

# TEOR DE NUTRIENTES EM MUDAS DE CEDRO (*Cedrela fissilis* Vell.) SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE NÍQUEL, EM SOLUÇÃO NUTRITIVA<sup>1</sup>

Haroldo Nogueira de Paiva<sup>2</sup>, Janice Guedes de Carvalho<sup>3</sup> e José Oswaldo Siqueira<sup>3</sup>

**RESUMO** - O efeito da aplicação de níquel sobre o teor de nutrientes na raiz, no caule e nas folhas de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) foi estudado em um experimento realizado em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. As mudas foram cultivadas em solução nutritiva de Clark e submetidas a doses crescentes de Ni: 0, 42, 84, 169 e 252  $\mu\text{mol}$ . O experimento foi conduzido em delineamento estatístico de blocos ao acaso, e após 60 dias de exposição ao metal pesado foram feitas avaliações do teor de macro e de micronutrientes na matéria seca de raiz, caule e folha. Os resultados mostraram que a aplicação de níquel aumentou o teor de P, praticamente não afetou o teor de K e de S, no entanto reduziu o teor de Ca e de Mg. Os teores de Cu, Fe e Mn, de modo geral, sofreram redução, ao passo que o teor de Zn foi pouco afetado. O teor de Ni, na matéria seca de raiz, caule e folha, elevou-se com o aumento das doses deste metal pesado, que mostrou ser móvel nas plantas analisadas.

**Palavras-chave:** Espécie florestal nativa, metal pesado, nutrição de plantas e toxidez.

## ***NUTRIENT CONTENT IN CEDRO (*Cedrela fissilis* Vell.) SEEDLINGS SUBMITTED TO INCREASING LEVELS OF NICKEL IN NUTRIENT SOLUTION***

**ABSTRACT** - The effect of nickel application on the nutrient content in the root, stem and leaves of cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) seedlings was studied in an experiment conducted in a greenhouse of the Soil Science Department of the Federal University of Lavras. The seedlings had been cultivated in a Clark nutrient solution and submitted to increasing levels of Ni: 0, 42, 84, 169 and 252  $\mu\text{mol}$ . The experiment was arranged in a randomized block design. After 60 days of exposure to the heavy metal, evaluations of macro and micronutrient content in the root, stem and leaf dry matter were carried out. The results showed that nickel application increased the P content, practically did not affect the K and S contents but reduced the Ca and Mg contents. The Cu, Fe and Mn contents had an overall reduction, while Zn content was little affected. The nickel content in the root, stem and leaf dry matter increased with the increase of nickel doses.

**Key words:** native forest species, heavy metal, plant nutrition, toxicity.

### **1. INTRODUÇÃO**

O níquel é um elemento que pode afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Marschner, 1995), tanto que Brown et al. (1987a) propuseram considerá-lo

como essencial. Dentre os aspectos positivos do níquel para a planta destacam-se a participação na estrutura e no funcionamento da enzima urease (Brown et al., 1987b); a influência no complexo enzimático hidrogenase, que aumenta a eficiência da fixação de nitrogênio por

---

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 19.6.2000.

Aceito para publicação em 20.6.2002.

Parte da tese apresentada à Universidade Federal de Lavras pelo primeiro autor.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa - UFV, 36571-000 Viçosa-MG, <hnpaiva@mail.ufv.br>. <sup>3</sup> Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - UFLA, 37200-000 Lavras-MG.

leguminosas (Klucas et al., 1983); e a participação na síntese de fitoalexinas, que melhora a resistência das plantas às doenças (Walker et al., 1985). No entanto, quando em níveis elevados provoca diversos distúrbios nas plantas.

Diversos são os efeitos tóxicos do excesso de níquel, podendo-se citar: aumento do conteúdo de pectina em raízes de aveia (Crooke, 1956); diminuição na concentração de clorofila em folhas de café (Pavan & Bingham, 1982) e de milho (Baccouch et al., 1998); diminuição da atividade da enzima fosfoenolpiruvato (PEP) carboxilase (Morgutti et al., 1984); aumento da atividade da enzima peroxidase e distúrbios mitóticos nas pontas das raízes de algumas plantas (Mishra & Kar, 1974); interferência na absorção de nutrientes (Crooke & Inkson, 1955; Yang et al., 1996; Palacios et al., 1998) etc.

As plantas que crescem em ambientes (solos ou solução nutritiva) contaminados com Ni apresentam uma série de distúrbios nutricionais, sendo muitas vezes os sintomas de toxidez de Ni confundidos com deficiência ou toxidez de elementos essenciais. Kabata-Pendias & Pendias (1984) preconizaram que teores de Ni superiores a 100 mg/dm<sup>3</sup> de solo são potencialmente fitotóxicos. O efeito do Ni na absorção de Zn, Cu, Fe e Mn difere muito com a espécie. Para plantas de *Brassica oleracea* que crescem em solução nutritiva com a aplicação de 60 µmol Ni, a absorção de Cu, Fe e Mn foi 60, 30 e 80% da apresentada pelo tratamento-controle, respectivamente. A absorção de Zn diminuiu 80% e a de Cu diminuiu 60%, em relação ao controle, em plantas de *Trifolium repens* crescendo com 60 µmol Ni. Entretanto, as plantas de *Lolium perenne* e *Zea mays* que cresceram com 120 µmol Ni não diminuíram a absorção de Zn, Fe e Mn e nem a absorção de Cu em *Lolium perenne*. A absorção de Mg diminuiu para cerca de 70% do controle em *Brassica oleracea* e *Trifolium repens*, mas não foi afetada em *Zea mays* e *Lolium perenne* cultivadas com 60 µmol Ni. A absorção de Ca foi inibida em *Lolium perenne* cultivada em concentrações de Ni inferiores a 60 µmol Ni. A redução na absorção de Ca e Mg é mais pronunciada com o aumento das doses de Ni, para todas as espécies. Entretanto, a absorção de P e de S aumentou em *Zea mays* e *Lolium perenne* com a crescente concentração de Ni (Yang et al., 1996).

A interferência da aplicação de Ni sobre a nutrição das plantas faz-se de modo diferenciado com o nutriente e com a espécie vegetal, podendo apresentar efeitos antagônicos, sinérgicos e independentes, ou ainda ser neutros. Em termos de tolerância ao excesso de Ni,

pode-se dizer que as espécies apresentam comportamento distinto, devendo ser ressaltado que algumas conseguem sobreviver e desenvolver-se em ambientes contaminados, ao passo que outras apresentam alta sensibilidade, não suportando as condições adversas, e então morrem. O cedro é uma espécie que apresentou boa tolerância quando submetido a ambientes multicontaminados, sendo, portanto, considerado promissor para fitorremediação de ambientes contaminados por metais pesados (Marques, 1996). No entanto, estudos precisam ser feitos no sentido de verificar até que teor máximo de Ni o cedro tolera, e quais as conseqüências de um ambiente contaminado sobre a nutrição mineral desta espécie.

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da aplicação de doses crescentes de níquel, em solução nutritiva, sobre o teor de macro e de micronutrientes em mudas de cedro.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA, utilizando-se mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) produzidas em substrato que continha areia lavada. Quando as mudas apresentavam altura média de 5 cm ou dois pares de folhas definitivas, elas foram repicadas para bandejas plásticas com capacidade de 35 l, contendo solução nutritiva de Clark (Clark, 1975).

A concentração de todos os nutrientes foi reduzida a 20% (para evitar problema de excesso de sais em plantas muito jovens), com aeração constante, tendo assim permanecido por 15 dias, quando a solução foi substituída e a concentração de todos os nutrientes foi elevada para 30% da normal. Ao final de 15 dias, as mudas foram individualizadas em vasos plásticos, com capacidade de 900 ml, contendo solução nutritiva a 50%, que foi trocada a cada dez dias. Após 20 dias empregou-se solução normal, e decorridos mais dez dias adicionaram-se os tratamentos, ajustando o pH para 5,5.

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e cinco repetições, sendo cada repetição representada por um vaso com uma planta, perfazendo assim um total de 25 plantas.

Os tratamentos consistiram na aplicação de doses crescentes de níquel: 0, 42, 84, 169 e 252 µmol, usando como fonte o nitrato de níquel (Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O). Na preparação de todas as soluções-estoque dos nutrientes

e do níquel, empregaram-se reagentes p.a. A solução nutritiva foi preparada com água deionizada, e durante o intervalo de renovação da solução o volume dos vasos foi completado, sempre que necessário, utilizando também água deionizada.

As plantas foram mantidas por 60 dias em exposição (sob cultivo) ao metal pesado, com renovação da solução nutritiva a cada dez dias, mantendo-se o pH em 5,5 pela adição de NaOH ou HCl 0,1M. Após esse período procedeu-se à colheita das plantas, separando-as em raiz, caule e folhas.

As raízes, o caule e as folhas foram, então, lavadas em água destilada, postas a secar em estufa com circulação de ar a 65 °C, até peso constante. Determinou-se em balança de precisão (0,01 g) o peso de matéria seca, que, em seguida, foi moída em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 0,38 mm, para ser analisada quimicamente.

Após a digestão nítrico-perclórica, os teores de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn e Ni na raiz, no caule e nas folhas foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Os teores de P foram determinados por colorimetria, os teores de S por turbidimetria e os de K por fotometria de chama (Malavolta et al., 1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as equações de regressão foram ajustadas através do programa estatístico SISVAR.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações de regressão ajustadas para os teores de macronutrientes na raiz, no caule e nas folhas das mudas de cedro, em função das doses de níquel aplicadas em solução nutritiva, mostram que esta aplicação afeta tais teores de forma diferenciada com a parte da planta e com o nutriente (Quadro 1).

A presença de níquel em solução nutritiva induziu ao aumento no teor de P na raiz, no caule e nas folhas. Na raiz, o teor de P aumentou linearmente com a aplicação de Ni, de onde pode-se concluir que a aplicação de 42 µ Ni (a menor dose aplicada) proporcionou aumento de 18% no teor de P, ao passo que a aplicação de 252 µmol Ni (a maior dose aplicada) proporcionou aumento de 108% neste conteúdo, em relação ao tratamento-controle. Este aumento no teor radicular de P deve-se, provavelmente, ao efeito de concentração, pois houve redução no crescimento das plantas (Paiva et al., 2000),

ou ao fato de a presença de níquel poder provocar a precipitação de P na raiz, formando fosfato de níquel (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). No caule, a exemplo da raiz, o teor de P foi crescente com as doses de Ni, sendo estimado um aumento de 21 e 126%, em relação ao tratamento-controle, com a aplicação da menor dose (42 µmol) e da maior dose (252 µmol) de níquel, respectivamente. Na folha, o teor de P apresentou resposta quadrática negativa, tendo este teor alcançado o máximo quando da aplicação de 206,2 µmol Ni, o que corresponde a um aumento de 56,7%, em relação ao tratamento-controle. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Yang et al. (1996), quando trabalharam com *Zea mays* e *Lolium perenne*, no entanto discordam dos obtidos por Palacios et al. (1998), trabalhando com plantas de tomate; por Crooke & Inkson (1955), com plantas de aveia; e por Machlackova e Zmrhal (1984), com segmentos de raiz de *Zea mays*. Segundo Kabata-Pendias & Pendias (1984), para muitas espécies a presença de Ni provoca antagonismo sobre a absorção de P, embora no presente caso isto não tenha ocorrido, o que mostra que a resposta à presença de Ni é variável entre as espécies.

O teor de K praticamente não foi afetado pela presença de níquel. Assim, na matéria seca de raiz e de folhas

**Quadro 1** – Equações de regressão para os teores de macronutrientes na raiz, no caule e nas folhas de mudas de cedro, em resposta a doses crescentes de níquel

**Table 1** – Regression equations of macronutrients content in the root, stem and leaves of cedro seedlings, in response to increasing levels of nickel

Nutriente	Parte da Planta	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
P	Raiz	$\hat{Y} = 1,4 + 0,0060^{**} X$	0,95
	Caule	$\hat{Y} = 0,7 + 0,0035^{**} X$	0,89
	Folha	$\hat{Y} = 1,2 + 0,0066^{**} X - 0,000016^{**} X^2$	0,90
K	Raiz	$\hat{Y} = 19,6$	0,86
	Caule	$\hat{Y} = 22,9 - 0,0337^{**} X + 0,000288^{**} X^2$	
	Folha	$\hat{Y} = 35,2$	
S	Raiz	$\hat{Y} = 2,6 - 0,0127^{**} X + 0,000029^{**} X^2$	0,86
	Caule	$\hat{Y} = 0,8$	
	Folha	$\hat{Y} = 1,3$	
Ca	Raiz	$\hat{Y} = 9,1 - 0,0342^{**} X + 0,000089^{**} X^2$	0,89
	Caule	$\hat{Y} = 11,4 - 0,0401^{**} X + 0,000130^{**} X^2$	
	Folha	$\hat{Y} = 12,2$	
Mg	Raiz	$\hat{Y} = 6,5 - 0,0450^{**} X + 0,000116^{**} X^2$	0,97
	Caule	$\hat{Y} = 3,3 - 0,0125^{**} X + 0,000049^{**} X^2$	
	Folha	$\hat{Y} = 3,0$	

\*\* significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

não houve efeito significativo do Ni sobre o teor de K, ao passo que na matéria seca de caule a resposta foi quadrática positiva, com redução deste teor até a dose de 58,5  $\mu\text{mol Ni}$ , quando esta redução alcançou apenas 4,3% em relação ao tratamento-controle. A presença de metais pesados, a exemplo do níquel, proporciona resultados contraditórios em termos de absorção de K, quando as espécies são comparadas. Assim, Palacios et al. (1998) verificaram que o Ni aumentava a absorção de K por plantas de tomate, enquanto Crooke e Inkson (1955) verificaram que esta absorção, por aveia, era inibida pela presença de Ni. Estes resultados evidenciam que a presença de Ni pode apresentar efeitos antagônicos, sinérgicos ou neutros sobre a absorção de K.

A resposta de mudas de cedro mostrou que na matéria seca de raiz houve redução no teor de S até a dose 219  $\mu\text{M Ni}$ , quando houve redução de 53,5% no teor desse nutriente, em relação ao tratamento-controle, devendo ser ressaltado que a partir desta dose houve aumento neste teor. Na matéria seca de caule e de folhas não houve efeito significativo da presença de Ni sobre o teor de S. Kabata-Pendias & Pendias (1984) preconizam que a presença de Ni não afeta a taxa de absorção de S, não exercendo qualquer efeito, nem antagonismo, nem sinergismo. Entretanto, Yang et al. (1996) verificaram que o teor de S, em plantas de *Zea mays* e *Lolium perenne*, aumentou com a crescente concentração de Ni.

O comportamento do teor de Ca e de Mg foi semelhante entre as partes das mudas de cedro. Assim, na matéria seca de raiz e de caule a resposta foi quadrática positiva, ao passo que na matéria seca de folhas não houve efeito significativo da presença de níquel. Para o teor de Ca, verificou-se que na matéria seca de raiz e de caule houve um ponto de mínimo quando da aplicação de 192,1 e 154,2  $\mu\text{mol Ni}$ , correspondendo à redução de 36,1 e 27,1%, respectivamente, em relação ao controle. Os resultados mostram que o teor de Mg, na raiz e no caule, alcançou um mínimo quando da aplicação de 194,0 e 127,6  $\mu\text{mol}$ , respectivamente, o que corresponde ao teor de 2,14 g/kg na raiz e 2,50 g/kg no caule. Os teores de Mg encontrados na folha estão dentro dos limites considerados normais em plantas, que são de 1 a 5 g/kg (Bergmann, 1992).

A redução no teor de Ca e de Mg na raiz pode ser devido ao efeito de inibição durante o processo de absorção, pela interação com outros íons. De acordo com Marschner (1995), cátions divalentes como o  $\text{Ni}^{+2}$  competem com outros cátions como o  $\text{Ca}^{+2}$  e o  $\text{Mg}^{+2}$ , o que,

segundo Kabata-Pendias & Pendias (1984), muitas vezes é caracterizado como antagonismo. No entanto os resultados, em termos de efeito da presença de Ni sobre a absorção de Ca e de Mg, têm sido contraditórios. Yang et al. (1996) concluíram que a presença de Ni reduzia a absorção de Ca e de Mg em várias espécies de plantas, o que ocorreu no presente trabalho com mudas de cedro, entretanto, em aveia, Crooke & Inkson (1955) concluíram que o Ni reduzia a absorção de Mg, mas aumentava a absorção de Ca.

O teor de micronutrientes e de níquel foi afetado de forma significativa pelas doses do metal pesado aplicado. No Quadro 2 estão as equações de regressão ajustadas.

Na raiz das mudas de cedro, o teor de cobre aumentou significativamente com a aplicação de doses crescentes de Ni. Na matéria seca de caule e de folha, a resposta foi quadrática positiva, apresentando um ponto de mínimo nas doses de 82,5 e 89,6  $\mu\text{mol Ni}$ , respectivamente. Kabata-Pendias & Pendias (1984) afirmaram que a presença de Ni provoca interação com a absorção de Cu, podendo ser antagônica em algumas espécies e sinérgica em outras; no presente caso a interação foi sinérgica.

**Quadro 2** – Equações de regressão para os teores de micronutrientes e de níquel na raiz, no caule e nas folhas de mudas de cedro, em resposta a doses crescentes de níquel

**Table 2** – Regression equations of micronutrients and nickel content in the root, stem and leaves of the cedro seedlings, in response to increasing levels of nickel

Nutriente	Parte da Planta	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
Cu	Raiz	$\hat{Y} = 32,5 + 0,0786^{**} X$	0,79
	Caule	$\hat{Y} = 3,5 - 0,0208^{**} X + 0,000126^{**} X^2$	0,86
	Folha	$\hat{Y} = 3,7 - 0,0396^{**} X + 0,000221^{**} X^2$	0,93
Fe	Raiz	$\hat{Y} = 1754 + 19,31^{**} X$	0,97
	Caule	$\hat{Y} = 76 - 0,5364^{**} X + 0,002089^{**} X^2$	0,97
	Folha	$\hat{Y} = 124 - 0,7322^{**} X + 0,003734^{**} X^2$	0,97
Mn	Raiz	$\hat{Y} = 668 - 5,1855^{**} X + 0,014618^{**} X^2$	0,94
	Caule	$\hat{Y} = 59 - 0,0909^{**} X$	0,79
	Folha	$\hat{Y} = 45,5$	
Zn	Raiz	$\hat{Y} = 364 - 2,2487^{**} X + 0,005616^{**} X^2$	0,98
	Caule	$\hat{Y} = 33,8$	
	Folha	$\hat{Y} = 40,1$	
Ni	Raiz	$\hat{Y} = 294 + 22,81^{**} X - 0,050153^{**} X^2$	0,89
	Caule	$\hat{Y} = 13 + 1,7467^{**} X$	0,99
	Folha	$\hat{Y} = 1,6 + 3,3382^{**} X - 0,008834^{**} X^2$	0,99

\*\* significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Por outro lado, Yang et al. (1996) verificaram que plantas de *Trifolium repens* e *Brassica oleracea* apresentaram redução na absorção de Cu, na presença de Ni, enquanto plantas de *Lolium perenne* não tiveram a absorção de Cu afetada pelo Ni. Em plantas de tomate, Palacios et al. (1998) verificaram que a presença de Ni diminuiu significativamente a absorção de Cu.

O teor de Fe na raiz de mudas de cedro aumentou, de forma linear, com as doses de Ni. Este elemento aparentemente interfere na absorção de Fe, aumentando-a, no entanto inibe o seu metabolismo (Agarwala et al., 1977), daí o aparecimento do sintoma de deficiência induzida de Fe. No caule e nas folhas das mudas de cedro, o teor de Fe apresentou resposta quadrática positiva, caindo até a dose 128,4 e 98,0  $\mu\text{mol Ni}$ , respectivamente, e aumentando em doses maiores, o que indica que, até determinada dose do metal, há restrição do transporte de Fe da raiz para a parte aérea. Este efeito foi observado em várias espécies de plantas (Yang et al., 1996), embora em plantas de tomate tenha ocorrido redução na absorção de Fe, quando a dose de Ni na solução nutritiva variou de 0 a 510  $\mu\text{mol Ni}$  (Palacios et al., 1998).

As mudas de cedro apresentaram resposta quadrática positiva à aplicação de Ni sobre o teor de Mn na raiz, atingindo um teor mínimo de 208 mg/kg, o que representa redução de 68,9% em relação ao tratamento-controle, quando da aplicação de 177,4  $\mu\text{mol Ni}$ , indicando haver antagonismo entre Mn e o Ni (Kabata-Pendias e Pendias, 1984). Este aspecto também foi observado em várias outras espécies de plantas (Yang et al., 1996). O teor caulinar de Mn sofreu redução linear com a aplicação de doses crescentes de Ni. Na matéria seca de folhas não houve efeito significativo do Ni sobre o teor de Mn. Em plantas de tomate, o Mn foi o cátion divalente que sofreu a maior restrição, em termos de absorção, quando da presença de Ni (Palacios et al., 1998).

A aplicação de Ni fez com que o teor radicular de Zn tivesse resposta quadrática positiva, o que indica haver antagonismo até a dose 200,2  $\mu\text{mol Ni}$ , caracterizando o antagonismo preconizado por Kabata-Pendias & Pendias (1984). Em *Trifolium repens* a absorção de Zn diminuiu 80%, em relação ao controle, com a aplicação de 60  $\mu\text{mol Ni}$ , em solução nutritiva, entretanto plantas de *Lolium perenne* e *Zea mays*, crescendo com 120  $\mu\text{mol Ni}$ , não diminuíram a absorção de Zn (Yang et al., 1996). A redução no teor radicular de Zn, em plantas submetidas a doses crescentes de Ni, foi observada também em tomate

(Palacios et al., 1998). O teor de Zn na matéria seca de caule e de folhas de mudas de cedro não foram afetadas significativamente pelas doses crescentes de Ni.

O incremento nas doses de Ni, em solução nutritiva, induziu ao aumento no teor deste metal na raiz, no caule e nas folhas das mudas. O teor de Ni na raiz e nas folhas apresentou resposta quadrática negativa, tendo sido observada resposta linear positiva para o teor de Ni no caule. Na raiz das mudas de cedro o teor máximo foi 2.887,5 mg/kg, na dose 227,4  $\mu\text{mol Ni}$ , o que significa aumento de até 882% em relação ao tratamento-controle. Já para as folhas ocorreu um teor máximo de 313,7 mg/kg, na dose 188,9  $\mu\text{mol Ni}$ .

A elevação nos teores de Ni no caule e nas folhas mostra que este elemento é muito móvel na planta (Mishra & Kar, 1974), enquanto o aumento no teor, independentemente da parte da planta analisada, mostra que o Ni é absorvido proporcionalmente à sua concentração no meio de crescimento. O teor alcançado na raiz, no caule e nas folhas é muito superior ao teor considerado tóxico para plantas, podendo ser a explicação para o elevado grau de toxicidade deste metal. Valores na faixa de 10 a 100 mg/kg de matéria seca geralmente são tóxicos para muitas plantas (Kabata-Pendias e Pendias, 1984), ao passo que Adriano (1986) diz que, em geral, a toxidez de Ni se expressa quando a sua concentração na matéria seca das plantas for maior que 50 mg/kg, com exceção das espécies acumuladoras e hiperacumuladoras.

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com as mudas de cedro permitem concluir que:

- o teor de P aumenta, o de K e de S praticamente não é afetado, ao passo que o teor de Ca e de Mg é reduzido com a aplicação de Ni, em solução nutritiva;
- o teor de Fe, Cu e Mn, de modo geral, é reduzido pelas doses de Ni aplicadas, e o teor de Zn praticamente não é afetado;
- o teor de Ni na matéria seca das mudas de cedro, independentemente da parte da planta analisada, cresce com o aumento da dose deste metal na solução nutritiva, chegando a teores superiores ao considerado tóxico para a maioria das plantas; e
- o níquel é um elemento móvel nas mudas de cedro.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag, 1986. 533 p.
- 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**, v. 55, n. 10, p. 1299-1307, 1977.
- BACCOUCH, S.; CHAOUI, A.; EL FERJANI, E. Nickel toxicity: effects on growth and metabolism of maize. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, n. 3, p. 577-588, 1998.
- BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants: developments, visual and analytical diagnosis**. New York: Gustav Fischer Verlag Jena, 1992. 741 p.
- BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiology**, v. 85, p. 801-803, 1987a.
- BROWN, P. H. et al. Beneficial effects of nickel on plant growth. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, n. 9-16, p. 2125-2135, 1987b.
- CLARK, R. B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 23, n. 3, p. 458-460, 1975.
- CROOKE, W. M. Effect of soil reaction on uptake of nickel from a serpentine soil. **Soil Science**, v. 81, n. 4, p. 269-276, 1956.
- CROOKE, W. M.; INKSON, R. H. E. Relation between nickel toxicity and major nutrient supply. **Plant and Soil**, v. 49, n. 1, p. 1-15, 1955.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315 p.
- KLUCAS, R. V. et al. Nickel, a micronutrient for hydrogen dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. **Proceedings of the National Academy of Sciences of USA**, v. 80, p. 2253-2257, 1983.
- MACHLACKOVA, I.; ZMRHAL, Z. The effect of some micronutrients and heavy metals on phosphate absorption by maize root cortex segments. **Biologia Plantarum**, v. 26, n. 3, p. 161-165, 1984.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MARQUES, T. C. L. L. S. M. **Crescimento e absorção mineral de mudas de espécies arbóreas em material de solo contaminado com metais pesados**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1996. 116 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, 1996.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MISHRA, D.; KAR, M. Nickel in plant growth and metabolism. **The Botanical Review**, v. 40, n. 4, p. 395-449, 1974.
- MORGUTTI, S.; SACCHI, G. A.; COCUCCI, S. M. Effects of Ni<sup>2+</sup> on proton extrusion, dark CO<sub>2</sub> fixation and malate synthesis in maize roots. **Physiologia Plantarum**, v. 60, n. 1, p. 70-74, 1984.
- PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G.; SIQUEIRA, J. O. Efeito de doses de Cd, Ni, Pb e Zn sobre o crescimento de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.), em solução nutritiva. **Revista Árvore**, v. 24, n. 4, p. 369-378, 2000.
- PALACIOS, G. et al. Effect of nickel concentration on tomato plant nutrition and dry matter yield. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, n. 10, p. 2179-2191, 1998.
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxicidade de metais pesados em plantas: II. Caracterização da toxicidade de níquel em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 2, p. 323-328, 1982.
- WALKER, C. D. et al. Effects of nickel deficiency on some nitrogen metabolites in cowpeas (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Plant Physiology**, v. 79, n. 2, p. 474-479, 1985.
- YANG, X. et al. Plant tolerance to nickel toxicity: II. Nickel effects on influx and transport of mineral nutrients in four plant species. **Journal of Plant Nutrition**, v. 19, n. 2, p. 265-279, 1996.