solos na cultura de soja**. 2014, 100p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ROMANO, M.R. **Desempenho fisiológico da cultura do milho com plantas de arquitetura e contraste: parâmetros para modelos de crescimento**. 2005. 120p. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de concentração em Fitotecnia). Piracicaba: ESALQ/USP.

SILVA, F.A.S. **Software ASSISTAT: Assistência estatística. Versão 7.7 beta**. Campina Grande: UAUF-CTRN-UFCG, 2015.

SMITH, N.G.; WOOD-BURN, J. Nickel and ethylene involvement in the senescence of leaves and flowers. **Naturwissenschaften**, v.71, p.210-211, 1984.

UREN, N.C. Forms reaction and availability of nickel in soils. **Advances in Agronomy**, v.48, p.141-203, 1992.

WOOD, B.W.; REILLY, C.C.; NYCZEPIR, A.P. Field deficiency of nickel in trees: symptoms and causes. **Acta Horticulturae**, v.721, p.83-97, 2006. Disponível em: < <https://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=23592&content=PDF>>. Acesso em 23 de maio de 2016.