TOXIDEZ DO NÍQUEL EM ARROZ E FEIJÃO

DANIEL FERNANDO PICCINI ANTÓN

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas

PIRACICABA

ESTADO DE SÃO PAULO-BRASIL

NOVEMBRO - 1990

TOXIDEZ DO NÍQUEL EM ARROZ E FEIJÃO

DANIEL FERNANDO PICCINI ANTÓN

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof.Dr. Eurípedes Malavolta

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas

PIRACICABA

ESTADO DE SÃO PAULO-BRASIL

NOVEMBRO - 1990

TOXIDEZ DO NÍQUEL EM ARROZ E FEIJÃO

Daniel Fernando Piccini Antón

Aprovado em 08/02/1991

COMISSÃO JULGADORA:

Prof.Dr. Eurípedes Malavolta

ESALQ/USP

Prof.Dr. Francisco de Assis Ferraz de Mello

ESALQ/USP

Prof.Dr. Takashi Muraoka

CENA/USP

Dr. José Maria Ayres Valadares

IAC

Dr. Ciro Rosolem

UNESP/Botucatu

Prof.Dr. Eurípedes Malavolta

-Orientador-

Aos meus queridos pais,
Daniel Ildefonso e Maryblanca,
e aos meus irmãos, com
gratidão

OFEREÇO

A minha esposa *Marina Esther,*
A minha filha *Maria Fernanda*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof.Dr. Eurípedes Malavolta pela orientação, colaboração, compreensão, estímulo e amizade;

À ESALQ, CENA, CIAGRI, FINEP, ANDA e UNAS, pelas oportunidades de aperfeiçoamento oferecidas;

Aos Professores Geraldo Victorino de França, Zilmar Ziller Marcos e José Luiz Ioriatti Demattê, pela atenção e sinceridade;

À Dra. Neusa de Lima Nogueira pelas sugestões e colaboração nos estudos de Microscopia Eletrônica;

Aos Técnicos de Laboratório Cleusa Pereira Cabral, Maria Lígia Malavolta, Mônica Lanzoni e José Elias Gomes, pela colaboração;

Aos colegas de curso Valdinei Tadeu Paulino e Vera Lúcia Martins de Carvalho pelas sugestões na realização deste trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de estudos concedida;

Aos funcionários da Divisão de Biblioteca e Documentação da Prefeitura do Campus de Piracicaba Kátia M.P.de Andrade e Eliana Maria Garcia Sabino, pelo auxílio durante a elaboração deste trabalho;

Às funcionárias da Seção de Pós-Graduação, pela atenção dispensada durante estes longos anos de convivência;

À Sra. Elisa S. Peron, pelo excelente trabalho datilográfico.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Propriedades Gerais do Níquel	4
2.2. Níquel nos Solos	5
2.2.1. Níquel total	6
2.2.2. Níquel extraível	6
2.2.3. Formas de Ni nos solos	7
2.2.4. Adsorção e complexação do Ni no solo	9
2.2.5. Fatores que afetam sua movimentação e disponibilidade	10
2.3. Níquel nas Plantas	12
2.3.1. Níquel na nutrição das plantas	12
2.3.2. Efeitos benéficos do Ni no desenvolvimento das plantas	14
2.3.3. Interações do Ni com outros elementos	15
2.3.4. Toxidez de Ni e seu controle	16
2.3.5. Plantas acumuladoras e hiperacumuladoras	18
2.3.6. Sintomatologia da deficiência e toxidez de Ni	19

	Página
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. Cultivares ou variedades utilizadas	21
3.2. Ensaaios em solução nutritiva	21
3.2.1. Procedimento geral	21
3.2.2. Tratamentos	22
3.3. Ensaaios em solos	25
3.3.1. Solos utilizados	25
3.3.2. Procedimento geral	26
3.3.3. Tratamentos	27
3.4. Análise do teor de clorofila total	29
3.5. Estudos de Microscopia Eletrônica	29
3.6. Colheita e preparo do material para análise	30
3.7. Análises químicas	31
3.8. Delineamento experimental e análise estatística	32
4. RESULTADOS	33
4.1. Ensaaios em solução nutritiva	33
4.1.1. Ensaio 1. Estabelecimento dos níveis de Ni a serem utilizados	33
4.1.2. Ensaio 2. Avaliação dos efeitos da toxi- dez de Ni em feijão	36
4.1.3. Ensaio 3. Avaliação dos efeitos da toxi- dez de Ni em dois cultivares de feijão	39
4.1.4. Ensaio 4. Avaliação dos efeitos da toxi- dez de Ni em duas variedades de arroz	46

	Página
4.1.5. Sintomatologia da toxidez de Ni	52
4.1.6. Estudos preliminares dos efeitos da toxidez de Ni nas folhas de arroz e feijão, a nível ultraestrutural	54
4.2. Ensaaios em solos	56
4.2.1. Avaliação dos efeitos da toxidez de Ni em três solos ácidos	56
4.2.2. Avaliação dos efeitos da calagem no controle da toxidez de Ni em dois solos ácidos	67
4.2.3. Ni-solúvel em DTPA-TEA em solos ácidos com e sem calagem	74
5. DISCUSSÃO	79
5.1. Ensaaios em solução nutritiva	79
5.1.1. Produção de matéria seca	79
5.1.2. Teor de nutrientes e níquel em feijão e arroz	81
5.1.3. Estudos preliminares dos efeitos da toxidez de Ni nas folhas de arroz e feijão, a nível ultraestrutural	85
5.1.4. Sintomatologia da toxidez de Ni	86
5.2. Ensaaios em solos	87
5.2.1. Efeitos da toxidez de Ni em três solos ácidos	87
5.2.2. Efeitos da calagem no controle da toxidez de Ni em dois solos ácidos	89

5.2.3. Ni-solúvel em DTPA-TEA em solos ácidos com e sem calagem	91
6. CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
APÊNDICES	115

LISTA DE TABELAS

Tabela nº		Página
1	Características físicas e químicas dos solos	25
2	Produção de matéria seca nas culturas de arroz e feijão, em função dos níveis de níquel na solução nutritiva	34
3	Produção de matéria seca e teor de clorofila total em feijão cultivar Carioca, em função dos níveis de níquel na solução nutritiva	37
4	Produção de matéria seca de dois cultivares de feijão coletados por ocasião da floração e da formação de grãos, e teor de clorofila total nas folhas, em função dos níveis de níquel na solução nutritiva	41
5	Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em dois cultivares de feijoeiro (Y), e ppm de Ni (X) na solução nutritiva	44
6	Produção de matéria seca de duas variedades de arroz, coletadas por ocasião do máximo perfilhamento e da formação de grãos, e teor de clorofila total, em função dos níveis de níquel na solução nutritiva	47
7	Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em duas variedades de arroz (Y), e ppm de Ni (X) na solução nutritiva	50

Tabela nº

Página

8	Produção de matéria seca em feijão cultivar Cario <u>ca</u> , em função dos níveis de níquel, em três solos	57
9	Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) de feijoeiro (Y), e ppm de níquel (X) em três solos ácidos	59
10	Produção de matéria seca em arroz variedade IAC-165, em função dos níveis de níquel em três solos	63
11	Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em arroz (Y), e ppm de níquel (X) em três solos ácidos	65
12	Produção de matéria seca em feijão cultivar Ca-rioca, em função dos níveis de níquel e da calagem em dois solos ácidos	68
13	Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em feijoeiro (Y), e ppm de níquel (X) em dois solos ácidos com e sem calagem	71
14	Produção de matéria seca em arroz variedade IAC-165 em função dos níveis de níquel e da calagem em dois solos ácidos	73
15	Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em arroz (Y), e ppm de níquel (X) em dois solos ácidos com e sem calagem	75

Tabela nº		Página
16	Equações de regressão entre a produção de matéria seca total (g/vaso) nas culturas de arroz e feijão (Y), e $\mu\text{g/ml}$ de Ni-solúvel em DTPA-TEA (X) em três solos ácidos	77
17	Equações de regressão entre a produção de matéria seca total (g/vaso) nas culturas de arroz e feijão (Y), e $\mu\text{g/ml}$ de Ni-solúvel em DTPA-TEA (X) em dois solos ácidos com e sem calagem	77

LISTA DE FIGURAS

Figura nº		Página
1	Relação entre a produção de matéria seca total (g/vaso) nas culturas de arroz e feijão, e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva	35
2	Relação entre a produção de matéria seca total (g/vaso) e o teor de clorofila total nas folhas ($\mu\text{g/g}$ de matéria fresca) de feijão, e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva	38
3	Relação entre as quantidades totais de P e Mg (mg/vaso), Cu e Mn ($\mu\text{g/vaso}$) no feijoeiro, e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva	40
4	Relação entre a produção de matéria seca total da primeira coleta (g/vaso), teor de clorofila total nas folhas ($\mu\text{g/g}$ de matéria fresca) e produção de matéria seca total da segunda coleta nos dois cultivares de feijão (Carioca e IAPAR-14), e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva	42
5	Relação entre os teores de nutrientes e níquel (% e ppm) nas folhas de feijão para as duas coletas (floração e formação de grãos), e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva	45
6	Relação entre a produção de matéria seca total da primeira coleta (g/vaso), teor de clorofila total ($\mu\text{g/g}$ de matéria fresca) e produção de matéria seca total da segunda coleta nas duas variedades de arroz (IAC-165 e IAC-4440), e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva	48

Figura nº		Página
7	Relação entre os teores de nutrientes e níquel (% e ppm) nas folhas de arroz para as duas coletas (perfilhamento e formação de grãos), e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva	51
8	Eletrofotomicrografias de tecidos foliares de plantas de feijoeiro cv. Carioca (A) e de arroz v. IAC-165 (B) cultivadas em soluções nutritivas contendo Ni (ppm) nos níveis de $A_1 = 0$; $A_2 = 4$; $B_1 = 0$; $B_2 = 8$	55
9	Relação entre a produção de matéria seca total (g/vaso) em feijoeiro, e níveis de níquel (ppm) em três solos ácidos	58
10	Relação entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) nas folhas de feijoeiro, e níveis de níquel (ppm) no solo	60
11	Relação entre a produção de matéria seca total (g/vaso) em arroz, e níveis de níquel (ppm) em três solos ácidos	64
12	Relação entre teores de nutrientes (% e ppm) nas folhas de arroz, e níveis de níquel (ppm) no solo	66
13	Relação entre a produção de matéria seca total (g/vaso) em feijoeiro, e níveis de níquel em dois solos ácidos (LRd e TE) com e sem calagem	69

Figura nº

Página

14	Relação entre teores de Mn e Ni (ppm) nas folhas de feijoeiro, e níveis de níquel no solo com e sem calagem	72
15	Relação entre teores de Mn (ppm) nas folhas de arroz, e níveis de níquel no solo com e sem calagem	76

TOXIDEZ DO NÍQUEL EM ARROZ E FEIJÃO

Autor: Daniel Fernando Piccini Antón

Orientador: Eurípedes Malavolta

RESUMO

Com o objetivo de estudar os efeitos da toxidez de Ni nas culturas de arroz (*Oryza sativa* L.) e de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), foram realizados experimentos em solução nutritiva e solos ácidos, com adição de doses crescentes de Ni. Observou-se também os efeitos da calagem de solos ácidos no controle da toxidez de Ni.

Em solução nutritiva, as doses de Ni foram 0, 1, 2, 4, 8 e 16 ppm, para ambas espécies de plantas. A queda na produção da matéria seca total em função de doses crescentes de Ni, demonstra uma maior tolerância a altas doses de Ni do arroz em relação ao feijão. Tomando como base estes resultados estabeleceram-se as doses de Ni a serem utilizadas nas culturas de feijão (0, 1, 2 e 4 ppm) e do arroz (0, 4, 8 e 12 ppm).

No feijão, comparando a produção de matéria seca total de dois cultivares observou-se que o cultivar IAPAR-14 mostrou-se ser mais tolerante do que o cultivar Carioca a altas doses de Ni em solução nutritiva. No arroz, também se verificaram diferenças varietais,

em relação a sua tolerância a altas doses de Ni. A variedade IAC - 165 foi um pouco mais tolerante do que a variedade IAC-4440. Análise dos teores de nutrientes mostra que o Ni afeta a absorção de nutrientes, sendo observadas as seguintes interações antagônicas: Ni x Mg e Ni x Fe no feijão, Ni x Ca, Ni x Mg e Ni x Mn no arroz. Também verificou-se que o Ni acumula-se principalmente nas raízes das plantas.

Estudos a nível ultra-estrutural em folhas de arroz e feijão mostraram que altas doses de Ni afetam principalmente os cloroplastos. Por outro lado, os teores de clorofila total nas folhas de arroz e feijão reduziram-se conforme aumentaram-se as doses de Ni na solução nutritiva.

A sintomatologia característica da toxidez do Ni em plantas de arroz e de feijão consistiu na presença de clorose internervural de folhas novas que progride rapidamente para as folhas mais velhas. No arroz, a folha inteira pode ficar esbranquiçada. Em estádios mais adiantados, apareceram manchas necróticas na parte aérea da planta, e ocorreu uma diminuição no tamanho. No sistema radicular reduziu-se o crescimento das raízes laterais. As raízes foram de menor tamanho, quebradiças e de aparência "coralóide".

Experimentos realizados em três solos (V, LRd e TE), com adições de doses crescentes de Ni (0, 30, 60 e 120 ppm), mostraram que altas doses de Ni reduziram a produção de matéria seca total no feijão e no arroz. No Vertisolo (V) estes efeitos não foram significativos, devido a sua menor acidez e maior fertilidade natural, em relação

aos outros solos (LRd e TE). Também, as altas doses de Ni induziram interações antagônicas do Ni com o Ca, Mn e Zn no feijão, e com o Ca, Mg, Mn e Zn no arroz. Os teores de Ni na matéria seca foram maiores nas plantas que cresceram nos solos Latosolo Roxo distrófico (LRd) e Terra Roxa Estruturada (TE), em relação ao Vertisolo (V). Existem correlações positivas significativas entre os teores foliares de Ni no arroz e no feijão, e doses crescentes de Ni nos três solos (V, LRd e TE).

A calagem dos solos ácidos (LRd e TE) controlou os efeitos tóxicos de altas doses de Ni sobre a produção de matéria seca no feijão, enquanto que no arroz estes efeitos não foram significativos. Nos solos com adições de doses crescentes de Ni, a calagem reduziu a disponibilidade do Fe, Mn e Ni no feijão, e do Mn e Ni no arroz. As análises do Ni solúvel em DTPA-TEA mostraram que a calagem de solos ácidos (LRd e TE) diminuiu o teor de Ni disponível nos dois solos. Também, nos três solos estudados, observou-se uma tendência a aumentar os teores de Ni solúvel em DTPA-TEA, em relação a doses crescentes de Ni adicionadas ao solo. Constatou-se correlação negativa entre o teor de Ni solúvel em DTPA-TEA nos três solos e a produção de matéria seca total no arroz e no feijão.

TOXICITY OF NICKEL TO RICE AND BEANS

Author: Daniel Fernando Piccini Ant6n

Adviser: Euripedes Malavolta

SUMMARY

In order to study the toxic effects of Ni on rice (*Oriza sativa* L.) and common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), experiments were carried out in nutrient solution and in soils (in the presence and absence of lime).

In nutrient solution a preliminary trial was set up using, for both species, 0, 1, 2, 4, 8 and 16 ppm Ni. The results, evaluated in terms of dry matter yield, showed that rice plants were relatively more tolerant than beans. For this reason a new experiment was conducted with the following rates of Ni supplied to the nutrient solutions: beans - 0, 1, 2 and 4 ppm; rice - 0, 4, 8 and 12 ppm.

A comparison between two bean cultivars revealed that IAPAR-14 was more tolerant than Carioca. In the case of rice varietal differences were also found: IAC-4440 showed a lower tolerance than IAC-165.

Tissue analyses disclosed a Ni effect on the uptake of other nutrients of the antagonistic type: Ni x Mg and Ni x Fe in beans,

and Ni x Ca, Ni x Mg and Ni x Mn in the rice plant. It was also verified that Ni is accumulated preferentially in the root system.

Electron micrographs showed that high Ni dosages adversely affected the cell components, especially the chloroplasts. This is in agreement with the fact that chlorophyll concentration in the leaves of both species decreased as the Ni supply increased.

A characteristic symptom of Ni toxicity is an interveinal chlorosis of the younger leaves which rapidly appears in the older ones as well. Later on necrotic spots develop in the tops, and a reduction in size is observed. The root system was also affected: less lateral branching; main roots were shorter, easy to break, resembling coral formation.

Three acid soils (Vertisol, V, Roxo Latosol dystrophic, LRd, and Dusky Red Latosol, TE) were supplied with 0, 30, 60 and 120 ppm Ni. Higher rates decreased dry matter production, although in the case of V the effects were not significant possibly due to its higher natural fertility. The chemical analyses of the plant material showed antagonistic effects between Ni and other elements (Ca, Mn and Zn in beans, Ca, Mg, Mn and Zn in rice). Ni concentration in the tissue was higher in plants grown either in LR or TE. Positive correlations between Ni applied and tissue Ni were found in both species in the three soil types.

Liming LRd and TE was able to control the adverse effects of Ni on dry matter production by beans, where as in the case of rice

the effect was not significant. The availability of Fe, Mn and Ni for the bean plant, and of Mn and Ni for rice, was decreased by liming, as shown by DTPA - TEA extraction, in the case of the two acid soils (LRd and TE). Extractable Ni increased with the rates of application. A negative correlation was also found between DTPA - TEA soluble Ni and dry matter yield.

1. INTRODUÇÃO

Geralmente, os estudos nutricionais em plantas não consideram o elemento níquel, por acreditar que sua ação é pouco significativa no desenvolvimento das plantas, sendo identificado como um elemento traço. Porém, inúmeras pesquisas realizadas nesta segunda metade de século demonstram a importância nutricional do níquel em animais (NIELSEN & OLLERICH, 1974), bactérias (THAUER *et alii*, 1980), algas azul-verdes (VAN BAALEN & O'DONNELL, 1978) e plantas (MARTINI, 1930; DIXON *et alii*, 1975; ESKEW *et alii*, 1984; BROWN *et alii*, 1987). O principal fato que estabelece sua essencialidade nas plantas é sua participação na estrutura da enzima urease (DIXON *et alii*, 1975; POLACCO & HAVIR, 1979; WATANABE & SHIMADA, 1990).

Embora a essencialidade do Ni esteja hoje demonstrada, comumente é considerado como um elemento tóxico antropogênico. Sendo que altas concentrações do elemento geram efeitos tóxicos nas plantas. Entre outros efeitos têm-se: danificação do sistema radicular (TURINA, 1968), diminuição da atividade respiratória (MILLER *et alii*, 1970), distúrbios

no processo de divisão celular (LEVAN, 1945), diminuição do teor de ferro, zinco e manganês nas folhas (FORSTER, 1954; CROOKE, 1955; WALLACE *et alii*, 1977a).

A toxidez de níquel, geralmente apresenta-se em solos ácidos derivados de rochas ígneas ultrabásicas, principalmente de serpentinas (MENGEL & KIRKBY, 1982). Nos solos, o conteúdo de Ni depende da reação do material de origem, sendo menor à medida que aumenta a acidez das rochas. No Estado de São Paulo (Brasil) encontraram-se teores de Ni-total na faixa de 5 a 127ppm, correspondendo os teores mais baixos aos solos derivados de sedimentos modernos arenosos, e os mais altos aos solos derivados de rochas básicas (ROVERS *et alii*, 1983). Também, a toxidez de Ni é gerada pela aplicação excessiva de resíduos orgânicos industriais e urbanos no solo, devido a que esses resíduos podem conter altas concentrações de metais pesados (Pb, Ni, Zn, Mn, Cu, Cr, Cd, Hg, Fe e Al). Assim, tem-se previsto a utilização de "lodo de esgoto" como adubo orgânico para diminuir o grau de poluição dos rios. BETTIOL *et alii* (1983) mencionam que o projeto de tratamento dos esgotos gerados na Grande São Paulo (SANEGRAN), tem planejado produzir em um futuro próximo aproximadamente 2400 toneladas diárias de lodo de esgoto rico em matéria orgânica e nutrientes. Desta forma, se estabelece um problema potencial relacionado com a toxidez de Ni, sendo necessário avaliar seus efeitos nas culturas e conhecer seu comportamento no solo.

As considerações anteriormente expostas definem os objetivos da pesquisa, os quais são:

- Verificar os efeitos da toxidez de níquel nas culturas de arroz e feijão;

- Avaliar a tolerância relativa à toxidez de níquel em duas variedades de arroz e em dois cultivares de feijão;
- Verificar o comportamento do níquel em solos de diferentes características;
- Avaliar os efeitos da calagem em solos ácidos, no controle da toxidez de níquel em arroz e feijão, e
- Descrever a sintomatologia característica da toxidez de Ni em plantas de arroz e de feijão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Propriedades Gerais do Níquel

O níquel faz parte do grupo VIII na tabela periódica de elementos (metais), junto ao ferro e cobalto. Apresenta alta densidade ($8,9 \text{ g/cm}^3$, 25°C), número atômico igual a 28, valência + 2 e peso atômico de 58,71. Seu raio iônico ($\text{Ni}^{2+} = 0,69 \text{ \AA}$), em função dos outros cátions predominantes nos solos, pode ser estabelecido na seguinte série: $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Fe}^{2+} \approx \text{Co}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ni}^{2+} \approx \text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Si}^{4+}$.

Na natureza, têm sido encontrados 5 isótopos estáveis, sendo os mais predominantes: ^{58}Ni (68,3%), ^{60}Ni (26,1%) e ^{62}Ni (3,6%). Forma complexos estáveis com grande número de ligantes orgânicos, e em menor grau com ligantes inorgânicos. Sob condições anaeróbicas, formas reduzidas de enxofre podem controlar a solubilidade do Ni (RICHTER & THEIS, 1980). Normalmente ocorre nos estados de oxidação 0 e II. Pode substituir outros metais pesados nos sítios ativos de metaloenzimas, e assim inativar a sua função (ADRIANO, 1986).

2.2. Níquel nos Solos

O níquel ocupa o vigésimo segundo lugar em abundância na crosta terrestre, com 99ppm (GREENWOOD & EARNSHAW, 1984). Nas rochas ígneas, seu teor é maior nas ultrabásicas (1400 a 2000ppm), sendo que a concentração de Ni diminui com o aumento da acidez das rochas.

As rochas sedimentares apresentam teores na faixa de 5 a 90ppm, para rochas do tipo arenito e sedimentos argilosos respectivamente (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1986).

Geoquímicamente, o níquel (elemento siderófilo) encontra-se associado com o ferro metálico. Também, apresenta uma grande afinidade pelo enxofre. Nos minerais ferro-magnesianos, pode substituir o ferro. Pode associar-se com carbonatos, fosfatos e silicatos. No processo de intemperismo de rochas é movimentado com facilidade para logo após formar compostos com óxidos de Fe e Mn relativamente estáveis em soluções aquosas, e participar na formação de minerais secundários do tipo garnierita (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1986).

Os minerais de Ni, em função aos processos de origem, são de 2 tipos: (1) Lateritas, minerais óxido/silicatos como garnierita $(\text{Ni, Mg})_6 \text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ e Ni-Fe-limonita $(\text{Fe, Ni}) \text{O}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$, os quais têm sido concentrados por processos de intemperismo em áreas tropicais chuvosas (Nova Caledônia, Cuba e Queensland); (2) Sulfetos, como a pentlandita $(\text{Ni, Fe})_9\text{S}_8$ e associado ao Cu, Co e metais preciosos, que são encontrados nas regiões temperadas (Canadá, URSS e África do Sul). Existem outros minerais de pouca importância como: niccolite, smaltite e arsenides (ADRIANO, 1986; HEESE, 1971). Nos materiais orgânicos do solo, o Ni encontra-se formando complexos (CROOKE, 1956).

2.2.1. Níquel total

O teor de Ni nos solos, geralmente é muito baixo, menor de 100ppm (MENGEL & KIRKBY, 1982). Os mais altos teores ocorrem em solos argilosos com rochas subjacentes básicas e vulcânicas, e em solos orgânicos com predominância de serpentina e turfa. Na superfície do solo, seu teor é reflexo dos processos de formação e do grau de poluição (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1986). Os valores de Ni-total nos solos do mundo são muito variáveis; VINOGRADOV (1959) reporta valores médios de 40ppm, enquanto que BERROW & REAVES (1986) reportam valores de 25ppm.

Existem consideráveis variações no conteúdo de Ni em função do material de origem, sendo maior seu teor nos solos desenvolvidos de serpentina (ADRIANO, 1986) e menor nos solos derivados de granito e arenito (MITCHELL, 1945). Nos solos do Estado de São Paulo (Brasil), encontrou-se que os solos derivados de rochas básicas apresentam os teores mais altos (52 e 127ppm), e os derivados de sedimentos modernos arenosos os mais baixos, menor que 20ppm (ROVERS *et alii*, 1983).

2.2.2. Níquel extraível

O Ni-extraível é utilizado como um índice para estabelecer sua disponibilidade e mobilidade no solo. Existem grandes variações nos seus valores em função ao agente extrator utilizado. Valores de Ni-extraível, em porcentagem da concentração de Ni-total são: 0,5-2% com DTPA (ácido dietileno-triaminopentacético) para solos Canadenses (WHITBY *et alii*, 1978), 3% com NH_4OAc -EDTA (acetato de amônio-ácido etileno-diaminotetracético) para solos Gregos poluídos (NAKOS, 1982),

1,3-5,7% com DTPA-TEA (ácido dietileno-triaminopentacético-trietanolamina) para solos do Sudeste da Califórnia (VALADARES *et alii*, 1983) e 0,4-5% com DTPA-TEA para solos de São Paulo-Brasil (ROVERS *et alii*, 1983). O Ni-extraível com água é muito baixo, menor que 0,5% da concentração de Ni-total (HAQ *et alii*, 1980). Existe uma excelente correlação entre o Ni-solúvel em DTPA-TEA e quantidades totais deste elemento adicionadas ao solo (VALADARES *et alii*, 1983). Nos solos de São Paulo-Brasil, os teores de Ni-solúvel em DTPA-TEA variam na faixa de < 0,5 a 1,4ppm (ROVERS *et alii*, 1983).

2.2.3. Formas de Ni nos solos

Na fase sólida do solo, o Ni ocorre em muitas formas químicas que se apresentam no complexo de troca, locais de adsorção específica, adsorvido e ocluído nos sesquióxidos, fixado nos minerais de argila, e nos resíduos orgânicos e microrganismos. Na fase líquida, solução solo, se apresenta na forma iônica e formando complexos com ligantes orgânicos e inorgânicos (ADRIANO, 1986).

Os modelos de estabilidade termodinâmica de compostos contendo Ni, minerais e espécies iônicas, servem para explicar o comportamento do Ni no solo. Assim, os óxidos e hidróxidos de Ni são estáveis nos solos com valores de pH acima de 9, enquanto que o Ni-ferrite (NiFe_2O_4) parece ser a forma que predomina na fase sólida de solos com pH menor que 8. O fosfato de níquel ($\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2$) é mais solúvel que o Ni-ferrite, portanto sua formação no solo depende da baixa disponibilidade de Fe. Também, nos solos que apresentam baixa atividade de Fe^{3+} ,

abaixo dos níveis da goethita, poderão formar-se aluminatos (NiAl_2O_4) e silicatos (Ni_2SiO_4). O Ni-sulfeto controla a concentração de Ni da solução do solo em ambientes reduzidos (SADIQ & ENFIELD, 1984).

Na solução do solo, em função do pH, predominam as seguintes formas: Ni^{2+} , NiSO_4 e NiHPO_4 a pH ácido; Ni^{2+} , NiCl^+ , NiSO_4 e NiHPO_4 a pH menor que 7; e Ni^{2+} e $\text{Ni}(\text{OH})^+$ em solos com pH maior que 8 (SADIQ & ENFIELD, 1984). Formação de complexos com outros ânions são de pouca importância.

BLOOMFIELD (1981) encontrou que a matéria orgânica diminui o teor de Ni nos carbonatos, óxidos e argilas. O Ni forma complexos, na forma de quelados, com os compostos orgânicos do solo, sendo sua constante de estabilidade maior que a de outros metais. SCHNITZER & KHAN (1978) estabelecem a seguinte série de estabilidade: $\text{Ni} > \text{Co} > \text{Fe} > \text{Cd} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Sr}$. A formação de quelados no solo é favorecida pela presença de ácidos orgânicos (CROOKE, 1956; MISRA & PANDE, 1974). A capacidade de quelação da matéria orgânica tem sido calculada em 1,3 meq de Ni/g de carbono orgânico (PRATT *et alii*, 1964). A presença de Ni formando parte de compostos orgânicos ocorre principalmente nos horizontes superficiais do solo (BLOOMFIELD, 1981).

Com a utilização do programa de computador GEOCHEM (SPOSITO & MATTIGOD, 1980), EMMERICH *et alii* (1982) determinaram as formas de Ni na solução de solos tratados com lamas de esgoto: 68% na forma iônica livre, 26,5% na forma de complexos inorgânicos e 6% na forma de complexos orgânicos.

2.2.4. Adsorção e complexação do Ni no solo

A disponibilidade de Ni para as plantas é regulada, em grande parte, pelas reações de adsorção que ocorrem entre o elemento e as superfícies sólidas do solo. Estas reações podem ser controladas por diversos atributos do solo, tais como troca de cátions e pH (PAINTER *et alii*, 1953), matéria orgânica (KERNDORFF & SCHNITZER, 1980), óxidos de alumínio e manganês (JENNE, 1968), teor de argila, porcentagem de CaCO_3 e superfície específica (KORTE *et alii*, 1976; ESTAÑ *et alii*, 1985).

O Ni é retido nos solos por mecanismos de adsorção específica e não específica. Os mecanismos específicos ocorrem a baixas concentrações de Ni, menor que 10ppm (BOWMAN *et alii*, 1981). Dependendo da capacidade de adsorção do solo, a equação de Freundlich pode descrever a adsorção de Ni em concentrações maiores que 10ppm. POMBO *et alii* (1989) encontraram que as adsorções de Ni dos solos Terra Bruna Estruturada similar e Podzólico Vermelho Amarelo, aos diversos valores de pH estudados, obedeceram à equação de Langmuir. Em latossolos de São Paulo - Brasil, o Ni adicionado liga-se principalmente ao complexo de troca de forma não específica, sendo que sua adsorção máxima depende conjuntamente do pH e do teor de matéria orgânica do solo (CAMARGO *et alii*, 1989). Comparações feitas em solos, com valores de pH na faixa de 4,3 a 5,6, demonstram que os metais apresentam diferente capacidade de adsorção, na seguinte ordem: $\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni}$ (HARTER, 1983). Por outro lado, avaliando a movimentação dos metais em colunas de solo (pH de 3,8 a 7,1) encontrou-se: $\text{Cd} > \text{Ni} > \text{Zn} \gg \text{Cu}$ (TYLER & McBRIDE, 1982).

Este elemento forma complexos com uma grande variedade de ligantes orgânicos e inorgânicos, sendo os mais estáveis aqueles formados com ligantes orgânicos. Ocorre em menor grau a formação de complexos com ligantes inorgânicos na seguinte ordem: $\text{OH}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NH}_3$ (RICHTER & THEIS, 1980).

2.2.5. Fatores que afetam sua movimentação e disponibilidade

2.2.5.1. pH

Na maioria dos metais pesados, a solubilidade e disponibilidade estão inversamente relacionadas com os valores de pH do solo. Em solos ácidos, a disponibilidade de Ni para as plantas aumenta (MISHRA & KAR, 1974). Em estudos de adsorção de Ni, foi verificado que a retenção de Ni no solo aumenta com o pH (HARTER, 1983). Do mesmo modo, o pH influencia a reação de Ni com outros compostos para formar precipitados. Em solos com pH alcalino formam-se fosfatos de níquel, reduzindo sua disponibilidade (PRATT *et alii*, 1964).

As concentrações críticas de Ni no solo, são afetadas pelo pH, sendo menores nos solos ácidos, em comparação aos solos alcalinos. Utilizando trigo como planta indicadora, o teor de Ni que reduz o rendimento em 50% foi de 195ppm em solos ácidos e 510ppm de Ni em solos alcalinos (MISHRA & KAR, 1974).

A calagem de solos ácidos controla a fitotoxidez de Ni (ADRIANO, 1986). Porém, valores de pH acima de 8 não eliminam a fitotoxidez (SOANE & SAUNDER, 1959).

2.2.5.2. Matéria orgânica

A matéria orgânica, em função de sua natureza, pode imobilizar ou mobilizar metais no solo. Algumas pesquisas mostram sua capacidade para fixar Ni, diminuindo sua disponibilidade (HALSTEAD, 1968; HALSTEAD *et alii*, 1969). Em solos derivados de serpentina é comum a adição de resíduos orgânicos para aumentar a capacidade de adsorção de metais no solo e diminuir sua disponibilidade (MISHRA & KAR, 1974).

Também, a matéria orgânica pode formar complexos solúveis com o Ni, quelados, principalmente os ácidos fúlvicos. Estes complexos aumentam sua estabilidade com o aumento do pH (SCHNITZER & SKINNER, 1968). Nos processos de decomposição da matéria orgânica, são produzidos ácidos orgânicos por ação microbiana, ácidos di e tricarboxílicos, que podem atuar como agentes quelantes e formar complexos com o Ni (MISRA & PANDE, 1974).

A matéria orgânica influencia o padrão de distribuição do Ni no perfil do solo. Assim, nos solos orgânicos de ecossistemas florestais o teor de Ni é maior na superfície, enquanto que em podzóis o teor de Ni aumenta ligeiramente com a profundidade (CONNOR *et alii*, 1957).

A aplicação de lodos de esgoto no solo, como fonte de matéria orgânica e nutrientes, tem restrições devido ao seu alto conteúdo de metais pesados. O Ni presente nas lamas (16 a 5300ppm), encontra-se principalmente na forma de quelados, sendo rapidamente disponível para as plantas e gerando fitotoxidez (BERROW & WEBBER, 1972).

2.2.5.3. Textura e material de origem

O teor de Ni nas frações do solo varia inversamente ao tamanho das partículas (LE RICHE & WEIR, 1963). O papel da argila no comportamento do Ni no perfil do solo é ressaltado devido à correlação positiva existente entre a quantidade de Ni-total e o teor de argila. A influência da argila deve-se a sua capacidade para adsorvê-lo ou mesmo contê-lo em suas próprias estruturas (JENNE, 1968; ROVERS *et alii*, 1983).

Também, o material de origem influencia o teor de Ni no solo. MITCHELL (1945) encontrou mais Ni nos solos derivados de sedimentos argilosos e rochas básicas (50 a 500ppm), do que nos solos derivados de arenitos, calcários e rochas ígneas ácidas (1 a 50ppm). Nos solos de São Paulo-Brasil, ROVERS *et alii* (1983) constataram que o material de origem foi fator preponderante no condicionamento dos teores de Ni-total. Solos derivados de rochas ígneas básicas apresentam teores maiores do que solos derivados de sedimentos arenosos. A presença de ferro é responsável pela fixação de Ni, controlando assim sua movimentação e disponibilidade no solo (JENNE, 1968).

2.3. Níquel nas Plantas

2.3.1. Níquel na nutrição das plantas

O Ni é absorvido pelas raízes das plantas na forma iônica (Ni^{2+}) e complexado como quelado (CROOKE, 1954). MISHRA & KAR (1974) observaram que a absorção radicular do Ni foi, principalmente na forma iônica. A dificuldade na absorção de formas queladas, poderia dever-se a um efeito de carga.

Na planta, o Ni é muito móvel, sendo que nos casos de deficiência sua redistribuição é rápida (MISHRA & KAR, 1974; CATALDO *et alii*, 1978). Na etapa de senescência de plantas de soja, 70% do Ni da parte aérea redistribui-se às sementes (CATALDO *et alii*, 1978). É transportado pelo xilema como cátion e complexo orgânico. A forma de transporte depende da espécie vegetal. Em tomateiro a maior proporção é translocada como cátion, enquanto que milho, cenoura, abóbora e amendoim transportam o Ni como um complexo carregado negativamente (TIFFIN, 1971). No floema, sua movimentação é na forma de complexos orgânicos (MISHRA & KAR, 1974).

Nos processos ativos de absorção, o Ni apresenta isotermas multifásicas (cinética Michaelis-Menten), que indicam a existência de vários carregadores operando em diferentes faixas de concentração do elemento (CATALDO *et alii*, 1978). Também, existe inibição competitiva na absorção do Ni^{2+} pelo Cu^{2+} e Zn^{2+} (ADRIANO, 1986).

A acumulação do Ni na planta faz-se diferentemente, sendo maior nas folhas que nos ramos, nos grãos que nas folhas, e nas partes jovens que nas partes adultas (HUNTER & VERGNANO, 1952). A nível celular, maiormente acumula-se no fluido vacuolar e nos plastídios (GOLOVCHENKO & CHEREDNICHENKO, 1962).

VANSELOW (1965) reporta teores na faixa de 0,05 a 5ppm na matéria seca, enquanto COTTENIE *et alii* (1979) encontraram teores de Ni em plantas normais superiores a 8ppm. Na parte aérea do feijoeiro, WALLACE *et alii* (1977a) verificaram teores de 2 a 5ppm, enquanto que, na parte aérea do arroz, WALLACE *et alii* (1977b) observaram teores de 2 a 20ppm, em plantas normais.

2.3.2. Efeitos benéficos do Ni no desenvolvimento das plantas

Muitas pesquisas mostram que o Ni a baixas concentrações pode atuar como nutriente em plantas. Este elemento é exigido para o normal desenvolvimento de espécies de *Pinus* e outras espécies acumuladoras (*Alyssum*), sendo sua função específica desconhecida (WELCH, 1981).

Os efeitos de sua deficiência tem sido mostrados em várias espécies. Em leguminosas, gera acumulação de uréia nos tecidos, provocando lesões necróticas nas folhas (ESKEW *et alii*, 1983; WALKER *et alii*, 1985). O Ni participa na estrutura e funcionamento da enzima urease, 6 a 8 átomos de Ni por molécula, cuja função é evitar a acumulação de uréia nas folhas (DIXON *et alii*, 1975; SHIMADA *et alii*, 1980). A urease se apresenta em numerosas espécies de plantas (WELCH, 1981). A uréia é um produto do metabolismo de nitrogênio nas plantas, sendo que o Ni favorece a atividade da urease que cataliza a hidrólise da uréia a CO_2 e NH_3 (ESKEW *et alii*, 1983). WELCH (1981) e THOMAS & SCHRADER (1981) explicam que as leguminosas de clima tropical são mais dependentes do Ni, devido a que a maior parte do nitrogênio fixado (80 a 95%) é transportado à parte aérea como ureídeos (alantoína e ácido alantóico), onde participam no desenvolvimento de vagens e sementes. Na via catabólica, estes ureídeos sofrem degradação enzimática a uréia e ácido glioxílico (WELCH, 1981). Em plantas de pepino e cevada, WATANABE & SHIMADA (1990) verificaram que o Ni participa no metabolismo do nitrogênio destas espécies, formando parte da enzima urease.

Em cereais como cevada, a deficiência de Ni afeta principalmente a viabilidade das sementes, portanto se reduz a taxa

de germinação (BROWN *et alii*, 1987). Também existe um efeito na senescência de folhas e flores em cereais, níveis de Ni na faixa de 500 μ M a 2mM na solução nutritiva retardam a senescência, por ser um inibidor da síntese do S-adenosylmetionina, precursor do etileno (LAU & YANG, 1976).

Os efeitos benéficos do Ni na germinação de sementes, poderiam estar relacionados a atividade da urease na germinação e com a economia de nitrogênio de plântulas em desenvolvimento de várias famílias (WELCH, 1981). Outro efeito é sua influência na atividade do complexo enzimático hidrogenase, que aumenta a eficiência da fixação de nitrogênio em leguminosas (KLUCAS *et alii*, 1983). Também, o Ni participa na síntese de fitoalexina que melhora a resistência das plantas às doenças (WALKER *et alii*, 1985), favorece a formação de vitamina P³ nos gêneros *Phaseolus*, *Pisum* e *Lactuca* (LO & WU, 1943; LO & CHEN, 1946), estimula o crescimento de batata, aveia, videira e pastagens (HUTCHINSON, 1981), e sua absorção (Ni²⁺) pode favorecer a extrusão de protons nas raízes de milho (COCUCCI & MORGUTTI, 1986).

2.3.3. Interações do Ni com outros elementos

Muitas pesquisas tem demonstrado que o Ni se relaciona com outros elementos gerando efeitos sinérgicos e antagônicos na planta. Na maioria das espécies de plantas, a absorção e translocação de Ni é inibida pela presença de Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺ e Zn²⁺, sendo que altos níveis de Ni no meio induzem deficiência de zinco e ferro (ANDERSON *et alii*, 1973). Em soja, a absorção e translocação de Ni é inibida por Cu²⁺, Zn²⁺, Fe²⁺ e Co²⁺ (MISHRA & KAR, 1974; CATALDO *et alii*, 1978). A inibição da absorção radicular de Ni²⁺ pelo Cu²⁺ e Zn²⁺ é do tipo competitiva.

Também, utilizando métodos isotópicos (^{59}Fe), confirmou-se que o Ni inibe a absorção e translocação de Fe (CHINO & MITSUI, 1967).

Existem efeitos aditivos do Ni e Cu, que podem causar deficiência de ferro nas plantas, por inibição de sua translocação à parte aérea (FOY *et alii*, 1978). No tomateiro, este efeito pode diminuir o crescimento da planta, o desenvolvimento das raízes e o conteúdo de clorofila nas folhas (HALE *et alii*, 1985). Outro efeito aditivo: Fe-Ni, inibe a absorção e transporte de Zn e Mn nas folhas e caules de feijão (WALLACE *et alii*, 1977a).

Outras pesquisas, demonstram efeitos antagônicos do Ni com o molibdênio (SATO, 1969) e o cobalto (RUSSELL *et alii*, 1968). Em tomateiro e batata o excesso de Ni provoca uma deficiência aparente de manganês (HEWITT, 1953). Alguns efeitos sinérgicos do Ni são: aumento da absorção de Ca em aveia e tomateiro (CROOKE, 1958), de Cu em tomateiro (HALE *et alii* 1985), e de Cr em espécies de silene (SHEWRY & PETERSON, 1976).

2.3.4. Toxidez de Ni e seu controle

Em geral, a toxidez de Ni se expressa quando a concentração de Ni na matéria seca das plantas for maior que 50ppm, com exceção das espécies acumuladoras e hiperacumuladoras (ADRIANO, 1986). MISHRA & KAR (1974) encontraram em ensaios em solução nutritiva, que o Ni é tóxico a níveis de 1 a 300ppm, dependendo das espécies de plantas. Na matéria seca da parte aérea das plantas, foram encontrados os seguintes níveis tóxicos, em ppm: arroz, 20-50 (CHINO, 1981); cevada, 26 (DAVIS

et alii, 1978); espécies florestais, 100-150 (LOZANO & MORRISON, 1981); cítricos, 55-140 (VANSELOW, 1951) e cafeeiro, 30-70 (PAVAN & BINGHAM, 1982).

HUNTER & VERGNANO (1953) determinaram que aplicações excessivas de metais pesados nas plantas, produzem a sintomatologia típica da deficiência de ferro, além da sintomatologia específica ao metal. Aparentemente o Ni interfere na absorção de Fe e inibe o seu metabolismo (AGARWALA *et alii*, 1977). Outros efeitos dos excessos são: bloqueio da atividade respiratória e desnaturação do protoplasma celular em repolho (NIETHAMMER, 1931), aumento do conteúdo de pectina em raízes de aveia (CROOKE, 1958), diminuição da concentração de clorofila em folhas de café (PAVAN & BINGHAM, 1982), diminuição da atividade da catalase ao concorrer com o Fe na sua posição no grupo protoporfirínico da enzima (GRANICK, 1951), aumento da atividade da peroxidase e distúrbios mitóticos nas pontas das raízes de algumas plantas (MISHRA & KAR, 1974), interfere na absorção de nutrientes (CROOKE & INKSON, 1955), e produz a plasmólise em células epidérmicas de cebola (NIETHAMMER, 1931).

As relações Fe/Ni e Cu/Ni na matéria seca das plantas, podem ser usadas como indicadores do grau de tolerância à toxidez de Ni, nas culturas que se desenvolvem sobre solos derivadôs de serpentina (MIZUNO, 1968). Assim, culturas com relações Fe/Ni ≥ 5 e Cu/Ni ≥ 1 foram tolerantes (batata e milho), enquanto que culturas com relações Fe/Ni < 5 e Cu/Ni < 1 foram muito susceptíveis (soja, feijão, repolho e alfafa).

Em solos derivados de rochas ultrabásicas, serpentina e peridotita, a toxidez de Ni pode ser controlada pela calagem (HUNTER & VERGNANO, 1952; CROOKE, 1956) e aplicações de matéria orgânica (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1986). A calagem nestes solos reduz a solubilidade de Cr e Ni na solução do solo com o aumento do pH, além de melhorar as relações desfavoráveis de Mg/Ca. Adições de gipsita ao solo, não controlam a toxidez de Ni (MISHRA & KAR, 1974), enquanto que aplicações de fosfato podem diminuir a disponibilidade de Ni para as plantas (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1986).

2.3.5. Plantas acumuladoras e hiperacumuladoras

Em meio ambiente com solos derivados de rochas ultrabásicas, existem espécies acumuladoras e hiperacumuladoras de Ni. Espécies acumuladoras são aquelas que apresentam na sua matéria seca concentrações elementares de Ni maiores a outras espécies de plantas associadas a substratos normais (SAVERNE, 1974). Enquanto que espécies hiperacumuladoras são aquelas que apresentam altas concentrações de Ni na sua matéria seca, sendo que esta concentração excede em 10 vezes os maiores valores observados para espécies de plantas que se desenvolvem sobre substrato ultrabásico (BROOKS *et alii*, 1977). Nas folhas de espécies hiperacumuladoras, a concentração de Ni na matéria seca é maior que 1000ppm. Muitas espécies hiperacumuladoras pertencem às famílias: Boraginaceae, Cruciferae, Myrtaceae, Leguminosae e Cariofilaceae (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1986). Algumas espécies são: *Sebertia acuminata*, *Hybanthus floribundus*, *Alyssum bertholonii*, *Alyssum corsicum*, *Homaltium kanaliense*, *Pimelea suteri* e *Eremophila exilifolia*.

A capacidade das plantas para acumular Ni no seu tecido pode estar relacionada com o conteúdo de ácido cítrico de suas folhas. Análises da seiva mostram a presença de Ni acomplexado com o citrato (LEE *et alii*, 1978). BROOKS (1980) justifica o interesse por estas espécies de plantas, nos programas de recuperação de solos derivados de serpentina, solos que são inadequados para sustentar uma vegetação normal.

2.3.6. Sintomatologia da deficiência e toxidez de Ni

A sintomatologia da deficiência é descrita em várias culturas. A soja apresenta lesões necróticas na ponta de suas folhas novas, nessas lesões é alta a concentração de uréia, 2,5% em peso seco (SHIMADA *et alii*, 1980; ESKEW *et alii*, 1984). Em caupí (*Vigna unguiculata* L.), formam-se pontos necróticos nas folhas durante a etapa reprodutiva (WALKER *et alii*, 1985). SHIMADA *et alii* (1980) reportam para tomateiro, sintomatologia de deficiência semelhante à apresentada em soja, enquanto que BROWN *et alii* (1987) descrevem a deficiência como aparecimento de clorose nas folhas mais novas e posterior necrose do tecido meristemático. Em cereais (cevada, aveia e trigo), também se apresentam lesões necróticas nas folhas mais novas, podendo-se sugerir que o Ni é praticamente imóvel no floema quando a planta é deficiente de Ni (BROWN *et alii*, 1987). A sintomatologia em aveia inclui o desenvolvimento incompleto das folhas e a senescência prematura da planta (BROWN *et alii*, 1987).

A sintomatologia da toxidez de Ni, se apresenta como clorose e posterior necrose de folhas, começando pelas folhas novas. Nas gramíneas, consiste em clorose ao longo das nervuras, sendo que a folha inteira pode ficar esbranquiçada, semelhante aos sintomas de carência de ferro, e, em casos extremos, há necrose nas margens e redução no crescimento (HEWITT, 1953). Em sorgo, CLARK *et alii* (1981) encontraram que os sintomas de toxidez de Ni são semelhantes aos ocasionados pelo excesso de Co e pela deficiência de Fe. Em arroz, se apresenta como clorose internerval nas folhas novas, sendo que o número de folhas, perfilhos e raízes diminui (CHINO, 1981). Em geral, as raízes são curtas e grossas, coraloides, de cor escura e quebradiças. Nas dicotiledôneas aparece uma clorose internerval nas folhas novas que lembra a deficiência de manganês (HEWITT, 1953; MALAVOLTA, 1980), as raízes se apresentam curtas, de cor escura e quebradiças. Em mudas de café, os sintomas foram caracterizados inicialmente por clorose e muitos pontos necróticos nas folhas jovens, que progridem rapidamente para folhas mais velhas, e nos internódios. Em estádios mais adiantados da toxidez as plantas apresentam, além dos sintomas acima descritos, diminuição no tamanho das folhas e entrenós, manchas necróticas nos pecíolos das folhas e caules, desfolhamento e fenecimento (PAVAN & BINGHAM, 1982).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado nas instalações da Seção de Nutrição de Plantas, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo - Campus de Piracicaba, nos anos de 1987 a 1990.

3.1. Cultivares ou variedades utilizadas

Em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), utilizou-se os cultivares Carioca e IAPAR-14. Enquanto que, em arroz (*Oryza sativa* L.) utilizou-se as variedades IAC-165 e IAC-4440, cedidas pelo Departamento de Sementes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

3.2. Ensaios em solução nutritiva

3.2.1. Procedimento geral

- Desinfecção das sementes por meio de lavagem com solução de hipoclorito de sódio diluído em água destilada, na proporção 1:10.

- Germinação das sementes em vermiculita umedecida com solução de $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10^{-4}M . Após a emergência de plântulas de arroz e feijão, continuou-se adicionando sulfato de cálcio 10^{-4}M , toda vez que a superfície do meio mostrou-se seca.
- Transplante de plântulas com 10 e 15 dias de idade, feijão e arroz respectivamente, para bandejas com capacidade de 30 litros de solução nutritiva, Solução Nº 2 de HOAGLAND & ARNON (1950), diluída 1/5 da concentração usual. Sistema mantido sob arejamento constante.
- Após permanecerem 10 dias na bandeja com solução nutritiva diluída, as plântulas de feijão e arroz foram submetidas aos tratamentos de níquel, com o transplante para vasos de plástico de 1,5 l de capacidade e fixando-as com espuma de plástico, duas plantas por vaso.

3.2.2. Tratamentos

Os tratamentos foram estabelecidos nos vasos de plástico de 1,5 l de capacidade. Níveis crescentes de níquel em Solução Nutritiva Nº 2 de HOAGLAND & ARNON (1950). O níquel foi adicionado como $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Os micronutrientes foram fornecidos por meio da solução "a" e, o ferro como Fe-EDTA (MALAVOLTA, 1979). O pH da solução foi ajustado semanalmente na faixa de 4,5 a 5,5 com HCl ou NaOH 0,1N. A solução nutritiva com os níveis de Ni foi renovada cada duas semanas e seu volume mantido com adições de água desionizada.

3.2.2.1. Ensaio 1. Estabelecimento dos níveis de Ni a serem utilizados

<u>Culturas</u>	<u>Ni (ppm)</u>
Feijão, cultivar Carioca	0
Arroz, variedade IAC-165	1
	2
	4
	8
	16

2 culturas x 6 níveis de Ni = 12 tratamentos

12 tratamentos x 3 repetições = 36 unidades experimentais.

3.2.2.2. Ensaio 2. Avaliação da toxidez de Ni em feijão

<u>Cultivar</u>	<u>Ni (ppm)</u>
Carioca	0
	1
	2
	4

4 tratamentos x 3 repetições = 12 unidades experimentais.

3.2.2.3. Ensaio 3. Avaliação da toxidez de Ni em dois cul
tivares de feijão

<u>Cultivares</u>	<u>Épocas de Coleta</u>	<u>Ni (ppm)</u>
Carioca	Floração	0
IAPAR-14	Formação de grãos	1
		2
		4

2 cultivares x 2 épocas de coleta x 4 níveis de Ni = 16 tratamentos

16 tratamentos x 3 repetições = 48 unidades experimentais

3.2.2.4. Ensaio 4. Avaliação da toxidez de Ni em duas
variedades de arroz

<u>Variedades</u>	<u>Épocas de Coleta</u>	<u>Ni (ppm)</u>
IAC-165	Perfilhamento	0
IAC-4440	Formação de grãos	4
		8
		12

2 variedades x 2 épocas de coleta x 4 níveis de Ni = 16 tratamentos

16 tratamento x 3 repetições = 48 unidades experimentais

3.3. Ensaio em solos

3.3.1. Solos utilizados

Foram utilizados três solos, provenientes da camada 0-20cm de profundidade, que correspondem a Latossolo Roxo distrófico (LRd), Terra Roxa Estruturada (TE) e Vertissolo (V). Os resultados das análises físico-químicas que incluem Ni-total, se apresentam na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas dos solos

	V	LRd	TE
pH, CaCl ₂	5,4	4,9	4,7
M.O. (%)	6,05	3,53	2,42
P (µg/cm ³)	69,1	30,6	10,3
K ⁺ (meq/100cm ³)	0,14	0,55	0,17
Ca ²⁺ (meq/100cm ³)	22,49	2,59	1,62
Mg ²⁺ (meq/100cm ³)	4,88	1,02	0,57
Al ³⁺ (meq/100cm ³)	0,18	0,24	0,36
Al ³⁺ + H ⁺ (meq/100cm ³)	4,23	5,80	3,81
S	27,51	4,16	2,36
T	31,74	9,96	6,17
V (%)	86,7	41,8	38,2
Ni-total (ppm)	49	41	43
Areia (%)	27,9	17,0	23,5
Limo (%)	38,9	17,0	29,5
Argila (%)	33,2	66,0	47,0

3.3.2. Procedimento geral

- Peneirar os solos (TFSA) com malha de 2mm, e colocar em vasos de barro, impermeabilizados com Neutrol, com capacidade de 1,2 Kg.
- Nos ensaios que avaliam a resposta da calagem (Ensaios 7 e 8), aplicou-se Ca(OH)_2 para elevar a saturação de bases de cada solo (LRd e TE) a 65 e 70%, para as culturas de arroz e feijão respectivamente. Também, adicionaram-se os tratamentos de níveis crescentes de níquel como $\text{Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.
- Após a aplicação dos tratamentos nos solos, incubou-se os mesmos por 4 semanas, mantendo a umidade a 70% da capacidade de campo. No final da incubação, foram retiradas amostras de todos os tratamentos para analisar o teor de Ni-solúvel em DTPA-TEA.
- Desinfecção das sementes de arroz e feijão, por meio de lavagem com solução de hipoclorito de sódio, diluída em água destilada, na proporção 1:10.
- Logo após a incubação dos tratamentos, realizou-se a semeadura direta de 5 sementes por vaso, e aplicou-se os nutrientes necessários em solução: 150ppm de N e K, 200ppm de P, 30ppm de Mg, 5ppm de Mn, 2ppm de Zn, 1ppm de B, 0,5ppm de Cu e 0,1ppm de Mo. N e K fracionado em 3 etapas. Uma semana depois da germinação desbastou-se deixando duas plantas por vaso.

- Também, após a colheita dos ensaios, foram retiradas amostras de solos para analisar o teor de Ni-solúvel em DTPA-TEA. Tempos de incubação: 28,138 (após colheita de feijão) e 222 dias (após colheita de arroz)

3.3.3. Tratamentos

Os tratamentos foram estabelecidos nos vasos de barro com 1,2 Kg de capacidade. Avaliação dos efeitos da toxidez de níquel nas culturas de arroz e feijão, e seu controle pela calagem. Os níveis crescentes de níquel utilizados foram: 0, 30, 60 e 120ppm de Ni. No feijão utilizou-se o cultivar Carioca, enquanto que no arroz foi utilizada a variedade IAC-165. A colheita destes ensaios foi feita na época de formação de grãos.

3.3.3.1. Ensaio 5. Avaliação da toxidez de Ni em 3 solos na cultura de feijão

<u>Solos</u>	<u>Ni (ppm)</u>
V	0
LRd	30
TE	60
	120

3 solos x 4 níveis de Ni = 12 tratamentos

12 tratamentos x 3 repetições = 36 unidades experimentais

3.3.3.2. Ensaio 6. Avaliação da toxidez de Ni em 3 solos
na cultura de arroz

<u>Solos</u>	<u>Ni (ppm)</u>
V	0
LRd	30
TE	60
	120

3 solos x 4 níveis de Ni = 12 tratamentos

12 tratamentos x 3 repetições = 36 unidades experimentais

3.3.3.3. Ensaio 7. Avaliação da resposta a calagem do solo no controle da toxidez de Ni em feijão

<u>Solos</u>	<u>Calagem</u>	<u>Ni (ppm)</u>
LRd	-	0
TE	+	30
		60
		120

2 solos x calagem (2) x 4 níveis de Ni = 16 tratamentos

16 tratamentos x 3 repetições = 48 unidades experimentais

3.3.3.4. Ensaio 8. Avaliação da resposta a calagem do solo no controle da toxidez de Ni em arroz

<u>Solos</u>	<u>Calagem</u>	<u>Ni (ppm)</u>
LRd	-	0
TE	+	30
		60
		120

2 solos x calagem (2) x 4 níveis de Ni = 16 tratamentos

16 tratamentos x 3 repetições = 48 unidades experimentais

3.4. Análise do teor de clorofila total

Foram feitas análises de clorofila total nas etapas de floração (feijão) e perfilhamento (arroz), dos ensaios em solução nutritiva N^os. 2 (3.2.2.2), 3 (3.2.2.3) e 4 (3.2.2.4). Coletou-se amostras de tecido fresco de folhas de idade média, e utilizou-se o método descrito em ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMIST (1950).

3.5. Estudos de Microscopia Eletrônica

- Amostragem: Foram retiradas com auxílio de lâmina de barbear pequenos fragmentos de folhas intermediárias de feijão cv. Carioca e arroz var. IAC-165, tratados com 4 e 8ppm de Ni, respectivamente, por um tempo de 3 semanas sob efeito de Ni, além da testemunha (sem Ni). As amostras foram imediatamente conduzidas ao Laboratório de Microscopia do CENA, para realizar o preparo do material.

- Tratamento: Fixação, com glutaraldeído 5% em tampão fosfato 0,2M pH 7,2 por 1 hora a 4°C; Pós-fixação, em solução de tetróxido de osmio 2% em tampão fosfato 0,2M por 1 hora a 4°C; Pré-coloração, com acetato de uranilo 2,5% em água bidestilada 4°C por noite; Desidratação das peças, em gradientes de concentração crescentes de acetona: - água de 25, 50, 75 (5 minutos em cada etapa), 90 (10 minutos) e 100% (20 minutos); Infiltração das peças, com a resina Epon 912 em 3 etapas (resina: acetona): 50, 75 e 100% de resina, as duas primeiras por 3 horas a 37°C e a última 4°C por noite; Inclusão das peças em moldes de borracha preenchidas com resina, em estufas de 37, 45 e 60°C durante 8, 16 e 24 horas, respectivamente, a fim de obter os blocos.

- Preparo do espécime para Microscopia, cortes ultrafinos (60-90nm) foram coloridos com acetato de uranila 2,5% em água por 10 minutos, lavados 60 vezes com água bidestilada, e coloridos com citrato de chumbo por 6 minutos e novamente lavados com água bidestilada. Os cortes foram examinados com microscópio eletrônico Zeiss operando a 60.000 volts.

3.6. Colheita e preparo do material para análise

- As plantas de feijão, coletadas por ocasião da floração foram separadas em raiz, caule + ramo e folha, enquanto que, as plantas coletadas no momento da formação de grãos, foram separadas em raiz, caule + ramo, folha, casca e grão.

- As plantas de arroz, coletadas por ocasião do máximo perfilhamento, foram separadas em raiz, colmo + perfilho e folha, e aquelas

coletadas no momento da formação de grãos foram separadas em raiz, colmo + perfilho, folha, raquis e grão.

- As diversas partes da planta foram lavadas em água destilada corrente e enxugadas em papel toalha. As raízes no solo, foram coletadas com ajuda de uma peneira (malha de 2mm), e logo após foram lavadas sucessivamente com água destilada e água desionizada. Depois, os materiais coletados foram acondicionados em sacos de papel devidamente identificados, e colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 60°C, no mínimo por 72 horas. Após a secagem, os materiais foram pesados, e logo triturados em moinho "Wiley" com peneira de malha 20, e acondicionados em saquinhos de papel para posteriores análises.

3.7. Análises químicas

- Plantas: as amostras secas foram digeridas em ácido nítrico e perclórico concentrados, segundo o método descrito por GANJE & PAGE (1974). Em seguida, os extratos foram utilizados para a determinação dos teores de nutrientes e de níquel, pelos seguintes métodos: Colorimetria da mistura molibdato-vanadato (P), fotometria de chama (K), absorção atômica (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn e Ni), e turbidimetria do sulfato de bário (S). Também foram analisados, o teor de N na matéria seca (Microkjeldahl) e o teor de B no extrato clorídrico das cinzas (Colorimetria da curcumina), métodos descritos em MALAVOLTA (1979) e JORGENSEN (1977).

- Solos: o pH foi determinado potenciomêtricamente usando a relação solo: CaCl_2 0,01M de 1:2,5; a granulometria pelo método de BOUYOUCOS (1951); a matéria orgânica, por via úmida (WALKLEY & BLACK, 1934); P-disponível, pela resina trocadora de íons (RAIJ & QUAGGIO, 1983); Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, utilizando KCl 1N como extrator (VETTORI, 1969); e K^+ trocável utilizando o extrator Mehlich (VETTORI, 1969). O Ni-total foi extraído por ataque perclórico-fluorídrico, conforme RAIJ & VALADARES (1974), e determinado por espectrofotometria de absorção atômica. O Ni-solúvel em DTPA-TEA pH 7,3 foi obtido pela técnica descrita por LINDSAY & NORVELL (1978) e determinado por absorção atômica.

3.8. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com arranjo fatorial. Os resultados dos ensaios foram submetidos a análises de variância, e a significância mínima das médias determinada pelo teste de Tukey. Em alguns casos foi feita a análise de regressão, estudos de correlação simples e ajuste de equação quadrática.

4. RESULTADOS

4.1. Ensaio em solução nutritiva

4.1.1. Ensaio 1. Estabelecimento dos níveis de Ni a serem utilizados

Na Tabela 2, Figura 1 e Apêndice 1, estão ilustrados os efeitos das doses de Ni sobre a produção de matéria seca de partes da planta e do total, nas culturas de arroz e feijão, por ocasião do máximo perfilhamento e floração, respectivamente. Mediante a utilização do teste de Tukey a 5%, constatou-se que a adição de doses crescentes de Ni na solução nutritiva reduzem significativamente a produção de matéria seca nas duas espécies. Este comportamento foi semelhante para todas as partes da planta, sendo que as análises de regressão realizadas mostraram que a produção de matéria seca no arroz reduziu-se linearmente com a elevação dos níveis de Ni na solução nutritiva, enquanto que no feijão estas reduções ajustaram-se melhor a um modelo quadrático. No feijão, observou-se que não existem diferenças significativas ($P \leq 0,05$) entre

Tabela 2. Produção de matéria seca nas culturas de arroz e feijão, em função dos níveis de níquel na solução nutritiva¹

Culturas	Ni	Raiz	Caule + Ramo Colmo + Perfilho	Folha	Total
	ppm	g/vaso			
Feijão	0	2,28a	5,20a	6,95a	14,43a
	1	1,87a	5,25a	6,20ab	13,32a
	2	0,96ab	2,06 b	4,80 b	7,81 b
	4	0,21 b	0,32 bc	0,47 c	1,00 c
	8	0,08 b	0,10 c	0,50 c	0,68 c
	16	0,05 b	0,10 c	0,36 c	0,50 c
Arroz	0	7,06a	7,98a	7,03a	22,07ab
	1	8,03a	8,53a	8,08a	24,64a
	2	8,07a	7,68ab	8,16a	23,92ab
	4	7,27a	5,96 b	6,93a	20,16 b
	8	2,54 b	2,42 c	3,90 b	8,85 c
	16	0,08 c	0,04 d	0,08 c	0,20 d
DMS (Tukey 5%)		1,42	1,76	1,54	4,23
C.V. %		17,4	18,1	13,5	14,5

¹ Média de 3 repetições

Figura 1. Relação entre a produção de matéria seca total (g/vaso) nas culturas de arroz e feijão, e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva

os níveis de 4, 8 e 16ppm de Ni na solução nutritiva. Tratamentos estes que ocasionaram as mais baixas produções de matéria seca.

Os teores de nutrientes (Apêndice 2) apresentaram, em geral, uma tendência a aumentar na sua concentração por efeito das doses crescentes de Ni na solução em todas as partes da planta. Nas folhas de feijão, notou-se uma tendência a diminuir dos teores de Ca, Mg e Mn, enquanto que o teor de Ni aumentou com as doses crescentes de Ni. Nas folhas de arroz, verificou-se esta tendência de diminuição nos teores de Ca, Mg, Fe e Mn. As doses crescentes de Ni na solução nutritiva também

afetaram os teores de Ni nas diversas partes da planta, nas duas culturas, aumentando o teor conforme aumentam as doses. Entre as partes de arroz e feijão, as raízes apresentaram teores de 2 a 5 vezes maiores em relação aos teores nas folhas.

As quantidades de nutrientes (Apêndice 3) foram afetadas pelas doses de Ni na solução nutritiva, nas duas espécies, diminuindo devido à influência da baixa produção de matéria seca. Por outro lado, as quantidades totais acumuladas de Ni aumentam com adições de Ni. Verificou-se este comportamento, no arroz até o nível de 8ppm de Ni na solução, e no feijão até 4ppm de Ni. Observou-se nas quantidades totais de nutrientes, um efeito negativo conforme aumentam os níveis de Ni na solução nutritiva. No arroz, estes efeitos negativos apresentaram-se nos tratamentos com altas doses de Ni (4, 8 e 16ppm).

Este primeiro ensaio serviu para estabelecer os níveis de concentração de Ni a serem utilizados na solução nutritiva para avaliar os efeitos da toxidez de Ni em arroz e feijão, sendo que foram estabelecidas concentrações de até 4ppm para feijão, e de até 12ppm para arroz.

4.1.2. Ensaio 2. Avaliação dos efeitos da toxidez de Ni em feijão

A produção de matéria seca no feijão cultivar Carioca (Tabela 3, Figura 2 e Apêndice 4) das partes e do total, por ocasião da floração, apresentaram reduções significativas ($P \leq 0,05$) em função dos níveis de Ni na solução nutritiva. Nota-se que 1ppm de Ni na solução nutritiva não afeta significativamente a produção de matéria seca, em

relação à testemunha, sem Ni. Também houve correlações significativas ($P \leq 0,01$) entre a produção de matéria seca e níveis de Ni na solução nutritiva; as análises realizadas mostram reduções lineares para todas as partes da planta com exceção das folhas que apresentam um efeito quadrático.

Tabela 3. Produção de matéria seca e teor de clorofila total em feijão cultivar Carioca, em função dos níveis de níquel na solução nutritiva¹

Ni	Raiz	Caule + Ramo	Folha	Total	Clorofila
ppm	----- g/vaso -----				µg/g m.f.
0	2,28a	5,20a	6,95a	14,43a	1745a
1	1,87a	5,25a	6,20a	13,32a	1462a
2	0,96 b	2,06 b	4,80 b	7,81 b	1456a
4	0,21 c	0,32 b	0,47 c	1,00 c	836 b
DMS (Tukey 5%)	0,71	2,01	1,17	3,56	369
C.V. %	18,8	22,2	9,0	13,7	9,5

¹ Média de 3 repetições

Figura 2. Relação entre a produção de matéria seca total (g/vaso) e o teor de clorofila total nas folhas ($\mu\text{g/g}$ de matéria fresca) de feijão, e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva

Análises do teor de clorofila total em folhas de feijão (Tabela 3, Figura 2 e Apêndice 4) mostraram que não existe um efeito significativo ($P \leq 0,05$) dos níveis de Ni na solução nutritiva até 2ppm. Níveis de 4ppm de Ni na solução nutritiva reduzem em 52% o teor de clorofila total, em relação à testemunha. Porém, estes resultados ajustaram-se melhor a uma função linear e negativa ($P \leq 0,01$).

As equações de regressão para as quantidades de nutrientes na planta toda e nas folhas de feijão (Figura 3 e Apêndice 5), em função dos níveis de Ni na solução nutritiva mostraram um efeito negativo significativo ($P \leq 0,05$) na acumulação de nutrientes na planta (P, Mg, Cu e Mn) e nas folhas (S, Cu e Mn). Entre os macronutrientes, verificou-se uma forte queda na quantidade total de Mg na planta de feijão, enquanto que, entre os micronutrientes, a queda nas quantidades totais de Cu e Mn foi semelhante. Os outros nutrientes, também foram afetados negativamente por doses crescentes de Ni, entretanto, os dados não se ajustaram a nenhuma função matemática.

4.1.3. Ensaio 3. Avaliação dos efeitos da toxidez de Ni em dois cultivares de feijão

Os resultados da produção de matéria seca em dois cultivares de feijão (Carioca e IAPAR-14), por ocasião da floração e formação de grãos, são apresentados na Tabela 4, Figura 4 e Apêndice 6. Constatou-se pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$), mudanças significativas da interação cultivares x níveis de Ni, em função dos níveis de Ni na solução nutritiva. A produção foi semelhante nos dois cultivares, entretanto, as doses de Ni afetaram em maior grau ao cultivar Carioca, sendo que este comportamento indica uma maior tolerância do cultivar IAPAR-14 à toxidez de Ni. Por ocasião da floração, verificou-se uma redução na produção de matéria seca total de 84 e 92% para os cultivares IAPAR-14 e Carioca, respectivamente, quando submetidos a 4ppm de Ni, em relação à testemunha. Na segunda coleta, estágio de formação de grãos, as reduções foram de 70 e 95% para os cultivares IAPAR-14 e Carioca, respectivamente.

Figura 3. Relação entre as quantidades totais de P e Mg (mg/vaso), Cu e Mn (μg/vaso) no feijoeiro, e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva

Tabela 4. Produção de matéria seca de dois cultivares de feijão coletados por ocasião da floração e da formação de grãos, e teor de clorofila total nas folhas, em função dos níveis de níquel na solução nutritiva¹

Cultivar	Ni	Primeira Coleta				Coleta Final				Cloro- fila		
		Folha	Caulo + Ramo	Raiz	Total	Folha	Caulo + Ramo	Raiz	Casca		Grão	Total
	ppm	----- g/vaso ----- ----- µg/g m. f. -----										
Carioca	0	9,13a	9,55a	3,64a	22,33a	8,08a	12,98a	4,14a	1,75	1,94	28,89a	1038a
	1	6,50a	9,27a	3,13a	18,90a	6,71 b	11,86a	2,36 b	1,31	0,78	23,01 b	1038a
	2	5,13 b	4,60 b	1,57 b	11,30 b	4,30 b	5,32 b	1,30 bc	0,40	0,04	11,36 c	941a
	4	0,99 c	0,49 c	0,22 c	1,70 c	0,88 c	0,44 c	0,17 c	0,00	0,00	1,49 d	575 b
IAPAR-14	0	11,23a	8,72a	2,82a	22,77a	9,30a	9,48a	3,12a	0,24	0,52	22,66a	1681a
	1	13,07a	7,51a	2,57a	23,14a	7,41 b	10,31a	2,52a	1,48	1,07	22,78a	1574a
	2	7,51 b	4,30 b	1,88 b	13,70 b	7,44 b	10,02a	2,37a	0,74	0,84	21,74a	1450a
	4	2,07 c	1,01 c	0,51 c	3,59 c	3,65 c	2,43 b	0,76 b	0,00	0,00	6,85 b	879 b
DMS ² Ax B	(5%)	3,01	1,57	0,62	3,76	1,44	2,48	1,27	-	-	4,75	174
C.V. %		25,8	16,5	12,8	15,3	14,4	13,3	25,6	67,5	95,3	11,5	9,0

¹ Média de 3 repetições

² Comparação de médias pelo teste de Tukey, da interação níveis de Ni x cultivares

Figura 4. Relação entre a produção de matéria seca total da primeira coleta (g/vaso), teor de clorofila total nas folhas (µg/g de matéria fresca) e produção de matéria seca total da segunda coleta nos dois cultivares de feijão (Carioca e IAPAR-14), e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva

Também, na segunda coleta, verificou-se que o cultivar IAPAR-14 não apresenta diferenças significativas ($P \leq 0,05$) entre os níveis de 0, 1 e 2ppm de Ni na solução nutritiva.

As análises de regressão, demonstraram correlações negativas significativas ($P \leq 0,01$) para o peso seco total nas duas coletas, em relação às doses de Ni. Na primeira coleta (floração) o efeito foi linear, enquanto que na segunda coleta (formação de grãos) comprovou-se um efeito negativo linear para o cultivar Carioca e quadrático para o cultivar IAPAR-14.

O teor de clorofila total nas folhas (Tabela 4 e Figura 4), em relação às doses de Ni, diminui quadráticamente ($P \leq 0,01$). Pelo teste de Tukey a 5%, verificou-se que não existem diferenças significativas entre os níveis de 0, 1 e 2ppm de Ni no teor de clorofila total. O nível de 4ppm de Ni reduz significativamente o teor de clorofila total nas folhas de feijão.

Os teores de nutrientes e níquel (Tabela 5, Figura 5 e Apêndices 7, 8 e 9) apresentam correlações significativas ($P \leq 0,01$) para algumas variáveis. Por ocasião da floração, aumentam linearmente os teores de Mn nas folhas do cultivar Carioca, e de Ni nos dois cultivares, em relação às doses de Ni. Entretanto, observou-se diminuições no teor de Mg da raiz do cultivar Carioca por ação dos níveis de Ni. Por ocasião da formação de grãos, verificou-se uma redução linear ($P \leq 0,01$) do teor de Mg no caule + ramo do cultivar IAPAR-14, devido aos níveis crescentes de Ni. Em geral, encontraram-se efeitos quadráticos altamente significativos ($P \leq 0,01$) no teor de nutrientes nas folhas por ocasião

Tabela 5. Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em dois cultivares de feijoeiro (Y), e ppm de Ni (X) na solução nutritiva

Variável				Equação de Regressão	R ²	F
Coleta	Parte	Nutriente	Cultivar			
1	Folha	Mn	Carioca	$Y = 53,00 + 9,571X$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = 64,70 + 1,743X$	0,22	ns
		Ni	Carioca	$Y = -22,80 + 86,743X$	0,97	**
			IAPAR-14	$Y = -21,30 + 75,600X$	0,95	**
	Caule + Ramo	P	Carioca	$Y = 0,219 + 0,038X$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = 0,261 + 0,016X$	0,84	**
		Mg	Carioca	$Y = 0,509 + 0,072X$	0,95	**
			IAPAR-14	$Y = 0,582 + 0,148X - 0,041X^2$	0,99	**
		Ni	Carioca	$Y = -43,70 + 129,614X$	0,93	**
			IAPAR-14	$Y = -1,90 + 54,729X$	0,98	**
	Raiz	Mg	Carioca	$Y = 1,208 - 0,076X$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = 1,182 + 0,291X - 0,099X^2$	0,93	**
		Cu	Carioca	$Y = 8,545 - 7,773X + 5,773X^2$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = 9,832 - 5,766X + 3,716X^2$	0,99	**
		Fe	Carioca	$Y = 667,395 - 594,098X + 665,648X^2$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = 998,041 - 667,82X + 548,67X^2$	0,99	**
		Mn	Carioca	$Y = 47,718 - 33,709X + 36,909X^2$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = 49,50 + 13,00X$	0,87	*
		Zn	Carioca	$Y = 34,323 - 25,861X + 16,511X^2$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = 42,973 - 20,536X + 9,636X^2$	0,98	**
2	Caule + Ramo	N	Carioca	$Y = 1,68 + 1,120X - 0,165X^2$	0,97	*
			IAPAR-14	$Y = 2,11 - 0,510X + 0,220X^2$	0,99	**
		P	Carioca	$Y = 0,208 + 0,043X$	0,97	**
			IAPAR-14	$Y = 0,295 - 0,034X + 0,011X^2$	0,99	**
		K	Carioca	$Y = 2,069 - 0,154X + 0,219X^2$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = 2,99 - 0,755X + 0,275X^2$	0,96	**
		Mg	Carioca	$Y = 0,528 + 0,025X$	0,87	**
			IAPAR-14	$Y = 0,594 - 0,044X$	0,82	**
		Fe	Carioca	$Y = 132,34 - 35,218X + 9,818X^2$	0,92	*
			IAPAR-14	$Y = 144,95 + 99,225X - 25,375X^2$	0,62	**
		Mn	Carioca	$Y = 22,62 - 6,01X + 1,41X^2$	0,62	ns
			IAPAR-14	$Y = 14,56 + 20,87X - 3,92X^2$	0,99	*
		Ni	Carioca	$Y = 8,823 + 10,64X + 31,51X^2$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = -7,60 + 72,414X$	0,99	**
	Raiz	N	Carioca	$Y = 2,58 + 0,261X$	0,82	**
			IAPAR-14	$Y = 3,04 - 0,357X + 0,127X^2$	0,64	*
		K	Carioca	$Y = 2,86 + 0,651X - 0,161X^2$	0,31	ns
			IAPAR-14	$Y = 1,30 + 0,879X$	0,85	**
		Ca	Carioca	$Y = 0,533 - 0,117X + 0,074X^2$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = 0,763 - 0,128X + 0,029X^2$	0,95	ns
		Mg	Carioca	$Y = 0,604 - 0,154X + 0,039X^2$	0,86	*
			IAPAR-14	$Y = 0,383 + 0,180X - 0,041X^2$	0,71	*
		Cu	Carioca	$Y = 7,05 - 5,725X + 5,875X^2$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = 8,10 + 4,30X$	0,77	**
		Fe	Carioca	$Y = 716,95 + 50,93X + 484,27X^2$	1,00	*
			IAPAR-14	$Y = 508,0 + 812,714X$	0,81	*
		Mn	Carioca	$Y = 98,186 - 50,54X + 36,19X^2$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = 163,68 - 178,14X + 62,49X^2$	0,99	**
		Zn	Carioca	$Y = 43,51 - 23,655X + 15,955X^2$	0,99	**
			IAPAR-14	$Y = 35,30 - 17,60X + 8,50X^2$	0,99	*

** Significativo ao nível de 1%

* Significativo ao nível de 5%

ns Não significativo

Figura 5. Relação entre os teores de nutrientes e níquel (% e ppm) nas folhas de feijão para as duas coletas (floração e formação de grãos), e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva

da floração (Mg e Fe) e da formação de grãos (Fe). Estes efeitos confir mam a existência de certo grau de interação do Ni com o Fe e o Mg, nas duas coletas realizadas.

O teor de Ni nas folhas, nas duas coletas, aumentou em função aos níveis crescentes de Ni na solução nutritiva. Também observou-se que o teor de Ni nas partes da planta (Apêndice 9), aumenta por ação dos níveis de Ni na solução, nas duas coletas. Por outro lado, verificou-se que a maior acumulação de Ni está nas raízes, sendo que o cultivar IAPAR-14 concentra mais do que o cultivar Carioca, quando as plantas foram submetidas a soluções nutritivas com 4ppm de Ni. Nas equações de regressão ($P \leq 0,01$), encontrou-se correlações positivas entre teores de Ni na matéria seca do feijoeiro e doses crescentes de Ni na solução nutritiva.

4.1.4. Ensaio 4. Avaliação dos efeitos da toxidez de Ni em duas variedades de arroz

Na Tabela 6, Figura 6 e Apêndice 10, estão ilustrados os efeitos dos níveis de Ni sobre a produção de matéria seca de duas variedades de arroz (IAC-165 e IAC-4440), coletadas por ocasião do perfilhamento e formação de grãos. Verificou-se, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) da interação variedades x níveis de Ni, efeitos altamente significativos. As duas variedades apresentaram comportamento semelhante nas duas épocas de coleta. Também observou-se que, praticamente não existem diferenças significativas na produção de matéria seca entre os tratamentos com 0 e 4ppm de Ni, sendo que no arroz, as reduções na produção de matéria seca ocorre com níveis acima de 4ppm de Ni (8 e 12ppm de Ni).

Tabela 6. Produção de matéria seca de duas variedades de arroz, coletadas por ocasião do máximo perfilhamento e da formação de grãos, e teor de clorofila total, em função dos níveis de nitrogênio na solução nutritiva¹

Variedade Ni	Primeira Coleta				Coleta Final				Cloro-fila			
	Folha	Colmo + Perfilho	Raiz	Total	Folha	Colmo + Perfilho	Raiz	Grão Total				
ppm	----- g/vaso -----								µg/g m.f.			
IAC-165	0	8,72a	9,46a	5,47a	23,65a	8,09a	21,19a	7,76a	1,57	4,46	43,08a	2443a
	4	8,51a	6,75 b	5,76a	21,02a	7,58a	19,40ab	7,09ab	1,27	5,44	40,78a	941 b
	8	5,34 b	4,72 c	3,30 b	13,35 b	6,71a	13,74 bc	5,78 b	0,63	4,66	31,52 b	733 bc
	12	2,64 c	2,66 d	1,58 c	6,89 c	3,45 b	8,93 c	1,82 c	0,00	0,00	14,19 c	455 c
IAC-4440	0	8,35a	6,82a	6,22a	21,39a	12,06a	33,97a	8,25a	1,22	0,00	55,51a	3253a
	4	8,26a	6,94a	6,43a	21,64a	10,06a	29,11a	6,89a	3,04	1,10	50,20a	1673 b
	8	5,05 b	4,36 b	3,26 b	12,66 b	6,78 b	17,68 b	3,54 b	2,28	1,85	32,12 b	1238 c
	12	1,93 c	1,50 c	1,29 c	4,72 c	3,92 c	8,46 c	1,29 c	0,00	0,00	13,67 c	587 d
DMS ² _{AxB} (5%)	0,91	1,26	0,93	2,06	2,19	5,91	1,68	-	-	-	7,72	309
C.V. %	8,9	9,8	13,4	7,8	12,6	13,1	13,3	66,6	85,8	9,3	9,2	9,2

¹ Média de 3 repetições

² Comparação de médias pelo teste de Tukey, da interação níveis de Ni x variedades

Figura 6. Relação entre a produção de matéria seca total da primeira coleta (g/vaso), teor de clorofila total ($\mu\text{g/g}$ de matéria fresca) e produção de matéria seca total da segunda coleta nas duas variedades de arroz (IAC-165 e IAC-4440), e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva

As equações de regressão (Apêndice 10) para produção de matéria seca em função dos níveis de Ni na solução nutritiva, apresentaram correlações significativas ($P \leq 0,01$) para o peso seco total nas duas coletas. Por ocasião do perfilhamento e na época de formação de grãos, os efeitos das doses de Ni sobre a produção de matéria seca foram quadráticos. Entretanto, na segunda coleta (formação de grãos), existem ligeiras diferenças entre as equações de regressão que indicam uma maior tolerância à toxidez de Ni da variedade IAC-165 ($Y = 43,025 + 0,42X - 0,235X^2$), em relação à variedade IAC-4440 ($Y = 56,127 - 1,126X - 0,205X^2$). A variedade IAC-4440 apresenta uma maior capacidade de produção de matéria seca do que a variedade IAC-165, na época de formação de grãos, sendo que nas doses de 4 e 8ppm de Ni sua produção ainda foi superior, em comparação com a variedade IAC-165.

As doses de Ni, também afetaram significativamente o teor de clorofila total nas folhas de arroz (Tabela 6, Figura 6 e Apêndice 10). Verificou-se pelo teste de Tukey a 5%, que existem reduções significativas conforme aumentam os níveis de Ni na solução nutritiva. Esta redução pode atingir 81% no tratamento com 12ppm de Ni, em relação à testemunha, sem Ni. As equações de regressão ajustaram-se a uma função quadrática. As correlações entre o teor de clorofila total nas folhas e o teor de Ni nas folhas não foram significativas.

Os teores de nutrientes e níquel na matéria seca de arroz, em geral, aumentaram com as doses de Ni na solução nutritiva (Tabela 7, Figura 7 e Apêndices 11, 12 e 13). Na primeira coleta (perfilhamento), observou-se reduções no teor de Mg da folha para ambas as variedades,

Tabela 7. Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em duas variedades de arroz (Y), e ppm de Ni (X) na solução nutritiva

Variável				Equação de Regressão	R ²	F
Coleta	Parte	Nutriente	Variedade			
1	Folha	P	IAC-165	$Y = 0,274 + 0,009X$	0,87	**
			IAC-4440	$Y = 0,225 - 0,004X + 0,001X^2$	1,00	**
		K	IAC-165	$Y = 3,207 + 0,296X - 0,013X^2$	0,99	*
			IAC-4440	$Y = 4,332 - 0,061X + 0,01X^2$	0,99	*
		Mg	IAC-165	$Y = 0,787 - 0,022X$	0,79	**
			IAC-4440	$Y = 0,809 - 0,0415X$	0,83	**
		Fe	IAC-165	$Y = 160,925 - 7,894X + 1,023X^2$	0,95	*
			IAC-4440	$Y = 146,825 - 27,04X + 4,43X^2$	0,96	**
		Ni	IAC-165	$Y = 40,75 + 43,187X$	0,97	**
			IAC-4440	$Y = 2,40 + 36,35X$	0,99	**
	Colmo + Perfilho	Ca	IAC-165	$Y = 0,562 + 0,0086X - 0,0007X^2$	0,16	ns
			IAC-4440	$Y = 0,667 + 0,039X - 0,005X^2$	0,78	**
		Mg	IAC-165	$Y = 0,428 - 0,014X$	0,93	*
			IAC-4440	$Y = 0,557 - 0,056X + 0,005X^2$	0,96	**
	Raiz	Cu	IAC-165	$Y = 4,375 - 0,594X + 0,148X^2$	0,98	**
			IAC-4440	$Y = 5,575 - 1,794X + 0,305X^2$	0,98	**
2	Folha	N	IAC-165	$Y = 1,582 + 0,128X$	0,92	**
			IAC-4440	$Y = 1,803 + 0,073X$	0,70	**
		P	IAC-165	$Y = 0,256 + 0,011X$	0,97	**
			IAC-4440	$Y = 0,173 - 0,0024X + 0,0015X^2$	0,99	**
		Ca	IAC-165	$Y = 1,575 - 0,043X$	0,90	**
			IAC-4440	$Y = 1,147 - 0,067X + 0,0064X^2$	0,83	*
		Cu	IAC-165	$Y = 4,80 + 0,325X$	0,91	**
			IAC-4440	$Y = 5,025 - 0,806X + 0,07X^2$	0,99	**
		Mn	IAC-165	$Y = 329,7 + 14,987X - 1,516X^2$	0,72	ns
			IAC-4440	$Y = 417,2 - 22,38X + 2,445X^2$	0,99	*
		Ni	IAC-165	$Y = 35,30 + 52,762X$	0,99	**
			IAC-4440	$Y = 8,50 + 37,375X$	0,98	**
	Colmo + Perfilho	Mn	IAC-165	$Y = 63,175 - 1,52X + 0,148X^2$	0,50	ns
			IAC-4440	$Y = 54,825 - 5,42X + 0,867X^2$	0,99	**
		Zn	IAC-165	$Y = 12,80 - 1,55X + 0,156X^2$	0,95	**
			IAC-4440	$Y = 12,05 - 1,55X + 0,219X^2$	0,99	**
	Raiz	Mn	IAC-165	$Y = 41,375 - 36,656X + 4,98X^2$	0,93	**
			IAC-4440	$Y = 13,825 + 2,394X + 0,29X^2$	0,95	ns
		Zn	IAC-165	$Y = 13,95 - 2,075X + 0,344X^2$	0,92	**
			IAC-4440	$Y = 12,15 + 1,10X$	0,93	*

** Significativo ao nível de 1%

* Significativo ao nível de 5%

ns Não significativo

Figura 7. Relação entre os teores de nutrientes e níquel (% e ppm) nas folhas de arroz para as duas coletas (perfilhamento e formação de grãos), e níveis de níquel (ppm) na solução nutritiva

estes dados ajustaram-se a uma função linear. Na segunda coleta (formação de grãos), as doses de Ni afetaram negativamente os teores de Ca e Mn da folha, para as duas variedades, sendo os efeitos quadráticos. Na Figura 7, pode-se verificar com clareza os efeitos negativos dos níveis crescentes de Ni no teor foliar de Ca e Mg, enquanto o teor de Ni na folha aumenta. Examinando-se os teores de Ni nas partes da planta de arroz (Apêndice 13), observaram-se que esses teores aumentaram em função aos níveis de Ni na solução nutritiva, sendo que a maior acumulação de Ni ocorre nas raízes. As equações de regressão (Apêndice 11), mostraram correlações positivas ($P \leq 0,01$) entre os teores de Ni na matéria seca de arroz e as doses crescentes de Ni na solução nutritiva.

4.1.5. Sintomatologia da toxidez de Ni

4.1.5.1. Feijão

Os sintomas de toxidez provocados pelo níquel no dois cultivares de feijão (Carioca e IAPAR-14) surgiram, inicialmente, apenas nas doses mais elevadas (2 e 4ppm de Ni). Após 7 dias do transplante das mudas para soluções nutritivas com 4ppm de Ni, as folhas mais novas apresentaram clorose internerval e pequenos pontos irregulares necróticos, ligeira pigmentação bruno-avermelhada das folhas primárias, diminuição no crescimento da parte aérea e raízes. As raízes tornaram-se de uma cor parda escura, apresentando poucas raízes laterais. As plantas submetidas a 2ppm de Ni foram afetadas em menor grau, apresentando menor crescimento, ligeira clorose e encarquilhamento foliar.

Após 14 dias, a intensidade dos sintomas aumentou, as plantas sob 4ppm de Ni reduziram o seu crescimento, as folhas apresentam clorose generalizada, a clorose estendeu-se das folhas novas para as velhas, as folhas e entrenós ficaram menores, logo após, surgiram necroses no tecido na forma de pontos irregulares nas margens da folha, e ocasionalmente ocorreu desfolha prematura. As raízes, por sua vez, apresentam redução no seu crescimento, ausência de raízes laterais, de cor parda escura e quebradiças. Até o final do ensaio, não foi possível observar sintomas característicos da toxidez de Ni para plantas expostas a doses de 1ppm de Ni na solução nutritiva, somente o cultivar Carioca, no início, apresentou um ligeiro encarquilhamento.

4.1.5.2. Arroz

Nas duas variedades de arroz (IAC-165 e IAC-4440), os sintomas de toxidez provocados pelas altas doses de Ni (8 e 12ppm), após 10 dias do transplante das mudas para as soluções nutritivas com níquel foram de menor crescimento, em relação à testemunha (sem Ni). Também observou-se clorose internerval nas folhas mais novas, estendendo-se para as folhas mais velhas. As raízes foram curtas e grossas "coralóides", de cor parda escura e quebradiças. Soluções nutritivas com doses menores de Ni (8ppm), apresentaram a mesma sintomatologia em menor intensidade.

Os sintomas de toxidez de Ni tardios incluem, além da redução no crescimento e clorose foliar, necrose das margens das folhas, diminuição no número de folhas, perfilhos e raízes, pontos necróticos nos perfilhos, e raízes curtas e grossas de cor parda escura e quebradiças.

4.1.6. Estudos preliminares dos efeitos da toxidez de Ni nas folhas de arroz e feijão, a nível ultraestrutural

Na Figura 8, apresentam-se os resultados dos estudos a nível de Microscopia Eletrônica dos efeitos tóxicos do Ni nas folhas do feijoeiro e do arroz, cultivados em soluções nutritivas com 4 e 8ppm de Ni, respectivamente. Verifica-se, a nível de ultraestruturas celulares, efeitos do Ni, em relação ao controle (sem Ni). Os maiores efeitos ocorreram nos cloroplastos, afetando-se a organização dos mesmos.

No feijoeiro, as altas doses de Ni induzem uma desorganização celular. Os cloroplastos diminuem o seu tamanho e número, não apresentam grãos de amido mas sim um aumento no número de glóbulos de plastídios.

No arroz, parece que o Ni afeta a organização dos cloroplastos na maioria das células, com distorção e expansão dos tilacoides.

Figura 8. Eletrofotomicrografias de tecidos foliares de plantas de feijoeiro cv. Carioca (A) e de arroz v. IAC-165 (B) cultivadas em soluções nutritivas contendo Ni (ppm) nos níveis de A₁ = 0; A₂ = 4; B₁ = 0; B₂ = 8.
Abreviaturas: cl, cloroplasto; ga, grão de amido; gp, glóbulos de plastídeos

4.2. Ensaaios em solos

4.2.1. Avaliação dos efeitos da toxidez de Ni em três solos ácidos

4.2.1.1. Feijão

Na Tabela 8, Figura 9 e Apêndice 14, estão ilustrados os efeitos das doses de Ni sobre a produção de matéria seca de feijão, coletado por ocasião da formação de grãos, em três solos ácidos. Em geral, o Vertissolo (V) apresentou as maiores produções, seguido do Latossolo Roxo distrófico (LRd), e por último da Terra Roxa Estruturada (TE). No Vertissolo, verificou-se reduções significativas na produção de matéria seca com a dose de 120ppm de Ni, enquanto que no LRd e TE estas reduções significativas ocorreram a partir dos níveis de 60 e 30ppm de Ni, respectivamente. A medida que as doses de Ni aplicadas ao solo aumentam, ocorre a diminuição na produção de matéria seca. Analisando a produção de matéria seca total de feijão, verifica-se que os dados obtidos na TE se ajustaram a uma função linear, enquanto que os dados obtidos no V e LRd apresentam um efeito quadrático.

Tabela 8. Produção de matéria seca em feijão cultivar Carioca, em função dos níveis de níquel, em três solos¹

Solos	Ni	Folha	Caule + Ramo	Raiz	Casca	Grão	Total
	ppm	----- g/vaso -----					
V	0	6,59 bc	4,07 bc	3,89 b	2,27 b	5,50 b	22,32 b
	30	6,73 b	4,00 c	4,90a	2,79a	5,56 b	23,97a
	60	7,09a	4,28 b	5,15a	2,35 b	6,08a	24,95a
	120	6,29 c	4,86a	5,19a	2,19 b	1,51 c	20,04 c
LRd	0	3,38a	1,86a	1,23ab	1,18a	5,52a	13,16a
	30	2,94 b	2,05a	1,65a	1,20a	4,74 b	12,58a
	60	2,70 b	2,02a	1,69a	1,11a	2,28 c	9,79 b
	120	1,28 c	1,34 b	0,78 b	0,10 b	0,00 d	3,50 c
TE	0	3,29a	1,63a	1,87a	1,09a	1,58a	9,45a
	30	2,00 b	1,33 b	1,27 b	0,83 b	0,60 b	6,02 b
	60	1,35 c	1,34 b	1,51ab	0,74 b	0,00 c	4,94 c
	120	0,13 d	0,13 c	0,05 c	0,00 c	0,00 c	0,31 d
DMS ² _{AxB}	(5%)	0,33	0,27	0,50	0,25	0,51	1,01
C.V. %		3,9	5,0	9,1	8,4	8,1	3,5

¹ Média de 3 repetições

² Comparação de médias pelo teste de Tukey, da interação níveis de Ni x solos

Figura 9. Relação entre a produção de matéria seca total (g/vaso) em feijoeiro, e níveis de níquel (ppm) em três solos ácidos

Os teores de nutrientes (Tabela 9, Figura 10 e Apêndices 15 e 16) também foram afetados pelas doses de Ni, sendo que a maioria (N, P, K, S e Fe) aumenta a sua concentração na planta, outros (Ca, Mn e Zn) diminuem, enquanto que o Mg e o Cu mostraram-se indiferentes. As análises de regressão determinadas mostraram efeitos lineares negativos no teor de Mn na folha de feijão no LRd, enquanto que na TE este efeito foi quadrático. No Vertissolo os dados sobre os teores de nutrientes não se ajustaram a nenhuma função matemática, em relação às doses de Ni.

Tabela 9. Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) de feijoeiro (Y), e ppm de níquel (X) em três solos ácidos

Variável			Equação de Regressão	R ²	F
Parte	Nutriente	Solos			
Folha	N	V	$Y = 1,788 + 0,0049X - 0,00002X^2$	0,51	ns
		LRd	$Y = 1,451 + 0,0104X$	0,99	**
		TE	$Y = 1,608 + 0,022X - 0,00014X^2$	0,76	ns
	K	V	$Y = 1,027 - 0,013X + 0,00009X^2$	0,95	ns
		LRd	$Y = 2,068 + 0,037X - 0,00014X^2$	0,998	**
		TE	$Y = 1,957 + 0,0275X - 0,00015X^2$	0,95	**
	Mn	V	$Y = 177,26 + 2,192X - 0,019X^2$	0,98	ns
		LRd	$Y = 515,40 - 1,115X$	0,79	ns
		TE	$Y = 1532,22 - 23,307X + 0,094X^2$	0,95	**
	Ni	V	$Y = 24,16 + 2,456X - 0,015X^2$	0,98	**
		LRd	$Y = 31,19 + 0,552X + 0,014X^2$	0,99	**
		TE	$Y = -1,70 + 3,799X$	0,995	**
Caule + Ramo	N	V	$Y = 1,154 - 0,006X + 0,00006X^2$	0,97	ns
		LRd	$Y = 0,759 + 0,0086X$	0,97	**
		TE	$Y = 0,797 + 0,019X - 0,0001X^2$	0,98	*
	Ca	V	$Y = 1,88 - 0,0033X$	0,59	**
		LRd	$Y = 1,266 - 0,0045X$	0,88	**
		TE	$Y = 1,201 + 0,0064X - 0,00007X^2$	0,80	**
	Mg	V	$Y = 1,137 + 0,0034X - 0,00005X^2$	0,99	**
		LRd	$Y = 0,808 + 0,0012X - 0,000005X^2$	0,43	ns
		TE	$Y = 0,803 + 0,004X$	0,96	**
	Fe	V	$Y = 169,47 - 0,461X + 0,011X^2$	0,96	ns
		LRd	$Y = 279,54 - 0,611X - 0,0026X^2$	0,94	ns
		TE	$Y = 258,13 - 3,554X + 0,068X^2$	0,91	**
	Mn	V	$Y = 78,80 - 0,418X$	0,60	ns
		LRd	$Y = 76,754 - 1,078X + 0,0058X^2$	0,98	ns
		TE	$Y = 427,30 - 3,548X$	0,70	**
	Zn	V	$Y = 37,90 - 0,143X$	0,89	**
		LRd	$Y = 12,23 + 0,113X - 0,0004X^2$	0,97	ns
		TE	$Y = 39,18 - 0,513X + 0,0042X^2$	0,84	**
Raiz	Ni	V	$Y = 34,10 + 0,705X$	0,81	**
		LRd	$Y = 50,10 + 1,098X$	0,87	**
		TE	$Y = 33,927 + 1,324X + 0,0326X^2$	0,98	**
	P	V	$Y = 0,146 - 0,0009X + 0,000008X^2$	0,79	**
		LRd	$Y = 0,11 + 1,00X$	0,00	ns
		TE	$Y = 0,108 + 0,0003X - 0,000002X^2$	0,66	ns
	K	V	$Y = 0,377 - 0,0048X + 0,000032X^2$	0,71	*
		LRd	$Y = -0,04 + 0,0065X$	0,82	**
		TE	$Y = 0,081 + 0,011X - 0,00006X^2$	0,96	**
	Mg	V	$Y = 0,74 + 0,00082X - 0,00001X^2$	0,58	ns
		LRd	$Y = 0,51 + 0,0024X - 0,00002X^2$	0,38	*
		TE	$Y = 0,43 + 0,0012X$	0,65	**
	Mn	V	$Y = 165,114 + 1,131X - 0,0063X^2$	0,996	ns
		LRd	$Y = 100,9 + 0,2924X$	0,52	ns
		TE	$Y = 258,7 - 1,263X$	0,83	**
	Zn	V	$Y = 124,2 - 1,747X + 0,01X^2$	0,91	*
		LRd	$Y = 80,54 - 1,436X + 0,0099X^2$	0,84	*
		TE	$Y = 57,43 - 1,025X + 0,0115X^2$	0,998	*
	Ni	V	$Y = 40,90 + 1,928X$	0,996	**
		LRd	$Y = 40,295 + 0,845X + 0,0304X^2$	0,996	**
		TE	$Y = 87,268 - 4,089X + 0,117X^2$	0,98	**

** Significativo ao nível de 1%

* Significativo ao nível de 5%

ns Não significativo

Figura 10. Relação entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) nas folhas de feijoeiro, e níveis de níquel (ppm) no solo

Em geral, pode-se observar que nos ensaios em solos (Figura 10), existem correlações negativas significativas entre os teores foliares de Ca, Mn e Zn e as doses de Ni aplicados ao solo. Os teores de Fe na raiz foram muito elevados, provavelmente devido a contaminações com partículas de solo, no momento da coleta do material. Os baixos teores foliares de P nos solos LRd e TE justificam em parte sua menor capacidade de produção, em relação ao solo Vertissolo (V).

Os teores de Ni (Tabela 9, Figura 10 e Apêndices 15 e 17), foram afetados em relação direta com as doses de Ni utilizadas, em todas as partes da planta. Nota-se que o maior acúmulo de Ni ocorre na raiz. Fazendo uma comparação entre os três solos (V, LRd e TE), os teores de Ni nas diferentes partes da planta foram maiores nas plantas que cresceram na TE, seguido do LRd, e por último do V. Estas diferenças nos teores de Ni na planta foram notórias a partir da dose de 60ppm de Ni. As equações de regressão mostram um efeito positivo linear ($P \leq 0,01$) das doses de Ni sobre o teor de Ni nas folhas.

4.2.1.2. Arroz

Na Tabela 10, Figura 11 e Apêndice 18, estão ilustrados os efeitos das doses de Ni sobre a produção de matéria seca de arroz, coletado por ocasião da formação de grãos, em três solos ácidos. Verifica-se nos 3 solos, um efeito negativo significativo ($P \leq 0,05$) das doses crescentes de Ni sobre a produção de matéria seca. Entretanto, a produção de matéria seca no Vertissolo foi maior em comparação aos outros solos estudados (LRd e TE). As menores produções ocorreram na TE com doses de 120ppm de Ni. Por outro lado, as análises de regressão (Apêndice 18), mostraram diminuições lineares significativas ($P \leq 0,01$) na produção de matéria seca de folhas, colmo + perfilhos e total no LRd, em relação às doses de Ni. Enquanto que nos outros dois solos (V e TE), verificou-se um efeito quadrático das doses de Ni sobre a produção de matéria seca. Também, constatou-se pelo teste de Tukey a 5% que não houve diferenças significativas entre as doses de 0 e 30ppm de Ni na produção de matéria seca no LRd e TE. No Vertissolo, as doses de 60 e 120ppm de Ni não foram significativamente diferentes na produção de matéria seca para todas as partes da planta.

Os efeitos dos níveis de Ni sobre os teores de nutrientes (Tabela 11, Figura 12 e Apêndices 19 e 20) nas partes da planta de arroz, mostraram diversos comportamentos. Verificou-se um aumento dos teores de N e K. Os teores de P, S e Cu não foram afetados, enquanto que os teores de Ca, Mg, Fe, Mn e Zn diminuíram por ação das doses de Ni. Nas folhas, observou-se que as doses crescentes de Ni diminuíram os teores de Ca, Mg, Mn e Zn. As análises de regressão mostram reduções

Tabela 10. Produção de matéria seca em arroz variedade IAC-165, em função dos níveis de níquel em três solos¹

Solos	Ni	Folha	Colmo + Perfilho	Raiz	Raquis	Grão	Total
	ppm	g/vaso					
V	0	8,25a	12,45a	9,80a	1,62a	3,28a	35,40a
	30	5,36 b	9,95 b	8,28 b	1,55a	2,38 b	27,51 b
	60	5,03 bc	8,01 c	7,73 b	1,42 b	0,97 c	23,17 c
	120	4,59 c	7,36 c	7,16 b	1,17 c	1,21 c	21,49 c
LRd	0	4,09a	5,35a	4,62a	0,78a	1,86a	16,71a
	30	3,62ab	4,97a	4,82a	0,70ab	1,17 b	15,29ab
	60	3,35 b	4,85a	4,21a	0,67 b	0,78 b	13,86 bc
	120	2,80 c	3,76 b	4,17a	0,40 c	0,94 b	12,07 c
TE	0	3,95a	5,71a	4,89a	0,78a	2,17a	17,49a
	30	3,53ab	5,32a	4,86a	0,75a	1,74a	16,20ab
	60	2,99 b	4,41 b	4,68a	0,57 b	1,80a	14,45 b
	120	1,61 c	2,65 c	2,78 b	0,24 c	0,11 b	7,38 c
DMS ² _{AxB}	(5%)	0,55	0,71	1,11	0,11	0,57	1,94
C.V. %		5,9	5,0	8,7	9,0	16,3	4,6

¹ Média de 3 repetições

² Comparação de médias pelo teste de Tukey, da interação níveis de Ni x solos

Figura 11. Relação entre a produção de matéria seca total (g/vaso) em arroz, e níveis de níquel (ppm) em três solos ácidos

lineares significativas ($P \leq 0,01$) nos teores de Mg, Mn e Zn das folhas, em relação às doses crescentes de Ni. No entanto, os teores foliares de Ca se ajustaram melhor a uma função quadrática.

Com respeito ao teor de Ni (Tabela 11 e Apêndices 19 e 21) na matéria seca de arroz, em função aos níveis de Ni aplicados ao solo, pode-se notar uma relação direta entre o teor e a dose de Ni. Também, observou-se uma maior acumulação de Ni nas raízes. Comparando os três solos, os teores de Ni foram maiores em plantas que cresceram na TE, seguida do LRd, sendo que no Vertissolo os teores de Ni foram os

Tabela 11. Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em arroz (Y), e ppm de níquel (X) em três solos ácidos

Variável			Equação de Regressão	R ²	F
Parte	Nutriente	Solos			
Folha	K	V	$Y = 1,027 + 0,048X - 0,00026X^2$	0,996	**
		LRd	$Y = 3,27 + 0,0032X$	0,54	*
		TE	$Y = 2,07 + 0,0089X$	0,86	**
	Ca	V	$Y = 1,69 - 0,0036X$	0,87	**
		LRd	$Y = 0,92 + 0,0082X - 0,00005X^2$	0,97	*
		TE	$Y = 1,738 - 0,0056X$	0,89	**
	Mn	V	$Y = 1028,34 + 7,11X - 0,091X^2$	0,46	ns
		LRd	$Y = 1859,0 - 8,60X$	0,88	*
		TE	$Y = 4800,0 - 35,024X$	0,98	**
	Ni	V	$Y = 20,20 + 0,415X$	0,99	**
		LRd	$Y = 26,60 + 0,769X$	0,98	**
		TE	$Y = 6,595 + 2,767X - 0,0087X^2$	0,98	**
Colmo + Perfilho	K	V	$Y = 1,743 + 0,0378X - 0,00017X^2$	0,999	*
		LRd	$Y = 4,437 - 0,0103X + 0,000098X^2$	0,73	ns
		TE	$Y = 2,77 + 0,007X - 0,000056X^2$	0,74	ns
	Ni	V	$Y = 11,80 + 0,678X$	0,98	**
		LRd	$Y = 14,70 + 1,101X$	0,99	**
		TE	$Y = 10,76 + 3,41X - 0,0162X^2$	0,999	**
Raiz	Ca	V	$Y = 0,445 + 0,0035X - 0,000021X^2$	0,81	*
		LRd	$Y = 0,49 - 0,00406X + 0,000026X^2$	0,81	**
		TE	$Y = 0,51 - 0,0014X + 0,00001X^2$	0,34	ns
	Zn	V	$Y = 170,30 - 0,846X$	0,82	**
		LRd	$Y = 61,10 - 0,207X$	0,97	ns
		TE	$Y = 51,07 - 0,284X + 0,002X^2$	0,33	ns
	Ni	V	$Y = 29,10 + 1,391X$	0,99	**
		LRd	$Y = 29,20 + 3,182X$	0,98	**
		TE	$Y = 35,00 + 3,552X$	0,99	**

** Significativo ao nível de 1%

* Significativo ao nível de 5%

ns Não significativo

Figura 12. Relação entre teores de nutrientes (% e ppm) nas folhas de arroz, e níveis de níquel (ppm) no solo

menores. Estas diferenças foram notórias a partir do nível de 60ppm de Ni. Nas equações de regressão, verificou-se efeitos lineares significativos ($P \leq 0,01$) dos teores de Ni em todas as partes da planta em relação às doses de Ni, nos três solos.

4.2.2. Avaliação dos efeitos da calagem no controle da toxidez de Ni em dois solos ácidos

4.2.2.1. Feijão

Na Tabela 12, Figura 13 e Apêndice 22, estão apresentados os dados de produção de matéria seca de feijão, em decorrência da calagem e das doses de Ni em dois solos ácidos (LRd e TE). Verificou-se, nas análises estatísticas, um efeito significativo da calagem no controle da toxidez de Ni no feijão, para ambos os solos. Estes efeitos negativos na produção de matéria seca, em função das doses crescentes de Ni, foram atenuados pela calagem dos solos. Desta forma, observa-se nos tratamentos que receberam calagem um efeito negativo linear ($P \leq 0,01$) para o LRd, e um efeito quadrático para a TE, em relação às doses de Ni. Enquanto que, nos tratamentos que não receberam aplicação de calcário, os efeitos foram quadráticos para o LRd e linear para a TE. Por outro lado, fazendo a análise dos efeitos da calagem, quando as plantas de feijão foram submetidas à maior dose de Ni (120ppm) verifica-se uma queda de 39% na produção de matéria seca total no solo LRd, e uma queda de 71% na TE, em relação aos tratamentos que receberam calagem e sem Ni (0ppm).

Tabela 12. Produção de matéria seca em feijão cultivar Carioca, em função dos níveis de níquel e da calagem em dois solos ácidos¹

Solos	Calagem	Ni	Folha	Caule + Ramo	Raiz	Casca	Grão	Total
		ppm	----- g/vaso -----					
LRd	-	0	3,38a	1,86a	1,23 b	1,18a	5,52a	13,16a
	-	30	2,94 b	2,05a	1,65a	1,20a	4,74 b	12,58a
	-	60	2,70 b	2,02a	1,69a	1,11a	2,28 c	9,79 b
	-	120	1,28 c	1,34 b	0,78 c	0,10 b	0,00 d	3,50 c
	+	0	4,32a	2,93 b	1,43 b	1,22a	5,51a	15,41a
	+	30	4,35a	3,47a	1,84a	1,20a	4,33 b	15,19a
	+	60	3,67 b	2,35 c	1,85a	1,12ab	2,24 c	11,23 b
	+	120	3,16 c	2,04 c	1,50 b	1,04 b	1,66 d	9,40 c
TE	-	0	3,29a	1,63a	1,87a	1,09a	1,58a	9,45a
	-	30	2,00 b	1,33a	1,27 c	0,83 b	0,60 b	6,02 b
	-	60	1,35 c	1,34a	1,51 b	0,74 b	0,00 c	4,94 c
	-	120	0,13 d	0,13 b	0,05 d	0,00 c	0,00 c	0,31 d
	+	0	4,40a	2,42a	1,64a	1,16a	2,22a	11,84a
	+	30	3,11 b	2,30ab	1,20 b	1,08ab	0,39 b	8,08 b
	+	60	2,73 b	2,05 b	1,21 b	0,94 b	0,00 b	6,94 c
	+	120	1,29 c	1,09 c	0,76 c	0,31 c	0,00 b	3,45 d
DMS ² _{AxBxC} (5%)			0,38	0,33	0,22	0,14	0,42	0,91
C.V. %			6,2	7,8	7,4	7,3	9,8	4,6

¹ Média de 3 repetições

² Comparação de médias pelo teste de Tukey, da interação solos x calagem x níveis de Ni.

Figura 13. Relação entre a produção de matéria seca total (g/vaso) em feijoeiro, e níveis de níquel em dois solos ácidos (LRd e TE) com e sem calagem

Em relação aos dados de teores de nutrientes e níquel na matéria seca do feijão (Tabela 13, Figura 14 e Apêndices 23, 24 e 25). Pode-se notar que a calagem ocasionou um aumento nos teores de N, P e K. Os teores de Fe, Mn e Ni diminuíram em todas as partes da planta pela ação da calagem, enquanto que não foram afetados os teores de Ca, Mg, S, Cu e Zn. As equações de regressão realizadas, mostram efeitos lineares e quadráticos significativos ($P \leq 0,01$) que provam a influência da calagem e das doses crescentes de Ni no teor de Mn na folha (Figura 13). Também a calagem afetou significativamente os teores de Ni em todas as partes da planta, diminuindo o seu teor, principalmente no LRd. O teor de Ni foliar diminuiu com a calagem, no solo submetido a doses crescentes de Ni (0, 30, 60 e 120ppm). As equações de regressão (Apêndice 23) entre o teor de Ni na matéria seca de feijoeiro e doses crescentes de Ni em dois solos ácidos (LRd e TE) com e sem calagem, apresentaram correlações positivas ($P \leq 0,01$) significativas.

4.2.2.2. Arroz

Na Tabela 14 e Apêndice 26, estão ilustrados os efeitos da calagem, em dois solos ácidos (LRd e TE) tratados com 4 doses de Ni (0, 30, 60 e 120ppm), sobre a produção de matéria seca de arroz. Nesta cultura os efeitos da calagem não foram estatisticamente significativos, enquanto que os efeitos das doses de Ni aplicadas ao solo foram significativas ($P \leq 0,01$). Portanto, não foi possível observar os efeitos positivos da calagem no controle da toxidez de Ni em arroz.

Tabela 13. Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em feijoeiro (Y), e ppm de níquel (X) em dois solos ácidos com e sem calagem

Variável				Equação de Regressão	R ²	F
Parte	Nutriente	Calagem	Solos			
Folha	N	-	LRd	$Y = 1,45 + 0,0104X$	0,99	**
			TE	$Y = 1,68 + 0,00345X + 0,00018X^2$	0,95	*
		+	LRd	$Y = 2,37 - 0,0052X + 0,000038X^2$	0,28	ns
			TE	$Y = 2,54 - 0,0131X + 0,00009X^2$	0,999	ns
	K	-	LRd	$Y = 2,32 + 0,0196X$	0,94	**
			TE	$Y = 2,23 + 0,0087X$	0,69	*
		+	LRd	$Y = 4,76 - 0,0504X + 0,0003X^2$	0,81	**
			TE	$Y = 1,76 + 0,0103X$	0,93	**
	Mg	-	LRd	$Y = 0,96 - 0,0011X + 0,000012X^2$	0,78	ns
			TE	$Y = 1,31 + 0,00069X - 0,00001X^2$	0,37	ns
		+	LRd	$Y = 1,04 - 0,0057X + 0,000036X^2$	0,999	**
			TE	$Y = 1,00 + 0,0021X - 0,00001X^2$	0,63	ns
	Mn	-	LRd	$Y = 515,4 - 1,115X$	0,79	*
			TE	$Y = 1532,22 - 23,307X + 0,094X^2$	0,95	**
		+	LRd	$Y = 151,58 - 0,381X + 0,00165X^2$	0,86	ns
			TE	$Y = 269,9 - 1,434X$	0,97	*
Caule + kamo	Mg	-	LRd	$Y = 0,808 + 0,0012X - 0,000005X^2$	0,43	ns
			TE	$Y = 0,803 + 0,004X$	0,96	**
		+	LRd	$Y = 0,855 - 0,0015X + 0,000012X^2$	0,87	ns
			TE	$Y = 1,065 - 0,0021X$	0,89	**
	Fe	-	LRd	$Y = 279,54 - 0,611X - 0,0026X^2$	0,94	ns
			TE	$Y = 258,13 - 3,554X + 0,068X^2$	0,91	*
		+	LRd	$Y = 299,44 - 1,337X + 0,007X^2$	0,38	ns
			TE	$Y = 255,5 + 2,467X$	0,92	*
	Mn	-	LRd	$Y = 76,75 - 1,077X + 0,0058X^2$	0,99	ns
			TE	$Y = 427,30 - 3,549X$	0,70	**
		+	LRd	$Y = 39,34 - 0,096X + 0,0003X^2$	0,33	ns
			TE	$Y = 68,60 - 0,28X$	0,99	ns
	Ni	-	LRd	$Y = 40,10 + 1,527X$	0,98	**
			TE	$Y = 33,93 + 1,324X + 0,0326X^2$	0,98	**
		+	LRd	$Y = 30,90 + 1,19X$	0,95	**
			TE	$Y = 10,92 + 2,621X - 0,0087X^2$	1,00	*
Raiz	K	-	LRd	$Y = -0,04 + 0,0065X$	0,82	**
			TE	$Y = 0,081 + 0,0108X - 0,00006X^2$	0,96	**
		+	LRd	$Y = 0,303 + 0,0018X - 0,000015X^2$	0,96	ns
			TE	$Y = 0,357 - 0,0068X + 0,000087X^2$	0,997	**
	Ca	-	LRd	$Y = 0,866 + 0,0032X - 0,000015X^2$	0,51	ns
			TE	$Y = 1,048 - 0,0051X + 0,000032X^2$	0,96	ns
		+	LRd	$Y = 1,413 - 0,0006X + 0,0000013X^2$	0,11	ns
			TE	$Y = 0,916 - 0,00011X + 0,0000009X^2$	0,05	ns
	Zn	-	LRd	$Y = 80,54 - 1,436X + 0,0099X^2$	0,85	**
			TE	$Y = 57,43 - 1,025X + 0,0115X^2$	0,998	**
		+	LRd	$Y = 41,76 - 0,124X + 0,00048X^2$	0,83	ns
			TE	$Y = 42,02 - 0,285X + 0,0013X^2$	0,65	ns
	Ni	-	LRd	$Y = 40,58 + 0,77X + 0,032X^2$	0,996	**
			TE	$Y = 56,91 + 0,745X + 0,0798X^2$	0,997	**
		+	LRd	$Y = 19,60 + 2,984X$	0,99	**
			TE	$Y = 23,50 + 3,005X$	0,98	**

** Significativo ao nível de 1%

* Significativo ao nível de 5%

ns Não significativo

Figura 14. Relação entre teores de Mn e Ni (ppm) nas folhas de feijoeiro, e níveis de níquel no solo com e sem calagem

Tabela 14. Produção de matéria seca em arroz variedade IAC-165, em função dos níveis de níquel e da calagem em dois solos ácidos¹

Solos	Calagem	Ni	Folha	Colmo + Perfílo	Raiz	Raquis	Grão	Total
		ppm	g/vaso					
LRd	-	0	4,09a	5,35a	4,62ab	0,78a	1,86a	16,71a
	-	30	3,62 b	4,97 b	4,82a	0,70a	1,17 b	15,29 b
	-	60	3,35 b	4,85 c	4,21 b	0,67a	0,78 c	13,86 c
	-	120	2,80 c	3,76 d	4,17 b	0,40 b	0,94 bc	12,07 d
	+	0	4,26a	5,20a	5,08a	0,80a	1,17ab	16,51a
	+	30	3,63 b	4,49 b	4,42 b	0,66a	1,38a	14,58 b
	+	60	3,37 b	4,29 c	4,09 bc	0,66a	0,83 b	13,23 c
	+	120	2,63 c	3,70 d	3,55 c	0,30 b	0,97 b	11,16 d
TE	-	0	3,95a	5,71a	4,89a	0,78a	2,17a	17,49a
	-	30	3,53 b	5,32 b	4,86a	0,75a	1,74 b	16,20 b
	-	60	2,99 c	4,41 c	4,68a	0,57 b	1,80ab	14,45 c
	-	120	1,61 d	2,65 d	2,78 b	0,24 c	0,11 c	7,38 d
	+	0	4,10a	5,51a	4,34a	0,79a	1,94a	16,67a
	+	30	3,60 b	4,48 b	4,10ab	0,59 b	2,08a	14,85 b
	+	60	3,52 b	3,98 c	3,88ab	0,52 bc	1,39 b	13,29 c
	+	120	1,99 c	2,92 d	3,75 b	0,43 c	0,52 c	9,62 d
DMS ² _{AxBxC} (5%)			0,27	0,37	0,56	0,14	0,39	1,05
C.V. %			3,7	5,3	5,9	10,5	13,4	3,4

¹ Média de 3 repetições

² Comparação de médias pelo teste de Tukey, da interação solos x calagem x níveis de Ni

Por outro lado, observou-se nas análises dos teores de nutrientes e níquel (Tabela 15 e Apêndices 27, 28 e 29) de todas as partes da planta, um efeito positivo da calagem na assimilação de P, Ca e Mg, além de permitir uma diminuição nos elevados teores de Mn na planta. Também a calagem dos solos não afetou os teores de Ni e Fe nas diversas partes da planta. Os teores foliares de Mn, em plantas de arroz crescidas em solos com adições de doses crescentes de Ni (Figura 15), diminuíram com a calagem do solo e com a aplicação de doses crescentes de Ni (0, 30, 60 e 120ppm). As equações de regressão (Apêndice 27) entre os teores de Ni na matéria seca de arroz e doses crescentes de Ni em dois solos ácidos (LRd e TE) com e sem calagem, apresentaram correlações positivas ($P \leq 0,01$) significativas.

4.2.3. Ni-solúvel em DTPA-TEA em solos ácidos com e sem calagem

No Apêndice 30, apresentam-se os teores de Ni-solúvel em DTPA-TEA em três solos ácidos (V, LRd e TE), tratados com 4 doses de Ni (0, 30, 60 e 120ppm), e com aplicação de calcário nos solos LRd e TE. Verifica-se que os teores de Ni-solúvel foram maiores no Vertissolo, em comparação com o LRd e a TE. Também, observa-se que as doses crescentes de Ni provocam uma elevação nos teores de Ni-solúvel nos três solos. A calagem dos solos (LRd e TE) induz diminuições significativas nos teores de Ni-solúvel em relação aos solos que não receberam calagem.

Tabela 15. Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em arroz (Y), e ppm de níquel (X) em dois solos ácidos com e sem calagem

Variável				Equação de Regressão	R ²	F
Parte	Nutriente	Calagem	Solos			
Folha	N	-	LRd	$Y = 1,18 - 0,0027X$	0,47	*
			TE	$Y = 1,01 - 0,0008X + 0,000009X^2$	0,13	ns
		+	LRd	$Y = 1,38 - 0,0087X + 0,00009X^2$	0,996	**
			TE	$Y = 0,82 + 0,013X - 0,00011X^2$	0,999	**
	Ca	-	LRd	$Y = 0,92 + 0,0082X - 0,00005X^2$	0,97	*
			TE	$Y = 1,74 - 0,0056X$	0,89	**
		+	LRd	$Y = 1,49 - 0,0022X$	0,64	*
			TE	$Y = 1,99 - 0,0026X$	0,97	**
	Mn	-	LRd	$Y = 1859,0 - 8,60X$	0,88	**
			TE	$Y = 4800,0 - 35,02X$	0,98	**
		+	LRd	$Y = 447,5 - 1,69X$	0,63	ns
			TE	$Y = 1238,0 - 9,51X$	0,80	**
	Ni	-	LRd	$Y = 26,60 + 0,769X$	0,97	**
			TE	$Y = 22,30 + 1,682X$	0,95	**
		+	LRd	$Y = 21,90 + 0,878X$	0,98	**
			TE	$Y = 6,70 + 1,498X$	0,997	**
Colmo + Perfilho	K	-	LRd	$Y = 4,44 - 0,0103X + 0,000098X^2$	0,73	ns
			TE	$Y = 2,77 + 0,007X - 0,000055X^2$	0,74	ns
		+	LRd	$Y = 5,13 - 0,0098X$	0,85	**
			TE	$Y = 2,86 + 0,0017X$	0,77	ns
	Ca	-	LRd	$Y = 0,44 + 0,0011X - 0,000011X^2$	0,81	ns
			TE	$Y = 0,55 - 0,0013X$	0,86	**
		+	LRd	$Y = 0,52 + 0,0029X - 0,000022X^2$	0,60	*
			TE	$Y = 0,62 - 0,0022X$	0,86	**
	Ca	-	LRd	$Y = 5,90 + 0,0186X$	0,74	*
			TE	$Y = 14,70 - 0,054X$	0,92	**
		+	LRd	$Y = 12,80 - 0,058X$	0,91	**
			TE	$Y = 15,20 - 0,07X$	0,86	**
Raiz	Ca	-	LRd	$Y = 0,49 - 0,004X + 0,000026X^2$	0,81	**
			TE	$Y = 0,51 - 0,0014X + 0,0000099X^2$	0,34	ns
		+	LRd	$Y = 0,47 + 0,0021X - 0,000014X^2$	0,46	ns
			TE	$Y = 0,62 - 0,0007X$	0,95	*

** Significativo ao nível de 1%

* Significativo ao nível de 5%

ns Não significativo

Figura 15. Relação entre teores de Mn (ppm) nas folhas de arroz, e níveis de níquel no solo com e sem calagem

Encontram-se nas Tabelas 16 e 17, as correlações ($P \leq 0,05$) entre a produção de matéria seca total de arroz e feijão e os teores de Ni-solúvel em DTPA-TEA em três solos ácidos (V, LRd e TE) e em dois solos que receberam calagem (LRd e TE). Existem correlações significativas ($P \leq 0,05$), com altos coeficientes de determinação (0,95 - 1,00), que demonstram um efeito direto dos teores de Ni-solúvel em DTPA-TEA sobre a produção de matéria seca nas duas culturas (arroz e feijão). Esta correlação foi negativa linear nos solos LRd e TE, enquanto que no Vertissolo este efeito foi quadrático.

Tabela 16. Equações de regressão entre a produção de matéria seca total (g/vaso) nas culturas de arroz e feijão (Y), e $\mu\text{g/ml}$ de Ni-solúvel em DTPA-TEA (X) em três solos ácidos

Variável		Equação de Regressão	R^2	F
Solos	Cultura			
V	Feijão	$Y = 21,862 + 0,35X - 0,0107X^2$	0,96	ns
	Arroz	$Y = 36,175 - 0,889X + 0,0133X^2$	0,999	*
LRd	Feijão	$Y = 14,101 - 0,3655X$	0,95	*
	Arroz	$Y = 16,467 - 0,167X$	0,99	*
TE	Feijão	$Y = 8,781 - 0,349X$	0,95	ns
	Arroz	$Y = 18,175 - 0,416X$	0,95	*

Tabela 17. Equações de regressão entre a produção de matéria seca total (g/vaso) nas culturas de arroz e feijão (Y), e $\mu\text{g/ml}$ de Ni-solúvel em DTPA-TEA (X) em dois solos ácidos com e sem calagem

Variável			Equação de Regressão	R^2	F
Solos	Calagem	Cultura			
LRd	-	Feijão	$Y = 14,101 - 0,3655X$	0,95	*
		Arroz	$Y = 16,467 - 0,167X$	0,99	*
	+	Feijão	$Y = 15,51 - 0,293X$	0,86	ns
		Arroz	$Y = 16,512 - 0,416X + 0,00786X^2$	1,00	*
TE	-	Feijão	$Y = 8,781 - 0,349X$	0,95	ns
		Arroz	$Y = 18,175 - 0,416X$	0,95	*
	+	Feijão	$Y = 10,624 - 0,365X$	0,91	ns
		Arroz	$Y = 16,364 - 0,33X$	0,99	*

* Significativo ao nível de 5%

ns Não significativo

Nos solos com calagem (LRd e TE), não houve correlações significativas ($P \leq 0,05$) entre a produção de matéria seca total de feijão e os teores de Ni-solúvel em DTPA-TEA. Por outro lado, existiram correlações negativas significativas entre a produção de matéria seca total de arroz e os teores de Ni-solúvel em DTPA-TEA, sendo que, na presença de calcário as equações de regressão ajustaram-se melhor.

5. DISCUSSÃO

5.1. Ensaio em solução nutritiva

5.1.1. Produção de matéria seca

Os resultados obtidos com relação aos efeitos do Ni sobre a produção de matéria seca nas culturas de feijão e arroz, mostram notórias reduções por ação das doses crescentes de Ni.

No feijoeiro, os efeitos da toxidez de Ni expressaram-se nos tratamentos com 2 e 4ppm de Ni na solução nutritiva, reduzindo a produção de matéria seca total em 38 e 85%, respectivamente, em relação a testemunha (sem Ni). Estes resultados foram semelhantes aos reportados por WALLACE *et alii* (1977a) que verificaram uma redução de 78% na produção de matéria seca total de feijão cultivar Improved Tendergreen por ação de 2,94ppm de Ni na solução nutritiva. RAUSER & SAMARAKOON (1980), sugerem que o níquel poderia inibir a exportação de produtos da fotossíntese das folhas unifoliadas para regiões deficientes na planta, sendo que nestas folhas acumulam-se quantidades crescentes de

sacarose, amido e açúcares redutores, ocasionando a redução no crescimento das plantas.

Existem diferenças no grau de tolerância à toxidez de Ni entre os dois cultivares de feijão utilizados (Carioca e IAPAR-14). As análises estatísticas realizadas mostram que o cultivar IAPAR-14 é mais tolerante, conforme mostraram os efeitos das doses crescentes de Ni na produção de matéria seca. No cultivar IAPAR-14 estas reduções foram menores, em comparação ao cultivar Carioca.

Os efeitos das doses crescentes de Ni em arroz foram evidentes com concentrações mais elevadas de Ni na solução nutritiva. As doses de 4, 8 e 12ppm reduziram a produção de matéria seca total em 6, 39 e 64%, respectivamente, em relação aos tratamentos sem Ni. WALLACE *et alii* (1977b) encontraram em arroz, cultivar Earlirose, que 6ppm de Ni na solução nutritiva reduzem a produção de matéria seca em 35%.

As variedades de arroz IAC-165 e IAC-4440, também apresentam ligeiras evidências que demonstram uma diferença na sua tolerância à toxidez de Ni. As análises de regressão dos efeitos das doses de Ni sobre a produção de matéria seca, constataam que a variedade IAC-165 é um pouco mais tolerante.

As diferenças encontradas entre as culturas de feijão e arroz, em relação às doses crescentes de Ni, demonstram um comportamento diferente entre as espécies de plantas, sendo que o arroz resultou mais tolerante à toxidez de Ni do que o feijão. Em outras espécies de plantas, a produção de matéria seca se reduz significativamente, em soluções nutritivas com teores de Ni de: 1ppm em mudas de café (PAVAN &

BINGHAM, 1982), 5ppm em aveia (HUNTER & VERGNANO, 1953), 6ppm em algodão (REHAB & WALLACE, 1978), e 10ppm em plântulas de espécies florestais (LOZANO & MORRISON, 1982). Também existem diferenças entre variedades e cultivares da mesma espécie.

De acordo com BARCELÕ & POSCHENRIEDER (1990) os possíveis mecanismos envolvidos na tolerância à toxidez de Ni foram a compartimentação do elemento no vacúolo das células e acumulação no apoplasma (espaços intercelulares e parede celular), na forma de metalotioninas ou fitoquelatinas. Espécies de plantas acumuladoras de Ni, tem a capacidade de acumular Ni na sua seiva (FOY *et alii*, 1978). No entanto, a ausência de metodologias confiáveis e sensíveis tem impedido o progresso na identificação de outros mecanismos de tolerância.

5.1.2. Teor de nutrientes e níquel em feijão e arroz

5.1.2.1. Teor de nutrientes

Nos resultados obtidos para feijoeiro, observa-se que o níquel exerce influências variáveis na concentração e distribuição de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn. Na presença de altas doses de Ni na solução nutritiva aumentaram os teores de N, P, K, B, Cu, Mn e Zn na matéria seca do feijão. Por outro lado, os teores foliares de Mg e Fe diminuíram, enquanto que os teores de Ca e S não foram significativamente afetados. O aumento nos teores dos nutrientes, em relação aos níveis crescentes de Ni, pode ser explicado pelo efeito concentração, devido à menor produção de matéria seca.

Analizando os teores de nutrientes nas folhas de feijão, verifica-se a existência de interações entre o Ni e o Fe e Mg. Também nota-se que os teores de Fe na raiz aumentam significativamente conforme aumentam as doses de Ni na solução nutritiva. Esta resposta foi verificada por CHINO & MITSUI (1967), que explicam que o Ni pode inibir a absorção e translocação de Fe pelas plantas. FOY *et alii* (1978) confirmam que o Ni pode causar deficiência de ferro inibindo sua translocação das raízes a parte aérea. CROOKE & KNIGHT (1955) encontraram que os teores de ferro no tecido necrosado de plantas, que sofrem toxidez de Ni, foram muito baixos.

As interações do Ni com o Mg, provavelmente, devem-se a efeitos diretos e indiretos. ANDERSON *et alii* (1973) verificam uma ação direta do Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} e Zn^{2+} que inibem a absorção e translocação do Ni na maioria das espécies de plantas. Também as altas doses de Ni podem indiretamente diminuir a absorção e translocação de Mg, favorecendo uma maior assimilação de K nas plantas; o K^+ inibe competitivamente a absorção de Mg^{2+} (MALAVOLTA, 1980).

Em relação à influência de altas doses de Ni nos teores de nutrientes em arroz, observa-se um aumento nos teores de N, P, K, B e Cu. Os teores de Ca, Mg e Mn diminuíram, enquanto que não foram afetados significativamente os teores de S, Fe e Zn. As interações geradas pelo Ni expressaram-se claramente com os teores foliares de Ca, Mg e Mn. Entretanto, os teores de Fe na matéria seca de arroz sofreram ligeiros aumentos com as doses de Ni, não significando uma maior disponibilidade do nutriente (Fe); provavelmente, esse elemento está formando parte de compostos metabolicamente não ativos. CROOKE (1955)

verificara que a deficiência induzida de Fe por metais, foi causada por indisponibilidade de Fe nos tecidos, e não esteve relacionada com o teor de Fe-total da planta. Por outro lado, observa-se que os teores de Fe na raiz foram maiores aos obtidos nas outras partes da planta. Aparentemente, o Ni interfere na absorção de Fe e inibe o seu metabolismo (AGARWALA *et alii*, 1977).

Existe um efeito antagônico do níquel em relação à absorção e transporte de manganês na planta, este efeito poderia ter sido incrementado pelos altos teores de ferro na matéria seca do arroz. MISRA & DWIVEDI (1977) constataram este comportamento na cultura de milho. Em aveia, WILLIAMS (1967) mostra que o Ni e o Mn atuam em conjunto, aumentando a taxa de assimilação de ferro pela planta e inibindo sua participação nos processos metabólicos. Desta forma, além da interação Ni x Mn, existe a interação Mn x Fe. SIDERIS & YOUNG (1949) constataram que o Mn substitui ao Fe nos precursores da síntese de clorofila.

Também, as altas doses de Ni diminuem a assimilação de Ca e Mg, provavelmente, devido a processos de inibição competitiva na absorção de Ca e Mg. CHAMEL & NEUMANN (1987) observaram em muitas espécies de plantas que o Ni^{2+} inibe competitivamente a absorção de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} e Zn^{2+} .

5.1.2.2. Teor de níquel

O teor de Ni na matéria seca de plantas de arroz e feijão aumenta em função das doses crescentes de Ni na solução nutritiva. Nas partes da planta de feijão, os teores variam na seguinte ordem: raiz > caule + ramo > casca ≈ grão > folha. No arroz, a sequência foi:

raiz > colmo + perfilho $\approx$ folha > raquis $\approx$ grão. Portanto, a acumulação de Ni ocorre principalmente na raiz. WALLACE *et alii* (1977c) e VANSELOW (1965), verificaram que os metais pesados geralmente acumulam-se nas raízes das plantas. CATALDO *et alii* (1978) demonstraram que o Ni-disponível foi rapidamente absorvido pelas raízes de soja.

Os teores de Ni nas folhas das duas culturas permitem estabelecer uma maior tolerância à toxidez de Ni do arroz, em relação ao feijão. Conforme observa-se, teores foliares acima de 40ppm não afetaram a produção de matéria seca no arroz, enquanto que no feijão a produção se reduz significativamente. Teores foliares de até 140ppm de Ni não afetaram significativamente a produção de matéria seca nas duas coletas de arroz. Nas duas culturas, existem correlações positivas significativas ($P \leq 0,01$) entre as doses de Ni e seu teor nas folhas.

5.1.2.3. Teor de clorofila total nas folhas

Existe um efeito negativo das altas doses de Ni nos teores de clorofila total em folhas de feijão e arroz. No feijoeiro, estes efeitos negativos expressaram-se em doses de Ni superiores a 2ppm, enquanto que, no arroz, estes efeitos apresentaram-se em todos os níveis de Ni (4, 8 e 12ppm). Estes efeitos, provavelmente, se devem à menor absorção de Mg pelas plantas ocasionadas pelas altas doses de Ni na solução nutritiva, afetando a estrutura dos pigmentos fotossintéticos.

Também foram observadas correlações significativas entre o teor de clorofila total e o teor de Ni em folhas de feijão, coletadas por ocasião da floração. No arroz, estas correlações não foram significativas. Assim a reduzida concentração de clorofila total nas folhas foi

associada com cloroses do tecido e teores de Ni nas folhas de 40ppm no feijão, e de 200ppm no arroz. PAVAN & BINGHAM (1982) encontraram que as altas doses de Ni em solução nutritiva diminuíram significativamente o teor de clorofila total nas folhas de café.

Os excessos de níquel interferem na função estomática em feijão, portanto também afetam os processos de respiração, transpiração e fotossíntese das plantas. RAUSER & DUMBROFF (1981) verificaram que plantas de feijão expostas por curtos períodos (2 dias) a altas concentrações de Ni, incrementaram sua resistência estomatar e seu nível de ácido abscísico na folha, provocando o fechamento dos estômatos, devido provavelmente a alterações no fluxo de K^+ através da membrana ou afetando o sistema energético. SHEORAN *et alii* (1990) encontraram que plantas de *Cajanus cajan* L. submetidas a altas doses de Ni^{2+} reduziram sua taxa de fotossíntese, devido aos efeitos do Ni sobre o sistema de transporte de elétrons e a resistência estomatar. A atividade das enzimas que participam no ciclo redutivo do carbono não foram significativamente afetadas.

5.1.3. Estudos preliminares dos efeitos da toxidez de Ni nas folhas de arroz e feijão, a nível ultraestrutural

Os efeitos das altas doses de Ni nas ultraestruturas celulares de folhas de arroz e feijão ocorreram principalmente nos cloroplastos. No feijão, houve acentuada desorganização celular e uma diminuição no número e tamanho dos cloroplastos, os mesmos não apresentaram grãos de amido, mas sim um aumento no número de glôbulos de plastídio.

BARCELO *et alii* (1988) e NOGUEIRA *et alii* (1989) verificaram estes mesmos efeitos nas ultraestruturas celulares de feijão, quando tratadas com altas doses de Cd.

No arroz, os efeitos do Ni foram menores. Observou-se que o Ni afetou principalmente a organização dos cloroplastos com distorção e expansão dos tilacóides.

5.1.4. Sintomatologia da toxidez de Ni

Em geral, os sintomas de toxidez de Ni incluem cloroses e muitos pontos necróticos na parte aérea do feijão e arroz. No feijoeiro, primeiro aparece uma clorose internervural nas folhas novas, observação também feita por HEWITT (1953) em dicotiledôneas. Esta clorose e pontos necróticos progridem rapidamente para folhas mais velhas e entrenós. Em estádios mais adiantados da toxidez as plantas apresentam, além dos sintomas acima descritos, diminuição no tamanho de folhas e entrenós, manchas necróticas nos pecíolos das folhas e caules, desfolha e fenecimento. No arroz, verificou-se uma clorose ao longo das nervuras, sendo que as folhas podem ficar completamente esbranquiçadas, semelhante aos sintomas de carência de ferro. Os sintomas tardios também incluem necrose das margens da folha e redução no número de folhas, perfilhos e raízes.

Com respeito as raízes, tanto no arroz como no feijoeiro, observou-se de modo geral, a partir de determinado nível de níquel, inibição no crescimento das raízes laterais, o sistema radicular ficou desprovido de raízes finas, e as raízes foram de reduzido tamanho, quebradiças, e de aparência coralóide. Em sorgo, CLARK *et alii* (1981)

observaram que os sintomas de toxidez de níquel foram semelhantes aos ocasionados pelo excesso de cobalto e deficiência de ferro. Também os sintomas de toxidez de Ni descritos para arroz foram similares aos descritos por CHINO (1981). MISHRA & KAR (1974) constataram que excessos de Ni podem causar distúrbios mitóticos nas pontas das raízes de algumas espécies de plantas, afetando os processos de divisão celular.

Plantas sob altos níveis de Ni na solução nutritiva apresentaram inicialmente alterações na orientação das folhas e ligeira pigmentação bruno-avermelhada, principalmente nas nervuras de folhas primárias de feijão. RAUSER (1978) encontrou que esta cor bruno-avermelhada foi produto da deposição de compostos fenólicos, que poderiam ter origem no parênquima foliar contíguo aos vasos ou no fluido movimentado pelo próprio xilema. Enquanto que as alterações na orientação das folhas, poderiam dever-se à perda da função pulvinar, por mudanças no potencial de água nas folhas.

5.2. Ensaio em solos

5.2.1. Efeitos da toxidez de Ni em três solos ácidos

Os três solos estudados (V, LRd e TE) apresentam características físico-químicas diferentes, enquanto que outras foram parecidas: solos de reação ácida e de textura argilosa.

Os efeitos das doses crescentes de Ni induziram diminuições na produção de matéria seca nas culturas de arroz e feijão. Observou-se uma maior produção de matéria seca no solo Vertissolo (V), em

comparação aos outros dois solos (LRd e TE). Este fato revela que houve acentuada influência das características do solo que favorecem um melhor estado nutricional do solo Vertissolo. Estas características poderiam ser: elevado teor de matéria orgânica, argila de atividade bastante alta, alta CTC, elevado teor de bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), alto teor de fósforo disponível, entre outras.

Os efeitos da toxidez de Ni nos outros solos (LRd e TE), foram mais acentuados, podendo ter sido influenciados pela menor capacidade de adsorção de Ni (maior disponibilidade para as plantas) nestes solos, devido a que estes apresentaram argila de baixa atividade, baixo teor de matéria orgânica e elevado teor de óxidos de Fe e Al na fração argila. No sistema silicatado recoberto pelos óxidos, a CTC se reduz porque parte das cargas negativas do sistema silicatado são balanceadas com as cargas positivas dos óxidos. MISHRA & KAR (1974) verificaram que o comportamento do Ni está influenciado por propriedades do solo como pH e teor de matéria orgânica, sendo que solos com pH menor que 5,5 apresentaram alta disponibilidade de Ni, enquanto que a matéria orgânica diminui a sua disponibilidade.

Com relação aos nutrientes, as altas doses de Ni induzem a diminuição dos teores foliares de Ca, Mn e Zn no feijoeiro; e de Ca, Mg, Mn e Zn no arroz. Tais interações antagônicas entre Ni x Ca, Ni x Mg, Ni x Mn e Ni x Zn, têm sido relatadas na literatura para várias espécies de plantas (CROOKE & INKSON, 1955; WALLACE *et alii*, 1977b; WALLACE *et alii*, 1977c; KHALID & TINSLEY, 1980).

Em aveia, WILLIAMS (1967) encontrara que altos teores de Mn no meio aumentaram a intensidade dos sintomas causados pelas altas doses de Ni, sendo que os dois metais atuam em conjunto induzindo uma maior assimilação de Fe pela planta e inibindo sua participação nos processos metabólicos.

Existem correlações positivas, estatisticamente significativas, entre os teores de Ni nas folhas de arroz e feijão e as doses de Ni aplicadas aos três solos.

5.2.2. Efeitos da calagem no controle da toxidez de Ni em dois solos ácidos

Os principais fatores relacionados com a acidez do solo, que afetam o desenvolvimento das plantas, são o pH e sua influência sobre o Al^{3+} trocável, as bases trocáveis, o Mn solúvel e a disponibilidade de nutrientes. Ressalta-se, ainda, a importância da interação entre esses fatores, o que torna muito difícil separar seus efeitos isoladamente (JACKSON, 1963). Por outro lado, a utilização de material calcário para neutralizar a acidez dos solos, torna-se necessária para melhorar as condições dos mesmos, como substrato de plantas. Adições de Ni no solo ácido, favorecem sua disponibilidade (Ni) para as plantas, devido ao baixo pH, sendo que a calagem diminui os efeitos tóxicos do Ni (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1986).

Na ausência da calagem, a produção de matéria seca no feijoeiro foi limitada, nos dois solos estudados (LRd e TE). Diversos fatores de acidez do solo podem estar associados a essa limitação, além das doses crescentes de Ni aplicadas aos solos.

As doses crescentes de Ni induzem uma diminuição na produção de matéria seca total nas culturas de arroz e feijão, nos dois solos. No entanto, a calagem destes solos controla em parte os efeitos das altas doses de Ni na produção de matéria seca do feijoeiro. WALLACE *et alii* (1977c) encontraram que a calagem dos solos ácidos diminui os efeitos da toxidez de Ni no feijão. Por outro lado, no arroz não foram observadas respostas significativas da calagem no controle da toxidez de Ni, devido provavelmente, à presença de outros fatores limitantes no solo.

A disponibilidade de Ni no solo é controlada pelo pH. Portanto, a calagem de solos ácidos reduz a disponibilidade de Ni controlando os seus efeitos tóxicos nas plantas (CROOKE, 1956; MISHRA & KAR, 1974; KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1986). O níquel pode precipitar com hidróxidos, fosfatos, carbonatos e silicatos para formar componentes amorfos na fração do solo (GREENWOOD & EARNSHAW, 1984). PRATT *et alii* (1964) verificaram a formação de complexos Ni-P em valores de pH ≥ 7 , reduzindo a toxidez de Ni no solo.

Com relação ao efeito da calagem nos teores de nutrientes e níquel, verifica-se uma melhora na assimilação de N, P e K no feijão e de P, Ca e Mg no arroz. Por outro lado, a calagem do solo reduz a disponibilidade de Fe, Mn e Ni no feijão e de Mn e Ni no arroz, nos dois solos. A elevação do pH causa uma progressiva insolubilização desses elementos (Fe, Mn e Ni) e, portanto, induz uma diminuição na sua disponibilidade no solo. LINDSAY (1972) mostra que a solubilidade de Fe e Mn decresce com a elevação do pH, sendo máxima quando o pH esteve entre os valores de 4 e 5. SADIQ & ENFIELD (1984) observaram que a solubilidade

do Ni também diminuiu com a elevação do pH.

A elevação do pH do solo pela calagem, determinando o aumento da capacidade de adsorção de Ni pelos solos, tem sido usada para diminuir sua disponibilidade às plantas. Segundo CAVALLARO & McBRIDE (1980), a elevação do pH de uma solução de solo pode levar à formação de produtos de hidrólise com diferentes afinidades pelas cargas permanentes e outros sítios de troca. Pode também, mudar a natureza dos sítios de troca hidrolizando ou precipitando íons Al^{3+} , criando mais sítios de troca. Por outro lado, constituintes do solo com cargas dependentes de pH como óxidos de Fe e Al e matéria orgânica têm suas cargas negativas aumentadas pela elevação do pH do solo. Estes fenômenos induzem aumentos na capacidade de adsorção de Ni nos solos.

5.2.3. Ni-solúvel em DTPA-TEA em solos ácidos com e sem calagem

O níquel extraível ou solúvel em DTPA-TEA é utilizado como um índice para estabelecer a disponibilidade e mobilidade de Ni no solo. VALADARES *et alii* (1983) demonstraram que existe uma excelente correlação entre o teor de Ni-solúvel em DTPA-TEA e as doses de Ni adicionadas ao solo. Nos três solos ácidos estudados (V, LRd e TE) observava-se que os teores de Ni-solúvel em DTPA-TEA aumentam em relação às doses de Ni aplicadas ao solo.

Também existe um efeito da calagem de solos ácidos no teor de Ni-disponível. A calagem do solo induz aumentos no pH, diminuindo a solubilidade do Ni. Em estudos de adsorção, a quantidade de Ni retido no solo foi dependente dos valores de pH, sendo que a retenção de Ni no

solo aumentou com o pH (HARTER, 1983).

MISRA & PANDE (1974) verificaram que adições de Ni no solo, resultam na diminuição do pH e do P-disponível no solo. PRATT *et alii* (1964) observaram que no solo formam-se precipitados de fosfatos de níquel, induzindo-se uma deficiência de P-disponível. Em um experimento em vasos, CROOKE (1981) verificou que a elevação do pH do solo pela calagem, reduziu o Ni extraído com $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N pH 7.

Por outro lado, observou-se que existem correlações negativas significativas ($P \leq 0,05$) entre os teores de Ni-solúvel em DTPA-TEA nos três solos (V, LRd e TE) e a produção de matéria seca total nas culturas de arroz e feijão. Portanto, existe um efeito direto do teor de níquel disponível sobre a produção de matéria seca.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram estabelecer as seguintes conclusões:

1. As altas doses de Ni em solução nutritiva afetam negativamente a produção de matéria seca no arroz (4, 8 e 12ppm) e no feijão (2 e 4ppm).
2. Estes efeitos negativos do Ni são resultado da ação direta e indireta do elemento. O níquel age diretamente danificando as estruturas da planta, principalmente da raiz. A nível das ultraestruturas celulares de folhas ocorre a desorganização do sistema fotossintético. Desta forma, o teor de clorofila total nas folhas de arroz e feijão se reduz.
3. Indiretamente, o níquel afeta a absorção de nutrientes. No feijoeiro foram observadas interações do Ni com o Mg e o Fe. Enquanto que, no arroz estas interações do Ni foram com o Ca, Mg e Mn.

4. Plantas de arroz e feijão, submetidas a altas doses de Ni, acumulam este elemento, principalmente, nas raízes. Existem correlações positivas significativas entre os teores de Ni nas partes de plantas de arroz e feijão, e as doses de Ni na solução nutritiva.
5. Observa-se um comportamento diferencial entre espécies de plantas (arroz e feijão), e entre cultivares e variedades, em relação a sua tolerância a doses altas de Ni em solução nutritiva. Plantas de arroz foram mais tolerantes que o feijoeiro. Entre cultivares de feijão, o IAPAR-14 foi mais tolerante, enquanto que entre variedades de arroz o IAC-165 parece ser um pouco mais tolerante a altas doses de Ni.
6. A sintomatologia característica dos efeitos da toxidez de Ni, em plantas de arroz e feijão, consiste na presença de clorose internervular de folhas novas que progride para outras partes da planta. No arroz, as folhas podem ficar completamente esbranquiçadas. As raízes apresentam-se de reduzido tamanho, quebradiças e de aparência "coralóide".
7. Nos solos ácidos estudados (V, LRd e TE) doses crescentes de Ni afetaram negativamente a produção de matéria seca total do arroz e do feijão. A intensidade dos efeitos negativos foram menores no Vertissolo (V). Nos solos LRd e TE observaram-se correlações negativas significativas, com altos coeficientes de determinação, entre a produção de matéria seca e as doses crescentes de Ni aplicadas ao solo.

8. Nos solos LRd e TE, a calagem diminui os efeitos negativos das doses crescentes de Ni na produção de matéria seca, principalmente no feijoeiro. Nota-se também que a calagem reduz os teores de Ni-solúvel em DTPA-TEA nos solos em que foram adicionadas doses crescentes de Ni.
9. Nos ensaios realizados em solos, também verificam-se efeitos de doses elevadas de Ni na absorção de nutrientes. Observam-se as seguintes interações: Ni x Ca e Ni x Zn no feijoeiro, e Ni x Ca, Ni x Mg, Ni x Mn e Ni x Zn no arroz.
10. A calagem de solos ácidos (LRd e TE), que sofreram adições de doses crescentes de Ni, aumenta os valores de pH e diminui os teores de Ni-disponível nos solos, favorecendo uma menor absorção de Mn e Ni nas culturas de arroz e feijão.
11. Existe correlação negativa significativa entre o teor de Ni-solúvel em DTPA-TEA nos três solos (V, LRd e TE) e a produção de matéria seca total nas culturas de arroz e feijão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIANO, D.C. *Trace elements in the terrestrial environment*. New York, Springer-Verlag, 1986. 533p.

AGARWALA, S.C.; BISCHT, S.S.; SHARMA, C.P. Relative effectiveness of certain heavy metals in producing toxicity and symptoms of deficiency in barley. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, 55:1299-307, 1977.

ANDERSON, A.J.; MEYER, D.R.; MAYER, F.K. Heavy metal toxicities. *Australian Journal of Agricultural Research*, East Melbourne, 24(4): 557-71, 1973.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMIST. *Official methods of analysis*. 7.ed. Washington, 1950. 910p.

BAKER, D.E. & AMACHER, M.C. Nickel, copper, zinc and cadmium. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R., ed. *Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.323-30. (Agronomy, 9).

- BARCELÓ, J. & POSCHENRIEDER, Ch. Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 13(1):1-37, 1990.
- BARCELÓ, J.; VÁSQUEZ, M.D.; POSCHENRIEDER, Ch. Strutural and ultrastructural disorders in cadmium treated bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *New Phytologist*, Oxford, 108:37-49, 1988.
- BERROW, M.L. & REAVES, G.A. Total chromium and nickel contents of Scottish soils. *Geoderma*, Amsterdam, 37(1):15-27, 1986.
- BERROW, M.L. & WEBBER, J. Trace elements in sewage sludges. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Essex, 23:93-4, 1972.
- BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T.; FRANCO, B.J. Utilização de lodo de esgoto como fertilizante. *O Solo*, Piracicaba, 75(1):44-54, 1983.
- BLOOMFIELD, C. The translocation of metals in soils. In: GREENLAND, D. J. & HAYES, M.H.B., ed. *The chemistry of soil processes*. New York, John Wiley, 1981. p.200-22.
- BOUYOUCOS, G.J. A recalibration of the hydrometer methods for making analysis of soils. *Agronomy Journal*, Madison, 43:434-8, 1951.
- BOWMAN, R.S.; ESSINGTON, M.E.; O'CONNOR, G.A. Soil sorption of nickel. Influence of solution composition. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 45:860-5, 1981.

- BROOKS, R.R. Accumulation of nickel by terrestrial plants. In: NRIAGU, J.O., ed. *Nickel in the environment*. New York, John Wiley, 1980. p.407-30.
- BROOKS, R.R.; WITHER, E.D.; ZEPERNICK, B. Cobalt and nickel in rinorea species. *Plant and Soil*, Dordrecht, 47(3):707-12, 1977.
- BROWN, P.H.; WELCH, R.M.; CARY, E.E.; CHECKAI, R.T. Beneficial effects of nickel on plant growth. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 10(9/16):2125-35, 1987.
- CAMARGO, O.A.; ROVERS, H.; VALADARES, J.M.A.S. Adsorção de níquel em latossolos paulistas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 13:125-9, 1989.
- CATALDO, D.A.; GARLAND, T.R.; WILDUNG, R.E. Nickel in plants. II. Distribution and chemical form in soybean plants. *Plant Physiology*, Bethesda, 62:566-70, 1978.
- CAVALLARO, N. & McBRIDE, M.B. Activities of Cu^{2+} and Cd^{2+} in soil solutions as affected by pH. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 44:729-32, 1980.
- CHAMEL, A. & NEUMANN, P. Foliar absorption of nickel: Determination of its cuticular behaviour using isolated cuticles. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 10(1):99-111, 1987.

- CHINO, M. Nickel. In: KITAGISHI, K. & YAMANE, I., ed. *Heavy metal pollution in soils of Japan*. Tokyo, Japan Sciences Society Press, 1981. p.65-80.
- CHINO, M. & MITSUI, S. Occurrence of heavy metal induced iron chlorosis in plants. *Nippon Dojohiryogaki Zasshi*, Bunkyo, 38:255-9, 1967.
- CLARK, R.B.; PIER, P.A.; KNUDSEN, D.; MARANVILLE, J.W. Effect of trace element deficiencies and excesses on mineral nutrients in sorghum. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 3(1/4):357-74, 1981.
- COCUCCI, S.M. & MORGUTTI, S. Stimulation of proton extrusion by K^+ and divalent cations (Ni^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+}) in maize root segments. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, 68(3):497-501, 1986.
- CONNOR, J.; SHIMP, N.F.; TEDROW, J.C.F. A spectrographic study of the distribution of trace elements in some podzolic soils. *Soil Science*, Baltimore, 83(1):65-73, 1957.
- COTTENIE, A.; CAMERLYNCK, R.; VERLOO, M.; DHAESE, A. Fractionation and determination of trace elements in plants, soils and sediments. *Pure and Applied Chemistry*, Oxford, 52(1):45-53, 1979.
- CROOKE, W.M. Effect of nickel versenate on oat plants. *Nature*, London, 173:403-4, 1954.

- CROOKE, W.M. Further aspects of the relation between nickel toxicity and iron supply. *Annals of Applied Biology*, Wellesbourne, 43:465-76, 1955.
- CROOKE, W.M. Effect of soil reaction on uptake of nickel from a serpentine soil. *Soil Science*, Baltimore, 81:269-76, 1956.
- CROOKE, W.M. Effect of heavy metal toxicity on the cation exchange capacity on plant roots. *Soil Science*, Baltimore, 86:231-41, 1958.
- CROOKE, W.M. Nickel uptake from a serpentine soil. *Soil Science*, Baltimore, 81:269-73, 1981.
- CROOKE, W.M. & INKSON, R.H.E. Relation between nickel toxicity and major nutrient supply. *Plant and Soil*, Dordrecht, 6:1-15, 1955.
- DAVIS, R.D.; BECKETT, P.H.; WOLLAN, E. Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley. *Plant and Soil*, Dordrecht, 49:395, 1978.
- DIXON, N.E.; GAZZOLA, C.; BLAKELEY, R.L.; ZERNER, R. Jack bean urease. A metalloenzyme. A simple biological role for nickel. *Journal of the American Chemical Society*, Washington, 97:4131-3, 1975.
- EMMERICH, W.E.; LUND, L.J.; PAGE, A.L.; CHANG, A.C. Movement of heavy metals in sewage sludge treated soils. *Journal of Environmental Quality*, Madison, 11(2):174-8, 1982.

- ESKEW, D.L.; WELCH, R.M.; CARY, E.E. Nickel, an essential micronutrient for legumes and possibly all higher plants. *Science*, Washington, 222:621-3, 1983.
- ESKEW, D.L.; WELCH, R.M.; NORVEL, W.A. Nickel in higher plants. Further evidence for an essential role. *Plant Physiology*, Bethesda, 76:691-3, 1984.
- ESTAÑ, M.T.; BOLARIN, M.C.; ROMERO, M. Adsorción de níquel por suelos calizos, ajuste a las isotermas de Freundlich y Freundlich-Sibbesen. *Anales de Edafología y Agrobiología*, Madrid, 44:131-42, 1985.
- FORSTER, W.A. Toxic effect of heavy metals on crop plants grown in soil culture. *Annals of Applied Biology*, Wellesbourne, 41:637-51, 1954.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review of Physiology*, Palo Alto, 29:511-66, 1978.
- GANJE, T.J. & PAGE, A.L. Rapid acid dissolution of plant tissue for cadmium determination by atomic absorption spectrophotometry. *Atomic Absorption Newsletter*, Norwalk, 13(6):131-4, 1974.
- GOLOVCHENKO, V.P. & CHEREDNICHENKO, C.V. Content of trace elements in various plant organs. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, Leningrad, 146:1223-6, 1962.
- GRANICK, S. Biosynthesis of chlorophyll and related pigments. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, 2:115-44, 1951.

GREENWOOD, N.N. & EARNSHAW, A. *Chemistry of the elements*. Oxford, Pergamon Press, 1984. 1542p.

HALE, J.C.; ORMROD, D.P.; LAFFEY, P.J.; ALLEN, O.B. Effects of nickel and copper mixtures on tomato in sand culture. *Environmental Pollution*, Essex, 39(1):53-69, 1985.

HALSTEAD, R.L. Effect of different amendments on yield and composition of oats grown on a soil derived from serpentine material. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, 48:301-5, 1968.

HALSTEAD, R.L.; FINN, B.J.; McLEAN, A.J. Extractibility of nickel added to the soils and its concentration in plants. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, 49:335-42, 1969.

HAQ, A.U.; BATES, T.E.; SOON, Y.K. Comparison of extractants for plant-available zinc, cadmium, nickel and copper in contaminated soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 44(4):772-7, 1980.

HARTER, R.D. Effect of soil pH on adsorption of lead, copper, zinc, and nickel. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 47:47-51, 1983.

HEESE, P.R. *A textbook of soils chemical analysis*. London, John Murray, 1971. 520p.

- HEWITT, E.J. Metal interrelationships in plant nutrition. I. Effects of some metal toxicities on sugar beet, tomato, oat, potato and narrow stem kale grown in sand culture. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, 4:59-64, 1953.
- HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. *The water culture method for growing plant without soil*. Berkeley, California Agricultural Experiment Station, 1950. (Circular, 347).
- HUNTER, J.G. & VERGNANO, O. Nickel toxicity in plants. *Annals of Applied Biology*, Wellesbourne, 39:279-84, 1952.
- HUNTER, J.G. & VERGNANO, O. Trace element toxicities in oat plants. *Annals of Applied Biology*, Wellesbourne, 40:761-77, 1953.
- HUTCHINSON, T.C. Nickel. In: LEPP, N.W., ed. *Effect of heavy metal pollution on plants*. London, Applied Sciences, 1981. v.1, p.171 - 211.
- JACKSON, W.A. Aluminium bonding in soils: a unifying principle in soil science. *Proceedings in Soil Science of American Society*, Madison, 27:10-5, 1963.
- JENNE, E.A. Controls of Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn concentrations in soils and water; the significant role of hydrous Mn and Fe oxides. *Advances in Chemistry Series*, Washington, 73:337-87, 1968.

- JORGENSEN, S.S. *Some methods used for rutine chemical analysis; laboratory manual*. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1977. 22p.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. Florida, CRC Press, 1986. 315p.
- KERNDORFF, H. & SCHNITZER, M. Sorption of metals on humic acids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Elmsford, 44(11):1701-8, 1980. Apud *Soil and Fertilizers*, Farnham Royal, 44(6):523, June 1981. (Resumo).
- KHALID, B.Y. & TINSLEY, J. Some effects of nickel toxicity on rye grass. *Plant and Soil*, Dordrecht, 55:139-44, 1980.
- KLUCAS, R.V.; HANUS, F.J.; RUSSELL, S.A.; EVANS, H.J. Nickel, a micronutrient for hidrogen dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA.*, Washington, 80:2253-7, 1983.
- KORTE, N.F.; SKOPP, J.S.; NIEBLA, E.F.; ALESSI, B.A. Trace elements movement in soils; influence of soil physical and chemical properties. *Soil Science*, Baltimore, 122:350-9, 1976.
- LAU, O. & YANG, S.F. Inhibition of ethylene production by cobaltous ion. *Plant Physiology*, Bethesda, 58:114-7, 1976.

- LE RICHE, H.H. & WEIR, A.H. A method of studying trace elements in soil fractions. *Journal of Soil Science*, Oxford, 14:225-35, 1963.
- LEE, J.; REEVES, R.D.; BROOKS, R.R.; JOFFRÉ, T. The relation between nickel and citric acid in some nickel accumulating plants. *Phytochemistry*, Oxford, 17(6):1033-5, 1978.
- LEVAN, A. Cytological reactions induced by inorganic salts. *Nature*, London, 156:751-2, 1945.
- LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LIND, W.L. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.41-57.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 42:421-8, 1978.
- LO, T.Y. & CHEN, S.M. Vitamin P content of vegetables as influenced by chemical treatment. *Food Research*, Champaign, 11:159-62, 1946.
- LO, T.Y. & WU, C.H. The effect of various elements on the formation of vitamin P in germinated mung beans. *Journal of the Chinese Chemical Society*, Peiping, 10:60-4, 1943.

- LOZANO, F.C. & MORRISON, I.K. Disruption of hardwood nutrition by sulfur dioxide, nickel and copper air pollution near Sudbury, Canadá. *Journal of Environmental Quality*, Madison, 10(2):198-204, 1981.
- MALAVOLTA, E. Deficiência de macro e micronutrientes e toxidez de Cl, Mn e Al no sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L.). Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1979. 12p.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MARTINI, A. Der phytomikrochemische nachweis des nickels und sein vorkommen im pflanzenreich. *Mikrochemie*, Wien, 8:41-5, 1930.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 3.ed. Bern, International Potash Institute, 1982. 655p.
- MILLER, R.J.; DUMFORD, S.W.; KOEPPEO, D.E.; HANSON, J.B. Divalent cation stimulation of substrate oxidation by corn mitochondria. *Plant Physiology*, Bethesda, 45:649-53, 1970.
- MISHRA, D. & KAR, M. Nickel in plant growth and metabolism. *The Botanical Review*, New York, 40(4):395-449, 1974.
- MISRA, S.G. & DWIVEDI, R.S. Residual effect of iron-nickel interactions on the availability of nutrients. *Plant and Soil*, Dordrecht, 48: 705-8, 1977.

- MISRA, S.G. & PANDE, P. Effect of organic matter on availability of nickel. *Plant and Soil*, Dordrecht, 40:679-84, 1974.
- MITCHELL, R.L. Cobalt and nickel in soils and plants. *Soil Science*, Baltimore, 60:63-70, 1945.
- MIZUNO, N. Interaction between iron and nickel, and copper and nickel in various plant species. *Nature*, London, 219:1271-2, 1968.
- NAKOS, G. Pollution of soil and vegetation in the Thriasian Plain, Greece. *Plant and Soil*, Dordrecht, 66(2):271-7, 1982.
- NIELSEN, F.H. & OLLERICH, D.A. Nickel, a new essential trace element. *Federation Proceedings*, Bethesda, 33:1767-71, 1974.
- NIETHAMMER, A. The influence of heavy metal compounds on plant cells. *Protoplasma*, Vienna, 12:554-8, 1931.
- NOGUEIRA, N.L.; JURADO, S.G.; LANZONI, M.; GOMES, J.E. Estudos a nível de microscopia eletrônica dos efeitos do cádmio no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em soluções nutritivas. In: ANAIS DO COLÓQUIO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA, 12., CAXAMBU, 1989. *Anais*. s.l. SMBE, 1989. v.1, p.83-4.
- PAINTER, L.I.; TOTH, J.S.; BEAR, F.E. Nickel status of New Jersey soils. *Soil Science*, Baltimore, 75:421-9, 1953.

- PAVAN, M.A. & BINGHAM, F.T. Toxidez de metais em plantas. II. Caracterização da toxidez de níquel em cafeeiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 17(2):323-8, 1982.
- POLACCO, J.C. & HAVIR, E.A. Comparisons of soybean urease isolated from seed and tissue culture. *Journal of Biological Chemistry*, Baltimore, 254:1707-15, 1979.
- POMBO, L.; SALGADO, V.; VOLKWEISS, S.; KLAMT, E. Adsorção de níquel por dois solos: Terra Bruna Estruturada similar e Podzólico Vermelho Amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 24(5):593-8, 1989.
- PRATT, P.F.; BAIR, F.L.; McLEAN, G.W. Reactions of phosphate with soluble and exchangeable nickel. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 28:363-5, 1964.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).
- RAIJ, B. van & VALADARES, J.M.A.S. *Análise dos elementos maiores de rochas, argilas e solos*. Campinas, Instituto Agronômico, 1974. 23p. (Boletim Técnico, 16).
- RAUSER, W.E. Early effects of phytotoxic burdens of cadmium, cobalt, nickel, and zinc in white beans. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, 56(15):1744-9, 1978.

- RAUSER, W.E. & DUMBROFF, E.B. Effects of excess cobalt, nickel and zinc on the water relations of *Phaseolus vulgaris*. *Environmental and Experimental Botany*, Oxford, 21(2):249-55, 1981.
- RAUSER, W.E. & SAMARAKOON, A.B. Vein loading in seedlings of *Phaseolus vulgaris* exposed to excess cobalt, nickel, and zinc. *Plant Physiology*, Bethesda, 65:578-83, 1980.
- REHAB, F.I. & WALLACE, A. Excess trace metal effects on cotton: 5. Nickel and cadmium in solution culture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 9(8):771-8, 1978.
- RICHTER, R.O. & THEIS, T.L. Nickel speciation in a soil water system. In: NRIAGU, J.O., ed. *Nickel in the environment*. New York, John Wiley, 1980. p.189-202.
- ROVERS, H.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Níquel total e solúvel em DTPA em solos do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 7:217-20, 1983.
- RUSSELL, S.A.; EVANS, H.J.; MAYEUX, P. The effect of cobalt and certain other trace metals on the growth and vitamin B₁₂ content of *Alnus rubra*. In: SYMPOSIUM ON BIOLOGY OF ALDER, 40., Alder, 1968. *Proceedings*. Apud *Soil and Fertilizers*, Farnham Royal, 32(6):596, Dec. 1969. (Resumo).

- SADIQ, M. & ENFIELD, C.G. Solid phase formation and solution chemistry of nickel in soils. 1. Theoretical. *Soil Science*, Baltimore, 138 (4):262-70, 1984.
- SATO, K. Antagonism between nickel and molybdenum in citrus. In: INTERNATIONAL CITRUS SYMPOSIUM, 1., Riverside, 1968. *Proceedings*, edited by H.P. Chapman. Riverside, University of California, 1969. v. 3, p.1543-50.
- SCHNITZER, M. & KHAN, S.U. *Soil organic matter*. Amsterdam, Elsevier, 1978. 319p.
- SCHNITZER, M. & SKINNER, S.I.M. Alkali versus acid extraction of soil organic matter. *Soil Science*, Baltimore, 105:392-6, 1968.
- SEVERNE, B.C. Nickel accumulation by *Hibanthus floribundus*. *Nature*, London, 248:807-8, 1974.
- SHEORAN, I.S.; SINGAL, H.R.; SINGH, R. Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and the enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Photosynthesis Research*, Dordrecht, 23:345-51, 1990.
- SHEWRY, P.R. & PETERSON, P.J. Distribution of chromium and nickel in plants and soil from serpentine and other sites. *Journal of Ecology*, Oxford, 64(1):195-212, 1976.

- SHIMADA, N.; ANDO, T.; TOMIYAMA, M.; KAKU, H. Role of nickel in plant nutrition. *Nippon Dojohiryogaku Zasshi*, Bunkyo, 51:487-92, 1980.
- SIDERIS, C.P. & YOUNG, H.Y. Growth and chemical composition of *Ananus comosus* (L.) Merr. in solution cultures with different iron-manganese ratios. *Plant Physiology*, Bethesda, 24:416, 1949.
- SOANE, B.D. & SAUNDER, D.H. Nickel and chromium toxicity of serpentine soils in Southern Rhodesia. *Soil Science*, Baltimore, 88:322-30, 1959.
- SPOSITO, G. & MATTIGOD, S.V. *GEOCHEM, a computer program for the calculations of chemical equilibria in soil solutions and other natural water systems*. Riverside, University of California, Kearney Foundation of Soil Science, 1980. 82p.
- THAUER, R.K.; DIEKERT, G.; SCHONHEIT, P. Biological role of nickel. *Trends in Biochemical Sciences*, Cambridge, 5:304-6, 1980.
- THOMAS, R.J. & SCHRADER, L.E. Ureide metabolism in higher plants. *Phytochemistry*, Oxford, 20:361-71, 1981.
- TIFFIN, L.O. Translocation of nickel in xylem exudate of plants. *Plant Physiology*, Bethesda, 48:273-7, 1971.
- TURINA, B. Absorption of selenium, sulfur, tellurium, potassium, magnesium, iron, nickel and chromium ions by plant roots. *Agronomski Glasnik*, Zagreb, 30:919-50, 1968.

- TYLER, L.D. & McBRIDE, M.B. Mobility and extractability of cadmium, copper, nickel, and zinc in organic and mineral soil columns. *Soil Science*, Baltimore, 134(3):198-205, 1982.
- VALADARES, J.M.A.S.; GAL, M.; MINGELGRIN, U.; PAGE, A.L. Some heavy metals in soils treated with sewage sludge, their effects on yield, and their uptake by plants. *Journal of Environmental Quality*, Madison, 12:49-57, 1983.
- VAN BAALEN, C. & O'DONNELL, R. Isolation of a nickel dependent blue-green algae. *Journal of General Microbiology*, Reading, 105:351-3, 1978.
- VANSELOW, A.P. Microelement research with citrus. *California Citrograph*, Los Angeles, 37(2):77-80, 1951.
- VANSELOW, A.P. Nickel. In: CHAPMAN, H.D., ed. *Diagnostic criteria for plants and soils*. Abilene, Quality Printing, 1965. p.302-9.
- VETTORI, L. *Métodos de análises de solos*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura / Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- VINOGRADOV, A.P. *The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils*. New York, Consultants Bureau, 1959. 374p.

WALKER, C.D.; GRAHAM, R.D.; MADISON, J.T.; CARY, E.E.; WELCH, R.M.
Effects of nickel deficiency on some nitrogen metabolites in cowpeas
(*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Plant Physiology*, Bethesda, 79(2):
474-9, 1985.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtijareff method for
determining soil organic matter and a proposed modification of the
chromic acid titration method. *Soil Science*, Baltimore, 37:29-38,
1934.

WALLACE, A.; ROMNEY, E.M.; CHA, J.W. Nickel-iron interactions in bush
beans. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York,
8(9):787-90, 1977a.

WALLACE, A.; CHA, J.W.; CHAUDHRY, F.M.; KINNEAR, J.; ROMNEY, E.M.
Tolerance of rice plants to trace metals. *Communications in Soil
Science and Plant Analysis*, New York, 8(9):809-17, 1977b.

WALLACE, A.; ROMNEY, E.M.; CHA, J.W.; SOUFI, S.M.; CHAUDHRY, F.M. Nickel
phytotoxicity in relationship to soil pH manipulation and chelating
agents. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York,
8(9):757-64, 1977c.

WATANABE, Y. & SHIMADA, N. Effect of nickel on the plant growth and
urea assimilation in higher plants. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF
SOIL SCIENCE, 14., KYOTO, 1990. *Transactions*. s.l., ISSS, 1990.
v. 4, p.146-51.

WELCH, R.M. The biological significance of nickel. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 3(1/4):345-56, 1981.

WHITBY, L.M.; GAYNOR, J.; MacLEAN, A.J. Metals in soils of some agricultural watersheds in Ontario. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, 58(3):325-30, 1978.

WILLIAMS, P.C. Nickel, iron, and manganese in the metabolism of the oat plant. *Nature*, London, 214:628, 1967.

A P Ê N D I C E S

Apêndice 1. Equações de regressão entre produção de matéria seca de partes da planta (Y), em g/vaso, e ppm de níquel (X) na solução nutritiva (Ensaio 1).

VARIÁVEL		EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Cultura	Parte			
Feijão	Folha	$Y = 7,045 - 1,475 X + 0,067 X^2$	0,91	**
	Caule + Ramo	$Y = 5,176 - 1,183 X + 0,055 X^2$	0,86	**
	Raiz	$Y = 2,113 - 0,472 X + 0,022 X^2$	0,91	**
	Total	$Y = 14,334 - 3,130 X + 0,143 X^2$	0,91	**
Arroz	Folha	$Y = 8,325 - 0,509 X$	0,94	**
	Colmo + Perfilho	$Y = 8,882 - 0,903 X + 0,021 X^2$	0,97	**
	Raiz	$Y = 8,250 - 0,531 X$	0,90	**
	Total	$Y = 24,887 - 1,597 X$	0,94	**

(**) Significativo ao nível de 1%

Apêndice 2. Teores de nutrientes e níquel, nas diferentes partes da planta, em feijão e arroz (Ensaio1)¹.

Folhas	Ni ppm	F E I J A O										A R R O Z													
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni
-----Z-----ppm-----																									
Feijoa																									
0	3,99	0,27	3,15	2,38	1,28	0,33	58,5	7,5	372,5	98,5	16,5	3,5	2,79	0,22	1,90	1,09	0,98	0,32	19,0	7,0	113,5	39,5	12,0	11,5	
1	3,54	0,32	3,95	2,62	1,10	0,33	68,5	9,0	413,5	107,5	36,5	125,0	2,70	0,25	1,85	1,12	0,92	0,30	19,0	7,5	105,5	62,5	14,0	33,0	
2	4,66	0,48	3,45	2,38	1,28	0,32	52,0	9,5	372,0	103,0	23,0	118,0	2,55	0,25	2,20	1,08	0,80	0,31	19,0	6,5	114,5	56,5	10,0	60,0	
4	5,13	0,44	4,50	2,69	1,08	0,40	88,0	10,0	3775,0	108,0	27,5	690,0	2,53	0,29	2,10	0,95	0,78	0,31	23,0	8,5	110,0	69,5	9,5	120,5	
8	4,95	0,38	4,00	2,44	0,85	0,47	90,5	11,0	3680,0	99,0	36,0	668,0	3,39	0,44	3,05	0,90	0,83	0,33	35,0	9,5	110,0	72,0	13,0	350,5	
16	4,50	0,30	3,55	2,25	0,78	0,45	90,5	6,5	3565,0	16,0	45,0	490,5	-	0,67	5,00	1,71	1,75	1,74	-	24,1	1132,8	146,6	34,5	3603,5	
Cauler																									
0	1,53	0,18	2,15	0,76	0,51	0,26	25,5	5,5	77,0	25,5	8,0	3,5	1,50	0,18	2,65	0,17	0,35	0,24	5,5	5,0	52,5	17,5	7,0	13,0	
1	1,50	0,21	2,80	0,74	0,53	0,30	25,5	5,5	80,0	30,0	14,0	42,5	1,27	0,20	2,50	0,19	0,37	0,23	5,5	5,5	49,5	5,5	6,0	20,5	
2	4,81	0,27	5,05	1,01	0,61	0,34	31,5	8,0	97,5	39,0	25,0	104,0	1,06	0,21	2,70	0,18	0,36	0,21	5,5	5,0	49,5	7,0	4,5	35,0	
4	5,00	0,44	3,80	1,02	0,88	0,76	46,5	9,0	116,0	32,0	56,5	720,0	1,39	0,21	2,80	0,31	0,41	0,20	9,5	4,0	38,0	10,5	4,5	54,5	
8	6,15	0,36	5,00	0,94	0,77	0,88	-	14,0	163,0	24,0	69,0	1380,0	2,38	0,25	3,80	0,18	0,34	0,22	13,0	6,0	37,0	23,5	7,0	141,0	
16	-	0,33	5,60	1,16	0,76	0,94	-	15,6	200,0	26,0	67,7	2114,6	-	0,38	1,67	1,19	1,58	1,10	-	66,6	1404,2	179,2	41,7	2750,0	
Riz																									
0	3,00	0,50	3,60	0,79	1,79	1,24	32,5	8,5	467,0	95,0	16,5	4,0	1,47	0,11	1,55	0,32	0,38	0,34	19,0	6,5	255,5	13,0	12,0	13,0	
1	3,45	0,50	3,30	0,64	1,73	1,18	32,5	6,0	1225,0	78,0	26,5	253,0	1,80	0,15	1,40	0,25	0,38	0,32	1,6	6,5	289,5	10,0	8,5	189,5	
2	3,96	0,50	4,40	0,56	1,56	0,77	47,5	11,5	2140,0	148,0	55,5	780,0	1,87	0,13	1,45	0,22	0,38	0,37	5,5	8,0	328,0	14,5	10,0	386,0	
4	4,00	0,63	4,10	0,70	0,92	0,73	50,0	27,5	5425,0	26,3	200,0	1662,5	1,48	0,12	1,55	0,20	0,37	0,31	8,0	9,0	332,5	14,5	9,0	745,0	
8	-	0,62	4,10	0,93	1,23	0,59	-	13,4	9442,1	57,9	140,5	1942,1	2,31	0,19	2,50	0,36	0,38	0,31	22,0	13,0	1285,0	43,5	14,0	1755,0	
16	-	0,59	1,30	1,10	1,36	0,85	-	40,9	1193,2	47,7	206,8	3318,2	-	0,54	0,60	0,61	3,26	1,73	-	25,0	20692,3	136,4	57,7	3769,2	

(1) Sem repetição

(-) Falta de material para análise

Apêndice 3. Quantidades de nutrientes e níquel nas diferentes partes da planta, em feijão e arroz (Ensaio I).

Partes Ni ppm	F E I J ã O												A R R O Z																
	N						B						S						B										
	P	K	Ca	Mg	Fe	Ni	P	K	Ca	Mg	Fe	Ni	P	K	Ca	Mg	Fe	Ni	P	K	Ca	Mg	Fe	Ni	P	K	Ca	Mg	Fe
	mg/vaso						µg/vaso						mg/vaso						µg/vaso										
Folha	0 277	19 219	165 89	23 406	52 2589	685 115	24	196	15 134	77 69	22 134	49 833	629 84	81	219	20 245	162 68	20 425	56 2564	666 226	775	218	20 150	90 74	24 154	61 852	505 113	267	
	2 224	23 166	114 61	15 250	46 1786	494 110	566	208	20 180	88 65	25 155	53 934	461 82	490	4 24	2 21	13 5	2 41	5 1774	51 13	324	175	20 145	66 54	21 159	59 762	482 66	835	
	8 25	2 20	12 4	2 45	6 1840	50 18	330	132	17 119	35 32	13 136	37 429	281 51	1367	16 16	1 13	8 3	2 33	2 1283	6 16	177	-	0,5 4	1 1	1 -	2 91	12 3	288	
Caulé+	0 80	9 112	40 27	14 133	29 400	133 42	18	120	14 211	14 28	19 44	40 619	140 56	104	1 79	11 147	39 28	16 134	29 420	158 73	223	108	17 213	16 32	20 47	47 422	47 51	175	
Ramo	2 99	6 104	21 13	7 65	16 201	80 52	214	81	16 207	14 28	16 42	38 380	54 35	269	4 16	1 12	3 3	2 15	3 37	10 18	230	83	12 167	18 24	12 57	24 226	63 27	325	
Colmo+	8 6	0,4 5	1 1	1 -	1 16	2 7	138	58	6 92	4 8	5 31	15 90	57 17	341	16 -	0,3 6	1 1	1 -	2 20	3 7	211	-	0,2 1	0,5 1	0,5 -	3 56	7 2	110	
Perfi-	0 68	11 82	18 41	28 74	19 1065	217 38	9	104	8 109	23 27	24 134	46 1804	92 85	92	1 64	9 62	12 32	22 61	11 2291	146 50	473	145	12 112	20 31	26 13	52 2325	80 68	1522	
lho	2 38	5 42	5 15	7 46	11 2054	142 53	749	151	10 117	18 31	30 44	65 2647	117 81	3115	4 8	1 9	1 2	2 11	6 1139	6 42	349	108	9 113	15 27	23 58	65 2417	105 65	5416	
	8 -	0,5 3	1 1	0,5 -	1 755	5 11	155	59	5 64	9 10	8 56	33 3264	110 36	4458	16 -	0,3 1	1 1	0,5 -	2 70	2 10	166	-	0,4 0,5	0,5 3	1 -	2 1655	11 5	302	
	0 425	39 413	223 157	65 613	100 4054	1035 195	51	420	37 454	114 124	65 312	135 3056	861 225	277	1 362	40 454	213 128	58 620	96 5275	970 349	1471	471	49 475	126 137	70 214	160 3599	632 232	1964	
Total	2 361	34 312	140 89	29 361	73 4041	716 215	1529	440	46 504	120 124	71 241	156 3961	632 198	3874	4 48	4 42	17 10	6 67	14 2950	67 73	903	366	41 425	99 105	56 274	148 3405	650 158	6576	
	8 (31)	2,9 28	14 6	3,5 (45)	8 2611	58 36	623	249	28 275	48 50	26 223	85 3781	448 104	6166	16 (16)	1,6 20	10 5	3,5 (33)	6 1373	11 33	554	-	1,1 5,5	2 5	2,5 -	7 1802	30 10	700	

Apêndice 4. Equações de regressão entre produção de matéria seca (g/vaso) e teor de clorofila total na folha ($\mu\text{g/g}$ de matéria fresca) do feijoeiro (Y), e ppm de níquel (X) na solução nutritiva (Ensaio 2).

VARIÁVEL	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Folha	$Y = 6,961 - 0,514 X + 0,278 X^2$	0,99	**
Caule + Ramo	$Y = 5,567 - 1,348 X$	0,89	**
Raiz	$Y = 2,264 - 0,535 X$	0,97	**
Total	$Y = 15,348 - 3,548 X$	0,97	**
Clorofila	$Y = 1755,47 - 217,74 X$	0,94	**

Apêndice 5. Equações de regressão entre quantidades de macro (mg/vaso) e micronutrientes ($\mu\text{g/vaso}$) do feijoeiro (Y), e ppm de níquel (X) na solução nutritiva (Ensaio 2).

VARIÁVEL		EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Parte	Nutriente			
Folha	S	$Y = 24,4 - 5,371 X$	0,98	*
	Cu	$Y = 61,8 - 12,6 X$	0,84	*
	Fe	$Y = 2581,4 - 230,37 X$	0,73	ns
	Mn	$Y = 766 - 166,857 X$	0,93	*
	Zn	$Y = 178,8 - 35,886 X$	0,49	ns
Total	P	$Y = 39,082 - 3,859 X - 3,159 X^2$	0,999	*
	Mg	$Y = 161,2 - 37,257 X$	0,996	*
	Cu	$Y = 110,2 - 22,543 X$	0,94	*
	Fe	$Y = 4760,6 - 388,91 X$	0,49	ns
	Mn	$Y = 1138,8 - 252,46 X$	0,95	*

(**) Significativo ao nível de 1%

(*) Significativo ao nível de 5%

(ns) Não significativo

Apêndice 6. Equações de regressão entre produção de matéria seca (g/vaso) e teor de clorofila total nas folhas ($\mu\text{g/g}$ de matéria fresca) do feijoeiro (Y), e ppm de níquel (X) na solução nutritiva (Ensaio 3).

VARIÁVEL			EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Coleta	Parte	Cultivar			
1	Raiz	Carioca	$Y = 3,707 - 0,896 X$	0,97	**
		IAPAR-14	$Y = 2,994 - 0,599 X$	0,98	**
	Total	-	$Y = 23,909 - 5,274 X$	0,97	**
2	Caule + Ramo	Carioca	$Y = 13,508 - 3,348 X$	0,95	**
		IAPAR-14	$Y = 9,378 + 2,17 X - 0,975 X^2$	0,99	**
	Raiz	Carioca	$Y = 4,111 - 1,895 X + 0,228 X^2$	0,99	*
		IAPAR-14	$Y = 3,204 - 0,577 X$	0,95	**
	Total	Carioca	$Y = 28,514 - 7,043 X$	0,97	**
		IAPAR-14	$Y = 22,403 + 2,698 X - 1,641 X^2$	0,99	**
	Total	-	$Y = 26,066 - 3,43 X - 0,517 X^2$	0,99	*
Clorofila			$Y = 1357,26 - 8,51 X - 37,22 X^2$	0,99	**

(**) Significativo ao nível de 1%

(*) Significativo ao nível de 5%

Apêndice 7. Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em feijoeiro (Y), e ppm de níquel (X) na solução nutritiva (Ensaio 3).

V A R I Á V E L			EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Coleta	Parte	Nutriente			
1	Folha	P	$Y = 0,282 + 0,028 X$	0,94	**
		K	$Y = 3,57 + 0,56 X$	0,93	**
		Mg	$Y = 0,807 + 0,10 X - 0,020 X^2$	0,90	*
		Fe	$Y = 367,325 + 163,54 X - 43,063 X^2$	0,51	**
		Mn	$Y = 58,85 + 5,657 X$	0,93	**
		Zn	$Y = 86,64 - 36,068 X + 8,066 X^2$	0,94	**
		Ni	$Y = 5,041 + 25,054 X + 13,545 X^2$	0,999	**
	Caule + Ramo	N	$Y = 1,873 + 0,403 X$	0,96	**
		P	$Y = 0,24 + 0,0271 X$	0,96	**
		K	$Y = 2,81 + 0,941 X$	0,94	**
		Ca	$Y = 0,552 + 0,06 X$	0,88	**
		Mg	$Y = 0,536 + 0,1298 X - 0,0253 X^2$	0,96	**
		Zn	$Y = 37,752 - 10,851 X + 3,176 X^2$	0,98	**
		Ni	$Y = 11,609 + 20,895 X + 17,204 X^2$	0,998	**
	Raiz	P	$Y = 0,336 + 0,021 X$	0,92	**
		Ca	$Y = 0,556 + 0,024 X$	0,51	*
		Mg	$Y = 1,191 + 0,116 X - 0,051 X^2$	0,95	**
		Cu	$Y = 9,189 - 6,769 X + 4,744 X^2$	0,996	**
		Fe	$Y = 832,718 - 630,959 X + 607,16 X^2$	0,99	**
		Mn	$Y = 52,745 - 18,923 X + 20,523 X^2$	0,999	**
		Zn	$Y = 38,648 - 23,199 X + 13,074 X^2$	0,99	**
		Ni	$Y = -75,15 + 487,586 X$	0,99	**
2	Folha	N	$Y = 2,106 + 0,372 X$	0,97	**
		P	$Y = 0,235 + 0,035 X$	0,88	**
		K	$Y = 3,165 + 0,516 X$	0,97	**
		Cu	$Y = 6,27 - 1,035 X + 0,46 X^2$	0,99	*
		Fe	$Y = 317,53 + 131,334 X - 35,034 X^2$	0,82	*
		Ni	$Y = 14,54 + 14,68 X + 14,92 X^2$	0,99	*
	Caule + Ramo	N	$Y = 1,84 + 0,42 X$	0,99	**
		P	$Y = 0,24 + 0,0265 X$	0,98	**
		K	$Y = 2,53 - 0,455 X + 0,247 X^2$	0,997	**
		Ca	$Y = 0,484 + 0,051 X$	0,93	**
		Fe	$Y = 138,64 + 32,003 X - 7,778 X^2$	0,31	*
		Zn	$Y = 22,05 + 2,793 X$	0,70	*
		Ni	$Y = 7,68 + 26,885 X + 19,29 X^2$	0,998	**
	Raiz	N	$Y = 2,685 + 0,216 X$	0,80	**
		P	$Y = 0,319 - 0,04 X + 0,015 X^2$	0,89	**
		K	$Y = 2,24 + 0,431 X$	0,61	**
		Ca	$Y = 0,65 - 0,123 X + 0,0515 X^2$	0,998	**
		Cu	$Y = 9,325 - 4,337 X + 3,812 X^2$	0,996	**
		Fe	$Y = 867,8 - 97,076 X + 369,8 X^2$	0,99	*
		Mn	$Y = 130,93 - 114,34 X + 49,34 X^2$	0,999	**
		Zn	$Y = 39,4 - 20,627 X + 12,227 X^2$	1,00	**
		Ni	$Y = -174 + 596,68 X$	0,97	**

(**) Significativo ao nível de 1%

(*) Significativo ao nível de 5%

Apêndice 8. Teores foliares de nutrientes (% e ppm) em dois cultivares de feijão por ocasião da floração (1) e da formação de grãos (2), em função dos níveis de Ni na solução nutritiva (Ensaio 3)(3).

Coletas	Cultivar	Ni	N	P	K	Ca	Mg	S ⁴	Cu	Fe	Mn	Zn
		ppm	%									
											ppm	
1	Carioca	0	3,60	0,26	3,20	1,62	0,80	0,36	4,5	374	53	102
		1	3,76	0,31	4,00	2,23	0,92	0,42	6,5	343	63	58
		2	2,71	0,36	4,60	2,51	0,92	0,33	6,5	505	72	53
		4	3,10	0,41	4,90	2,50	0,95	0,34	7,0	312	92	76
	IAPAR-14	0	3,00	0,28	3,45	1,61	0,83	0,33	8,0	450	70	75
		1	2,75	0,32	4,50	1,98	0,82	0,34	4,0	394	58	48
		2	2,60	0,34	5,40	1,83	0,96	0,39	6,5	719	70	49
		4	3,80	0,36	6,35	1,38	0,81	0,42	8,0	324	72	65
C.V.%		14,1		6,2	10,4	15,1	5,7	-	36,0	14,6	9,8	20,9
2	Carioca	0	1,95	0,25	2,65	3,21	0,96	0,35	7,0	392	69	39
		1	2,30	0,28	3,75	3,35	1,07	0,31	6,0	399	73	32
		2	2,95	0,32	4,85	3,87	1,00	0,31	6,0	436	81	34
		4	3,65	0,40	5,30	3,75	1,01	0,33	10,0	2010	89	35
	IAPAR-14	0	2,50	0,27	3,65	2,44	0,84	0,35	5,5	278	68	34
		1	2,40	0,21	3,35	2,62	0,80	0,28	5,5	335	57	30
		2	2,66	0,26	4,00	3,12	0,92	0,31	6,0	514	51	32
		4	3,65	0,38	5,00	2,01	0,89	0,27	9,0	352	76	29
C.V. %		12,5		18,7	11,1	15,7	5,5	-	20,0	19,6	18,1	11,3

Apêndice 9. Teores de níquel em dois cultivares de feijão por ocasião da floração e da formação de grãos, em função dos níveis de níquel na solução nutritiva (Ensaio 3)¹

Cultivar	Ni ppm	Primeira Coleta			Coleta Final				
		Folha	Caule+ Ramo	Raiz	Folha	Caule+ Ramo	Raiz	Casca	Grão
		-----			ppm	-----			
Carioca	0	5 d	10 c	21	18	2 c	4	6	1
	1	43 c	63 c	286	47	70 bc	262	81	112
	2	126 b	142 b	1117	112	142 b	1007	182	-
	4	342 a	518 a	1780	312	558 a	1750	-	-
IAPAR-14	0	8 c	7 c	11	10	7 c	20	10	2
	1	36 c	53 bc	282	46	56 bc	207	97	112
	2	98 b	91 b	702	92	122 b	850	153	122
	4	302 a	226 a	2025	312	292 a	2860	-	-
DMS ² _{AxB} (5%)		29	58	ns	ns	85	ns	-	-
C.V. %		7,4	12,6	33,7	26,8	16,5	32,8	-	-

(1) Média de 2 repetições

(2) Comparação de médias pelo teste de Tukey, da interação níveis de Ni x cultivares.

(ns) Não significativo

Apêndice 10. Equações de regressão entre produção de matéria seca (g/vaso) e teor de clorofila total na folha ($\mu\text{g/g}$ matéria fresca) de arroz (Y), e ppm de níquel (X) na solução nutritiva (Ensaio 4).

V A R I Á V E L			EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Coleta	Parte	Variedade			
1	Colmo+ Perfilho	IAC-165	$Y = 9,263 - 0,561 X$	0,99	**
		IAC-4440	$Y = 6,942 + 0,095 X - 0,047 X^2$	0,98	**
	Total	-	$Y = 22,935 - 0,335 X - 0,094 X^2$	0,98	**
2	Folha	IAC-165	$Y = 7,986 + 0,146 X - 0,043 X^2$	0,98	*
		IAC-4440	$Y = 12,357 - 0,692 X$	0,99	**
	Colmo+ Perfilho	IAC-165	$Y = 22,183 - 1,061 X$	0,96	**
		IAC-4440	$Y = 35,499 - 2,199 X$	0,98	**
	Raiz	IAC-165	$Y = 7,663 + 0,138 X - 0,051 X^2$	0,99	**
		IAC-4440	$Y = 8,63 - 0,606 X$	0,98	**
	Total	IAC-165	$Y = 43,025 + 0,42 X - 0,235 X^2$	0,99	**
		IAC-4440	$Y = 56,127 - 1,126 X - 0,205 X^2$	0,99	**
	Total	-	$Y = 49,576 - 0,353 X - 0,220 X^2$	0,99	**
Clorofila		IAC-165	$Y = 2374,73 - 383,82 X + 19,125 X^2$	0,96	**
		IAC-4440	$Y = 3185,27 - 385,10 X + 14,521 X^2$	0,98	**
		-	$Y = 2780 - 384,458 X + 16,823 X^2$	0,97	**

(**) Significativo ao nível de 1%

(*) Significativo ao nível de 5%

Apêndice 11. Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em arroz (Y), e ppm de níquel (X) na solução nutritiva (Ensaio 4).

V A R I Á V E L		EQUAÇÃO DE REGRESSÃO		R ²	F
Coleta	Parte	Nutriente			
1	Folha	N	$Y = 3,296 + 0,0291 X$	0,89	**
		P	$Y = 0,239 + 0,01 X$	0,96	**
		K	$Y = 3,795 + 0,0987 X$	0,996	**
		Ca	$Y = 1,021 - 0,0175 X$	0,84	**
		Mg	$Y = 0,861 - 0,079 X + 0,0039 X^2$	0,999	**
		Fe	$Y = 153,875 - 17,469 X + 2,726 X^2$	0,98	**
		Ni	$Y = 6,367 + 51,159 X - 0,949 X^2$	0,998	**
	Colmo + Perfilho	N	$Y = 1,84 + 0,078 X$	0,97	**
		P	$Y = 0,262 + 0,0079 X$	0,98	**
		K	$Y = 4,90 + 0,091 X$	0,78	**
		Ca	$Y = 0,614 + 0,0236 X - 0,0027 X^2$	0,66	**
		Cu	$Y = 2,175 + 0,2 X$	0,84	**
		Fe	$Y = 178,4 - 7,4 X$	0,71	**
		Ni	$Y = 14,425 + 42,42 X$	0,97	**
	Raiz	N	$Y = 1,75 + 0,0215 X + 0,007 X^2$	0,97	*
		P	$Y = 0,229 + 0,007 X$	0,90	**
		K	$Y = 2,587 + 0,181 X$	0,97	**
		Mg	$Y = 0,777 - 0,015 X$	0,95	**
		Cu	$Y = 4,975 - 1,194 X + 0,227 X^2$	0,98	**
		Fe	$Y = 474,2 - 38,731 X + 12,523 X^2$	0,97	**
		Mn	$Y = 37,312 + 11,141 X - 0,863 X^2$	0,97	**
		Zn	$Y = 23,262 - 0,966 X + 0,223 X^2$	0,99	**
		Ni	$Y = 46,587 + 559,084 X - 26,9 X^2$	0,998	**
2	Folha	N	$Y = 1,79 + 0,0266 X + 0,0062 X^2$	0,89	**
		P	$Y = 0,217 + 0,0024 X + 0,0009 X^2$	0,99	**
		K	$Y = 2,405 + 0,136 X$	0,94	**
		Ca	$Y = 1,31 - 0,0166 X$	0,74	*
		Mg	$Y = 1,31 - 0,0877 X + 0,0048 X^2$	1,00	*
		Cu	$Y = 4,91 - 0,241 X + 0,035 X^2$	0,96	*
		Ni	$Y = 21,9 + 45,069 X$	0,99	**
	Colmo + Perfilho	N	$Y = 1,59 - 0,166 X + 0,023 X^2$	0,93	**
		P	$Y = 0,23 - 0,0056 X + 0,0013 X^2$	0,99	**
		K	$Y = 2,775 + 0,116 X$	0,86	**
		Ca	$Y = 0,367 + 0,014 X$	0,94	**
		Cu	$Y = 2,525 - 0,306 X + 0,039 X^2$	0,997	**
		Mn	$Y = 59 - 3,469 X + 0,508 X^2$	0,96	**
		Zn	$Y = 12,425 - 1,55 X + 0,187 X^2$	0,99	**
		Ni	$Y = 24,687 - 0,703 X + 5,285 X^2$	0,995	**
	Raiz	N	$Y = 1,36 - 0,01 X + 0,009 X^2$	0,98	**
		P	$Y = 0,154 + 0,013 X$	0,97	**
		K	$Y = 1,814 - 0,034 X + 0,0098 X^2$	0,96	*
		Cu	$Y = 3,0 - 0,125 X + 0,141 X^2$	1,00	**
		Fe	$Y = 337,35 + 121,712 X$	0,99	**
		Mn	$Y = 27,6 - 17,131 X + 2,633 X^2$	0,93	*
		Zn	$Y = 13,175 - 0,58 X + 0,1797 X^2$	0,98	*
		Ni	$Y = 6,875 + 285,844 X$	0,998	**

(**) Significativo ao nível de 1%

(*) Significativo ao nível de 5%

Apêndice 12. Teores foliares de nutrientes (% e ppm) em duas variedades de arroz por ocasião do máximo perfilhamento (1) e da formação de grãos (2), em função dos níveis de Ni na solução nutritiva (Ensaio 4) (3).

Coletas	Cultivar	Ni	N	P	K	Ca	Mg	S ⁴	Cu	Fe	Mn	Zn
		ppm	%									
			ppm									
1	IAC-165	0	3,05	0,26	3,20	1,03	0,82	0,41	8,0	164	104	24
		4	3,43	0,34	4,20	0,95	0,68	0,36	8,0	138	104	22
		8	3,48	0,34	4,70	0,75	0,54	0,37	8,5	171	56	21
		12	3,64	0,38	4,85	0,84	0,58	0,36	10,0	211	65	23
	IAC-4440	0	3,55	0,22	4,35	1,03	0,90	0,43	7,5	134	94	20
		4	3,46	0,23	4,20	0,98	0,53	0,38	6,5	146	84	18
		8	3,43	0,27	4,55	0,90	0,43	0,38	5,5	177	76	24
		12	3,74	0,36	5,05	0,84	0,38	0,45	7,5	472	73	24
		C.V.%	4,3	4,7	3,9	5,3	9,3	-	15,9	8,4	26,9	16,5
	IAC-165	0	1,75	0,26	2,65	1,50	1,48	0,46	5,0	222	338	30
2		4	1,82	0,28	2,70	1,50	1,22	0,55	6,0	239	342	42
		8	2,66	0,35	3,25	1,26	1,07	0,61	8,0	212	376	38
		12	3,17	0,39	4,00	1,01	0,96	0,55	8,0	182	284	29
		IAC-4440	0	1,97	0,18	1,12	1,14	0,42	5,0	210	417	36
		4	1,75	0,18	2,95	1,05	0,86	0,40	3,0	204	366	35
		8	2,56	0,25	3,35	0,96	0,76	0,45	3,0	196	395	40
		12	2,68	0,35	4,40	1,29	0,93	0,61	6,0	208	500	42
		C.V.%	4,9	3,0	9,7	7,3	10,8	-	11,9	8,1	9,7	18,3

(1) Primeira coleta

(2) Coleta final

(3) Média de 2 repetições

(4) Sem repetição

Apêndice 13. Teores de níquel em duas variedades de arroz por ocasião do máximo perfilhamento e da formação de grãos, em função dos níveis de níquel na solução nutritiva (Ensaio 4)¹.

Cultivar	Ni ppm	Primeira Coleta			Coleta Final				
		Folha	Colmo + Perfilho	Raiz	Folha	Colmo + Perfilho	Raiz	Raquis	Grão
		-----			ppm	-----			
IAC-165	0	1 d	6	24	27 d	13	55	38	35
	4	266 c	212	2030	269 c	124	1067	130	67
	8	401 b	292	2595	437 b	247	2045	185	104
	12	532 a	522	2910	674 a	720	2800	-	-
IAC-4440	0	6 d	11	27	31 c	18	48	40	-
	4	142 c	227	1800	140 c	144	1070	82	88
	8	292 b	311	2875	275 b	412	2600	131	106
	12	442 a	572	2895	484 a	852	4090	-	-
DMS ² _{AxB} (5%)		31	ns	ns	132	ns	ns	-	-
C.V. %		3,6	13,5	14,0	13,7	15,2	17,7	-	-

(1) Média de 2 repetições

(2) Comparação de médias pelo teste de Tukey, da interação níveis de Ni x variedades.

(ns) Não significativo

Apêndice 14. Equações de regressão entre produção de matéria seca (g/vaso) do feijoeiro (Y), e ppm de níquel (X) em três solos ácidos (Ensaio 5).

V A R I Á V E L		EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Parte	Solos			
Folha	V	$Y = 6,533 + 0,017 X - 0,00015 X^2$	0,87	**
	LRd	$Y = 3,342 - 0,007 X - 0,00008 X^2$	0,99	**
	TE	$Y = 3,237 - 0,040 X + 0,00012 X^2$	0,99	**
Caule + Ramo	V	$Y = 4,038 - 0,0008 X + 0,00006 X^2$	0,98	**
	LRd	$Y = 1,86 + 0,0098 X - 0,0001 X^2$	0,999	**
	TE	$Y = 1,57 + 0,0001 X - 0,000099 X^2$	0,97	**
Raiz	V	$Y = 3,94 + 0,033 X - 0,00019 X^2$	0,97	**
	LRd	$Y = 1,23 + 0,019 X - 0,00019 X^2$	0,999	**
	TE	$Y = 1,75 - 0,0021 X - 0,0001 X^2$	0,90	*
Grão	V	$Y = 5,31 + 0,044 X - 0,0006 X^2$	0,97	**
	LRd	$Y = 5,662 - 0,048 X$	0,97	**
	TE	$Y = 1,58 - 0,039 X + 0,0002 X^2$	1,00	**
Casca	V	$Y = 2,37 + 0,0076 X - 0,00008 X^2$	0,46	**
	LRd	$Y = 1,16 + 0,006 X - 0,0001 X^2$	0,997	**
	TE	$Y = 1,06 - 0,0038 X - 0,00004 X^2$	0,98	*
Total	V	$Y = 22,19 + 0,101 X - 0,00099 X^2$	0,98	**
	LRd	$Y = 13,32 - 0,025 X - 0,0005 X^2$	0,995	**
	TE	$Y = 9,01 - 0,073 X$	0,98	**
Total	-	$Y = 14,9 - 0,0032 X - 0,00045 X^2$	0,998	**

(**) Significativo ao nível de 1%

(*) Significativo ao nível de 5%

Apêndice 15. Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em feijoeiro (Y), e ppm de níquel (X) em três solos ácidos (Ensaio 5).

V A R I Á V E L		EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Parte	Nutriente			
Folha	N	$Y = 1,63 + 0,0114 X - 0,00005 X^2$	0,98	*
	P	$Y = 0,093 + 0,00037 X$	0,93	**
	K	$Y = 1,68 + 0,017 X - 0,00007 X^2$	0,99	*
	Ca	$Y = 3,98 + 0,026 X - 0,00024 X^2$	0,91	**
	Mn	$Y = 740,6 - 7,338 X + 0,024 X^2$	0,97	*
	Zn	$Y = 36,2 - 0,069 X$	0,69	*
	Ni	$Y = 18,567 + 2,222 X$	0,998	**
Caule + Ramo	N	$Y = 0,933 + 0,0053 X$	0,97	**
	Ca	$Y = 1,40 + 0,0029 X - 0,000049 X^2$	0,98	**
	Mg	$Y = 0,925 + 0,0022 X - 0,000013 X^2$	0,995	*
	Fe	$Y = 235,71 - 1,542 X + 0,0257 X^2$	0,91	**
	Mn	$Y = 190,8 - 1,441 X$	0,72	**
	Zn	$Y = 30,51 - 0,232 X + 0,0016 X^2$	0,86	*
	Ni	$Y = 19,8 + 2,394 X$	0,99	**
Raiz	N	$Y = 1,71 + 0,0064 X$	0,96	**
	P	$Y = 0,121 - 0,00019 X + 0,000002 X^2$	0,62	*
	K	$Y = 0,19 + 0,00067 X + 0,000018 X^2$	0,98	*
	Cu	$Y = 47,226 + 0,243 X - 0,0022 X^2$	0,999	**
	Fe	$Y = 17809,3 + 61,834 X - 0,69 X^2$	0,99	*
	Zn	$Y = 87,39 - 1,403 X + 0,0105 X^2$	0,90	**
	Ni	$Y = 54,28 - 0,309 X + 0,048 X^2$	0,99	**

(**) Significativo ao nível de 1%

(*) Significativo ao nível de 5%

Apêndice 16. Teores foliares de nutrientes (% e ppm) em feijão cultivar Carioca, em função dos níveis de Ni em três solos ácidos (Ensaio 5)¹.

Solos	Ni	N	P	K	Ca	Mg	S ²	Cu	Fe	Mn	Zn
	ppm	----- % -----						----- ppm -----			
V	0	1,84	0,17	1,05	4,19	1,00	0,15	8	729	180	48
	30	1,78	0,17	0,65	5,12	1,00	0,16	8	1296	220	38
	60	2,10	0,18	0,60	5,81	0,92	0,17	8	1424	245	36
	120	2,01	0,20	0,70	4,57	0,94	0,19	7	848	166	26
LRd	0	1,47	0,04	2,05	3,97	0,97	0,23	7	1273	527	27
	30	1,80	0,04	3,10	3,85	0,92	0,27	8	1292	444	31
	60	1,98	0,05	3,75	4,10	0,96	0,21	9	926	482	39
	120	2,73	0,06	4,50	3,30	1,00	0,25	8	1775	374	28
TE	0	1,52	0,09	1,90	4,00	1,29	0,24	6	673	1460	33
	30	2,38	0,08	2,80	4,08	1,38	0,29	7	826	1110	27
	60	2,22	0,10	2,95	4,55	1,28	0,30	8	1136	327	31
	120	2,22	0,16	3,12	3,00	1,25	0,32	9	1816	110	26
C.V.%		7,4	21,9	8,7	8,1	5,0	-	13,2	34,6	14,0	15,6

(1) Média de 2 repetições

(2) Sem repetição

Apêndice 17. Teores de níquel em feijão cultivar Carioca, em função dos níveis de níquel em três solos ácidos (Ensaio 5)¹.

Solos	Ni	Folha	Caule + Ramo	Raiz	Casca	Grão
	ppm	ppm				
V	0	22 b	22 b	36 d	21	0
	30	92 a	55 ab	100 c	56	42
	60	112 a	101 ab	164 b	84	61
	120	105 a	106 a	268 a	148	97
LRd	0	24 c	28 b	33 d	21	0
	30	78 b	98 ab	112 c	66	48
	60	100 b	138 a	186 b	112	84
	120	298 a	217 a	593 a	181	-
TE	0	13 d	12 c	42 c	18	15
	30	96 c	161 b	189 b	140	97
	60	220 b	187 b	360 b	191	-
	120	461 a	670 a	1300 a	-	-
DMS _{AxB} ² (5%)		48	81	61	-	-
C.V. %		11,7	18,5	7,6	-	-

(1) Média de 2 repetições.

(2) Comparação de médias pelo teste de Tukey, da interação níveis de Ni x solos.

Apêndice 18. Equações de regressão entre produção de matéria seca (g/vaso) de arroz (Y), e ppm de níquel (X) em três solos ácidos (Ensaio 6).

V A R I Á V E L		EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Parte	Solos			
Folha	V	$Y = 8,043 - 0,0858 X + 0,00048 X^2$	0,94	**
	LRd	$Y = 4,015 - 0,0104 X$	0,98	**
	TE	$Y = 4,057 - 0,0198 X$	0,99	**
Colmo + Perfilho	V	$Y = 12,49 - 0,104 X + 0,0005 X^2$	0,998	**
	LRd	$Y = 5,42 - 0,013 X$	0,96	**
	TE	$Y = 5,904 - 0,026 X$	0,98	**
Raiz	V	$Y = 9,74 - 0,05 X + 0,00024 X^2$	0,99	*
	LRd	$Y = 4,708 - 0,0048 X$	0,60	ns
	TE	$Y = 4,86 + 0,0095 X - 0,00022 X^2$	0,996	*
Grão	V	$Y = 3,404 - 0,0541 X + 0,00029 X^2$	0,95	**
	LRd	$Y = 1,86 - 0,0283 X + 0,00017 X^2$	1,00	**
	TE	$Y = 2,08 + 0,0008 X - 0,00014 X^2$	0,96	**
Total	V	$Y = 35,298 - 0,296 X + 0,0015 X^2$	0,999	**
	LRd	$Y = 16,497 - 0,0384 X$	0,98	**
	TE	$Y = 17,43 - 0,0199 X - 0,00053 X^2$	0,999	**
Total	-	$Y = 23,155 - 0,124 X + 0,00037 X^2$	0,999	**

(**) Significativo ao nível de 1%

(*) Significativo ao nível de 5%

(ns) Não significativo

Apêndice 19. Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em arroz (Y), e ppm de níquel (X) em três solos ácidos (Ensaio 6).

V A R I Á V E L		EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Parte	Nutriente			
Folha	K	$Y = 2,08 + 0,023 X - 0,00011 X^2$	0,997	**
	Ca	$Y = 1,398 + 0,0033 X - 0,000047 X^2$	0,99	**
	Mg	$Y = 1,588 - 0,0033 X$	0,94	**
	Mn	$Y = 2617,23 - 15,954 X$	0,99	**
	Zn	$Y = 50,267 - 0,146 X$	0,92	**
	Ni	$Y = 15,23 + 1,494 X - 0,0043 X^2$	0,99	**
Colmo + Perfilho	N	$Y = 0,52 + 0,0015 X$	0,90	**
	K	$Y = 3,06 + 0,0062 X$	0,90	**
	Ca	$Y = 0,56 - 0,00112 X$	0,91	**
	Mg	$Y = 1,12 - 0,0024 X$	0,86	**
	Mn	$Y = 600,47 - 2,591 X$	0,91	**
	Zn	$Y = 204,67 - 1,040 X$	0,93	**
	Ni	$Y = 10,32 + 1,874 X - 0,0066 X^2$	0,999	**
Raiz	K	$Y = 0,387 + 0,0022 X$	0,87	**
	Zn	$Y = 92,97 - 0,364 X$	0,82	**
	Ni	$Y = 31,1 + 2,708 X$	0,999	**

(**) Significativo ao nível de 1%

Apêndice 20. Teores foliares de nutrientes (% e ppm) em arroz variedade IAC-165, em função dos níveis de Ni em três solos ácidos (Ensaio 6)¹.

Solos	Ni	N	P	K	Ca	Mg	S ²	Cu	Fe	Mn	Zn
	ppm	-----			%	-----			---	ppm	-----
V	0	0,91	0,23	1,00	1,62	1,69	0,30	8	402	880	59
	30	1,05	0,25	2,30	1,64	1,64	0,34	8	382	1555	61
	60	0,88	0,25	2,90	1,54	1,42	0,30	8	387	830	61
	120	1,05	0,22	3,00	1,22	1,41	0,28	10	375	616	41
LRd	0	1,19	0,07	3,30	0,93	1,40	0,22	10	304	1900	36
	30	0,96	0,08	3,20	1,09	1,44	0,30	9	338	1705	38
	60	1,22	0,08	3,65	1,24	1,33	0,34	9	367	1105	28
	120	0,80	0,07	3,60	1,12	1,14	0,33	6	348	920	24
TE	0	0,98	0,08	1,90	1,67	1,54	0,30	10	289	4880	48
	30	1,07	0,07	2,60	1,56	1,56	0,44	11	357	3435	42
	60	0,94	0,06	2,55	1,55	1,42	0,43	12	393	3010	42
	120	1,05	0,05	3,10	1,00	0,96	0,33	14	300	520	28
C.V.%		13,9	22,2	6,4	6,9	8,5	-	16,0	13,1	20,6	12,6

(1) Média de 2 repetições

(2) Sem repetição

Apêndice 21. Teores de níquel em arroz variedade IAC-165, em função dos níveis de níquel em três solos ácidos (Ensaio 6)¹.

Solos	Ni	Folha	Colmo + Perfilho	Raiz	Raquis	Grão
	ppm	ppm				
V	0	18 b	7 c	24 b	23	12
	30	35 b	36 bc	69 b	26	27
	60	46 ab	56 ab	124 ab	41	48
	120	69 a	90 a	190 a	48	41
LRd	0	21 c	10 c	33 c	29	20
	30	52 b	55 b	141 b	62	42
	60	80 b	78 b	188 b	113	46
	120	114 a	146 a	423 a	105	79
TE	0	12 d	12 c	24 d	33	17
	30	66 c	96 b	141 c	75	72
	60	153 b	158 a	271 b	145	91
	120	211 a	186 a	450 a	111	106
DMS _{AxB} ² (5%)		31	44	103	-	-
C.V. %		13,9	18,6	19,7	-	-

(1) Média de 2 repetições

(2) Comparação de médias pelo teste de Tukey, da interação níveis de Ni x solos.

Apêndice 22. Equações de regressão entre produção de matéria seca (g/vaso) de feijoeiro (Y), e ppm de níquel (X) em dois solos ácidos com e sem calagem (Ensaio 7).

V A R I Á V E L			EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Parte	Calagem	Solos			
Folha	-	LRd	$Y = 3,34 - 0,0071 X - 0,000083 X^2$	0,99	*
		TE	$Y = 3,24 - 0,0405 X + 0,00012 X^2$	0,99	**
	+	LRd	$Y = 4,43 - 0,0106 X$	0,91	**
		TE	$Y = 4,30 - 0,0337 X + 0,000074 X^2$	0,98	*
Caule + Ramo	-	LRd	$Y = 1,86 + 0,0098 X - 0,00012 X^2$	0,999	**
		TE	$Y = 1,57 + 0,0001 X - 0,000099 X^2$	0,97	**
	+	LRd	$Y = 3,21 - 0,0097 X$	0,62	**
		TE	$Y = 2,42 - 0,0012 X - 0,00008 X^2$	1,00	**
Raiz	-	LRd	$Y = 1,23 + 0,0193 X - 0,00019 X^2$	0,999	**
		TE	$Y = 1,75 - 0,0021 X - 0,000097 X^2$	0,90	**
	+	LRd	$Y = 1,45 + 0,0144 X - 0,00012 X^2$	0,95	**
		TE	$Y = 1,552 - 0,0067 X$	0,91	**
Grão	-	LRd	$Y = 5,662 - 0,048 X$	0,97	**
		TE	$Y = 1,58 - 0,0394 X + 0,00022 X^2$	1,00	**
	+	LRd	$Y = 5,68 - 0,0694 X + 0,00029 X^2$	0,96	**
		TE	$Y = 2,12 - 0,0598 X + 0,00035 X^2$	0,97	**
Casca	-	LRd	$Y = 1,16 + 0,0061 X - 0,00012 X^2$	0,997	**
		TE	$Y = 1,06 - 0,0038 X - 0,000041 X^2$	0,98	**
	+	LRd	$Y = 1,226 - 0,0015 X$	0,97	**
		TE	$Y = 1,16 - 0,00052 X - 0,000054 X^2$	0,999	**
Total	-	LRd	$Y = 13,32 - 0,0247 X - 0,00048 X^2$	0,99	**
		TE	$Y = 9,007 - 0,073 X$	0,98	**
	+	LRd	$Y = 15,685 - 0,0548 X$	0,89	**
		TE	$Y = 11,59 - 0,104 X + 0,00031 X^2$	0,98	**
Folha	-		$Y = 3,253 - 0,0213 X$	0,99	**
	+		$Y = 4,302 - 0,0176 X$	0,996	**
Caule + Ramo	-		$Y = 1,71 + 0,0049 X - 0,00011 X^2$	0,99	**
	+		$Y = 2,77 - 0,0023 X - 0,000066 X^2$	0,90	**
Raiz	-		$Y = 1,49 + 0,0086 X - 0,00014 X^2$	0,96	**
	+		$Y = 1,52 + 0,0027 X - 0,000049 X^2$	0,98	**
Grão	-		$Y = 3,65 - 0,046 X + 0,00013 X^2$	0,98	**
	+		$Y = 3,90 - 0,0646 X + 0,00032 X^2$	0,997	**
Casca	-		$Y = 1,11 + 0,00115 X - 0,00008 X^2$	0,99	**
	+		$Y = 1,19 - 0,00094 X - 0,000028 X^2$	0,999	**
Total	-		$Y = 11,26 - 0,0552 X - 0,00019 X^2$	0,999	**
	+		$Y = 13,74 - 0,086 X + 0,00021 X^2$	0,99	**
Total			$Y = 12,48 - 0,069 X$	0,999	**

(**) Significativo ao nível de 1%

(*) Significativo ao nível de 5%

Apêndice 23. Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em feijoeiro (Y), e ppm de níquel (X) em dois solos ácidos com e sem calagem (Ensaio 7).

V A R I Á V E L			EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Parte	Nutriente	Calagem			
Folha	N	-	$Y = 1,59 + 0,0055 X + 0,0001 X^2$	0,96	*
		+	$Y = 2,45 - 0,0092 X + 0,00007 X^2$	0,84	ns
	P	-	$Y = 0,0545 + 0,00045 X$	0,91	**
		+	$Y = 0,123 - 0,00035 X$	0,71	*
	K	-	$Y = 2,01 + 0,0323 X - 0,00015 X^2$	0,99	*
		+	$Y = 3,33 - 0,025 X + 0,0002 X^2$	0,81	**
	Ca	-	$Y = 3,899 + 0,0147 X - 0,00017 X^2$	0,89	**
		+	$Y = 3,86 + 0,0184 X - 0,00012 X^2$	0,50	*
	Cu	-	$Y = 6,61 + 0,044 X - 0,00035 X^2$	0,85	*
		+	$Y = 7,75 - 0,025 X$	1,00	**
	Fe	-	$Y = 1004,8 - 3,516 X + 0,0535 X^2$	0,97	*
		+	$Y = 881,2 - 2,586 X + 0,0256 X^2$	0,95	ns
	Mn	-	$Y = 1022,2 - 12,103 X + 0,046 X^2$	0,97	**
		+	$Y = 209,25 - 0,805 X$	0,96	*
	Zn	-	$Y = 28,85 + 0,147 X - 0,0013 X^2$	0,54	*
		+	$Y = 35,2 - 0,1014 X$	0,99	**
	Ni	-	$Y = 20,34 + 1,789 X + 0,0099 X^2$	0,999	**
		+	$Y = 21,3 + 1,17 X$	0,94	**
Caule + Ramo	N	-	$Y = 0,8735 + 0,0074 X$	0,91	**
		+	$Y = 1,22 + 0,0029 X$	0,57	*
	P	-	$Y = 0,0405 + 0,00045 X$	0,96	**
		+	$Y = 0,103 + 0,00016 X - 0,000003 X^2$	0,60	ns
	Mg	-	$Y = 0,809 + 0,0023 X$	0,99	**
		+	$Y = 0,949 - 0,001 X$	0,93	*
	Mn	-	$Y = 246,8 - 1,952 X$	0,73	**
		+	$Y = 53,7 - 0,169 X$	0,98	ns
	Ni	-	$Y = 32,08 + 1,766 X + 0,0136 X^2$	0,98	**
		+	$Y = 16,06 + 2,241 X - 0,007 X^2$	0,99	*
Raiz	N	-	$Y = 1,76 + 0,006 X$	0,89	**
		+	$Y = 2,09 - 0,00897 X + 0,00005 X^2$	0,95	ns
	K	-	$Y = 0,075 + 0,0049 X$	0,99	**
		+	$Y = 0,33 - 0,0025 X + 0,000036 X^2$	0,99	**
	Mg	-	$Y = 0,49 + 0,00032 X + 0,0000025 X^2$	0,64	ns
		+	$Y = 0,59 - 0,000014 X - 0,0000034 X^2$	0,49	ns
	Fe	-	$Y = 20366,2 + 39,55 X - 0,635 X^2$	1,00	**
		+	$Y = 19,655 + 15,905 X$	0,88	**
	Zn	-	$Y = 68,98 - 1,23 X + 0,011 X^2$	0,94	**
		+	$Y = 41,89 - 0,205 X + 0,00088 X^2$	0,90	ns
	Ni	-	$Y = 48,75 + 0,757 X + 0,056 X^2$	0,997	**
		+	$Y = 21,55 + 2,994 X$	0,998	**
Folha	N		$Y = 2,02 - 0,0018 X + 0,00008 X^2$	0,94	*
	K		$Y = 2,62 + 0,0073 X$	0,96	**
	Ca		$Y = 3,88 + 0,0165 X - 0,00015 X^2$	0,50	**
	Cu		$Y = 7,50 - 0,0125 X$	0,77	**
	Fe		$Y = 943 - 3,051 X + 0,0545 X^2$	0,99	*
	Mn		$Y = 619,5 - 6,712 X + 0,0251 X^2$	0,98	**
	Zn		$Y = 33,2 - 0,0586 X$	0,73	**
	Ni		$Y = 20,61 + 1,494 X + 0,0049 X^2$	0,99	*
Caule + Ramo	N		$Y = 1,045 + 0,0051 X$	0,92	**
	Ca		$Y = 1,32 + 0,0063 X - 0,000065 X^2$	0,87	**
	Fe		$Y = 240,25 + 1,513 X$	0,83	**
	Mn		$Y = 150,25 - 1,06 X$	0,77	**
	Ni		$Y = 18,2 + 2,41 X$	0,98	**
Raiz	K		$Y = 0,21 + 0,00045 X + 0,000024 X^2$	0,999	**
	Cu		$Y = 46,51 + 0,128 X - 0,0013 X^2$	0,99	*
	Fe		$Y = 20027 + 26,612 X - 0,308 X^2$	0,97	**
	Mn		$Y = 172,93 - 0,425 X$	0,90	**
	Zn		$Y = 55,44 - 0,718 X + 0,0058 X^2$	0,91	**
	Ni		$Y = 36,76 + 1,76 X + 0,029 X^2$	0,999	**

(**) Significativo ao nível de 1%

(*) Significativo ao nível de 5%

(ns) Não significativo

Apêndice 24. Teores foliares de nutrientes (% e ppm) em feijão cultivar Carioca, em função dos níveis de Ni e da calagem em dois solos ácidos (Ensaio 7)¹.

Solos	Calagem	Ni	N	P	K	Ca	Mg	S ²	Cu	Fe	Mn	Zn
		ppm	-----	%	-----	-----	-----	-----	ppm	-----	-----	-----
LRd	-	0	1,47	0,04	2,05	3,97	0,97	0,23	7	1273	527	27
		30	1,80	0,04	3,10	3,85	0,92	0,27	8	1292	444	31
		60	1,98	0,05	3,75	4,10	0,96	0,21	9	926	482	39
		120	2,73	0,06	4,50	3,30	1,00	0,25	8	1775	374	28
	+	0	2,31	0,12	4,95	3,73	1,04	0,20	8	903	154	38
		30	2,41	0,12	3,05	3,50	0,91	0,22	8	779	136	33
		60	2,08	0,10	3,30	4,61	0,84	0,26	7	827	138	35
		120	2,31	0,06	3,40	4,52	0,88	0,21	4	738	129	22
TE	-	0	1,52	0,09	1,90	4,00	1,29	0,24	6	673	1460	33
		30	2,38	0,08	2,80	4,08	1,38	0,29	7	826	1110	27
		60	2,22	0,10	2,95	4,55	1,28	0,30	8	1136	327	31
		120	4,75	0,16	3,12	3,00	1,25	0,32	9	1816	110	26
	+	0	2,54	0,12	1,90	4,40	1,02	0,20	8	873	284	34
		30	2,22	0,14	2,00	3,99	1,01	0,20	6	840	213	30
		60	2,10	0,15	2,20	5,23	1,12	0,24	6	836	176	24
		120	2,34	0,11	3,10	3,86	1,10	0,30	5	1136	106	24
C.V. %			11,9	29,8	13,1	8,9	4,8	-	14,0	18,2	16,0	12,0

(1) Média de 2 repetições

(2) Sem repetição

Apêndice 25. Teores de níquel em feijão cultivar Carioca, em função dos níveis de níquel e da calagem em dois solos ácidos (Ensaio 7)¹.

Solos	Calagem	Ni	Folha	CauLe + Ramo	Raiz	Casca	Grão
		ppm			ppm		
LRd	-	0	24	28 c	33 d	21	0
		30	78	98 b	112 c	66	48
		60	100	138 b	186 b	112	84
		120	298	217 a	593 a	181	-
	+	0	18	16 c	32 c	26	1
		30	71	86 b	108 b	77	45
		60	51	103 b	174 b	109	83
		120	99	168 a	390 a	140	102
TE	-	0	13	12 c	42 d	18	15
		30	96	161 b	189 c	140	97
		60	220	187 b	360 b	191	-
		120	461	670 a	1300 a	-	-
	+	0	9	11 d	22 d	16	12
		30	83	81 c	96 c	113	106
		60	102	137 b	231 b	203	-
		120	229	200 a	374 a	37	-
DMS ² _{AxB} (5%)			ns	47	70	-	-
C.V. %			12,4	11,3	9,1	-	-

(1) Média de 2 repetições

(2) Comparação de médias pelo teste de Tukey, da interação solos x calagem x níveis de Ni.

(ns) Não significativo

Apêndice 26. Equações de regressão entre produção de matéria seca (g/vaso) de arroz (Y), e ppm de níquel (X) em dois solos ácidos com e sem calagem (Ensaio 8).

V A R I Á V E L			EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
Parte	Calagem	Solos			
Folha	-	LRd	$Y = 4,015 - 0,0104 X$	0,98	**
		TE	$Y = 3,95 - 0,0125 X - 0,000058 X^2$	1,00	*
	+	LRd	$Y = 4,155 - 0,0130 X$	0,98	**
		TE	$Y = 4,024 - 0,0049 X - 0,000099 X^2$	0,97	**
Raiz	-	LRd	$Y = 4,71 - 0,0048 X$	0,60	**
		TE	$Y = 4,86 + 0,0095 X - 0,00022 X^2$	0,996	**
	+	LRd	$Y = 4,92 - 0,0122 X$	0,95	**
		TE	$Y = 4,27 - 0,0047 X$	0,91	**
Raquis	-	LRd	$Y = 0,80 - 0,0031 X$	0,95	**
		TE	$Y = 0,83 - 0,0047 X$	0,96	**
	+	LRd	$Y = 0,81 - 0,004 X$	0,93	**
		TE	$Y = 0,78 - 0,0065 X + 0,00003 X^2$	0,99	*
Grão	-	LRd	$Y = 1,86 - 0,028 X + 0,00017 X^2$	1,00	**
		TE	$Y = 2,08 + 0,0008 X - 0,00014 X^2$	0,96	**
	+	LRd	$Y = 1,22 - 0,00266 X$	0,31	*
		TE	$Y = 2,02 - 0,0028 X - 0,00008 X^2$	0,94	*
Total	-	LRd	$Y = 16,497 - 0,038 X$	0,98	**
		TE	$Y = 17,43 - 0,0199 X - 0,00053 X^2$	0,999	**
	+	LRd	$Y = 16,48 - 0,0659 X + 0,00018 X^2$	0,999	*
		TE	$Y = 16,675 - 0,0584 X$	0,999	**
Colmo +	-		$Y = 5,53 - 0,0105 X - 0,000074 X^2$	1,00	*
Perfilho	+		$Y = 5,31 - 0,0257 X + 0,000076 X^2$	0,99	*
Raiz	-		$Y = 4,79 + 0,0019 X - 0,0001 X^2$	0,99	**
	+		$Y = 4,59 - 0,0084 X$	0,94	**
Raquis	-		$Y = 0,78 - 0,0015 X - 0,00002 X^2$	0,999	*
	+		$Y = 0,77 - 0,0034 X$	0,97	**
Grão	-		$Y = 1,94 - 0,0119 X$	0,98	**
	+		$Y = 1,70 - 0,0079 X$	0,82	**
Total	-		$Y = 17,08 - 0,0374 X - 0,0002 X^2$	0,999	**
	+		$Y = 16,41 - 0,051 X$	0,996	**
Total			$Y = 16,93 - 0,0565 X$	0,998	**

(**) Significativo ao nível de 1%

(*) Significativo ao nível de 5%.

Apêndice 27. Equações de regressão entre teores de nutrientes e níquel (% e ppm) em arroz (Y), e ppm de níquel (X) em dois solos ácidos com e sem calagem (Ensaio 8).

V A R I Á V E L			EQUAÇÕES DE REGRESSÃO	R ²	F
Parte	Nutriente	Calagem			
Folha	P	-	$Y = 0,078 - 0,00017 X$	0,98	ns
		+	$Y = 0,088 + 0,00044 X$	0,74	**
	Mg	-	$Y = 1,48 + 0,00097 X - 0,000038 X^2$	0,99	*
		+	$Y = 1,58 - 0,0009 X$	0,87	ns
	Mn	-	$Y = 3329,5 - 21,812 X$	0,996	**
		+	$Y = 842,75 - 5,60 X$	0,79	**
Colmo + Perfilho	Mg	-	$Y = 0,98 - 0,0025 X$	0,92	**
		+	$Y = 1,02 + 0,00097 X - 0,000015 X^2$	0,91	ns
	Cu	-	$Y = 10,82 - 0,0537 X + 0,00029 X^2$	0,90	*
		+	$Y = 14,76 - 0,117 X + 0,00042 X^2$	0,98	**
	Ni	-	$Y = 11,59 + 2,333 X - 0,0087 X^2$	0,999	**
		+	$Y = 10,15 + 1,831 X - 0,008 X^2$	0,996	**
Raiz	Ca	-	$Y = 0,50 - 0,0027 X + 0,000018 X^2$	0,67	**
		+	$Y = 0,55 + 0,00055 X - 0,000006 X^2$	0,47	ns
	Mg	-	$Y = 0,47 - 0,00031 X + 0,000005 X^2$	0,46	ns
		+	$Y = 0,57 - 0,0027 X + 0,000015 X^2$	0,97	*
	Ni	-	$Y = 32,1 + 3,367 X$	0,999	**
		+	$Y = 31,4 + 2,374 X$	0,997	**
Folha	K		$Y = 2,75 + 0,0048 X$	0,97	**
	Ca		$Y = 1,52 + 0,0009 X - 0,000025 X^2$	1,00	*
	Mg		$Y = 1,56 - 0,00235 X$	0,89	**
	Fe		$Y = 310,8 + 1,838 X - 0,016 X^2$	0,99	**
	Mn		$Y = 2086 - 13,706 X$	0,99	**
	Zn		$Y = 42,8 - 0,118 X$	0,94	**
	Ni		$Y = 11,72 + 1,736 X - 0,0042 X^2$	0,997	**
Colmo + Perfilho	Ca		$Y = 0,53 + 0,00024 X - 0,000009 X^2$	0,86	*
	Mg		$Y = 1,015 - 0,0017 X$	0,999	**
	Cu		$Y = 12,79 - 0,085 X + 0,00036 X^2$	0,96	**
	Mn		$Y = 501,6 - 2,507 X$	0,93	**
	Zn		$Y = 156,4 - 2,338 X + 0,012 X^2$	1,00	**
	Ni		$Y = 10,87 + 2,082 X - 0,0084 X^2$	0,998	**
Raiz	N		$Y = 0,89 + 0,0035 X - 0,00002 X^2$	0,57	ns
	K		$Y = 0,437 + 0,0015 X$	0,86	**
	Cu		$Y = 34,05 - 0,058 X$	0,77	**
	Mn		$Y = 128 - 0,351 X$	0,94	**
	Zn		$Y = 56,125 - 0,115 X$	0,60	*
	Ni		$Y = 31,75 + 2,871 X$	0,998	**

(**) Significativo ao nível de 1%

(*) Significativo ao nível de 5%

(ns) Não significativo

Apêndice 28. Teores foliares de nutrientes (% e ppm) em arroz variedade IAC-165, em função dos níveis de Ni e da calagem em dois solos ácidos (Ensaio 8)¹.

Solos	Calagem	Ni	N	P	K	Ca	Mg	S ²	Cu	Fe	Mn	Zn
		ppm	%						ppm			
LRd	-	0	1,19	0,07	3,30	0,93	1,40	0,22	10	304	1900	36
		30	0,96	0,08	3,20	1,09	1,44	0,30	9	338	1705	38
		60	1,22	0,08	3,65	1,24	1,33	0,34	9	367	1105	28
		120	0,80	0,07	3,60	1,12	1,14	0,33	6	348	920	24
	+	0	1,37	0,12	3,70	1,48	1,40	0,36	11	339	406	40
		30	1,22	0,10	3,20	1,52	1,42	0,36	10	384	488	38
		60	1,16	0,11	3,60	1,26	1,41	0,35	11	328	292	36
		120	1,61	0,14	3,60	1,26	1,47	0,36	9	261	249	32
TE	-	0	0,98	0,08	1,90	1,67	1,54	0,30	10	289	4880	48
		30	1,07	0,07	2,60	1,56	1,56	0,44	11	357	3435	42
		60	0,94	0,06	2,55	1,55	1,42	0,43	12	393	3010	42
		120	1,05	0,05	3,10	1,00	0,96	0,33	14	300	520	28
	+	0	0,82	0,12	2,20	1,99	1,74	0,38	12	303	1260	40
		30	1,10	0,09	2,35	1,90	1,74	0,35	14	344	1155	47
		60	1,19	0,11	2,50	1,88	1,61	0,36	12	353	320	38
		120	0,72	0,15	3,00	1,68	1,47	0,39	12	297	220	28
C.V. %			12,0	27,9	9,4	7,0	7,1	-	16,8	13,3	19,7	9,3

(1) Média de 2 repetições

(2) Sem repetição

Apêndice 29. Teores de níquel em arroz variedade IAC-165, em função dos níveis de níquel e da calagem em dois solos ácidos (Ensaio 8)¹.

Solos	Calagem	Ni	Folha	Colmo + Perfilho	Raiz	Raquis	Grão
		ppm			ppm		
LRd	-	0	21 d	10	33	29	20
		30	52 c	55	141	62	42
		60	80 b	78	188	113	46
		120	114 a	146	423	105	79
	+	0	17 d	9	32	31	15
		30	49 c	46	100	46	43
		60	82 b	68	149	73	57
		120	123 a	89	300	94	86
TE	-	0	12 d	12	24	33	17
		30	66 c	96	141	75	72
		60	153 b	158	271	145	91
		120	211 a	186	450	111	106
	+	0	2 d	8	25	2	25
		30	56 c	76	122	60	72
		60	98 b	108	183	79	82
		120	184 a	138	336	99	95
DMS ² _{AxBxC} (5%)			26	ns	ns	-	-
C.V. %			11,1	15,9	13,9	-	-

(1) Média de 2 repetições

(2) Comparação de médias pelo teste de Tukey, da interação solos x calagem x níveis de Ni

(ns) Não significativo

Apêndice 30. Teores de Ni extraível em DTPA-TEA ($\mu\text{g/ml}$) em três solos ácidos.

Solos	Ni ppm	Calagem	Tempos de incubação (dias)		
			28	138	222
V	0	-	0,83	0,84	0,94
	30		12,10	7,90	9,30
	60		21,40	17,20	17,20
	120		37,10	34,10	34,40
LRd	0	-	0,02	0,03	0,02
	30		5,71	3,85	4,31
	60		14,70	10,30	9,30
	120		27,10	20,00	20,70
	0	+	0,02	0,02	0,03
	30		5,10	3,67	3,28
	60		9,70	9,60	8,26
	120		22,10	17,20	21,10
TE	0	-	0,02	0,02	0,02
	30		4,68	3,38	3,58
	60		12,40	11,20	10,70
	120		24,20	24,40	19,50
	0	+	0,02	0,02	0,02
	30		3,83	3,86	2,92
	60		8,74	8,70	7,16
	120		20,80	17,80	18,30