

# MICRONUTRIENTES EM *PINUS CARIBAEA* MORELET

## III. NÍVEIS INTERNOS DE Fe, Mn e Zn SOB SUFICIÊNCIA E SOB OMISSÃO<sup>1</sup>

HERMINIA E.P. MARTINEZ<sup>2</sup>,† HENRIQUE PAULO HAAG<sup>3</sup> e MÁRIO L.T. MORAES<sup>4</sup>

**RESUMO** - Mudanças de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea* foram conduzidas em vasos contendo sílica lavada, em casa de vegetação do Departamento de Química da ESALQ. As plantas eram irrigadas duas vezes ao dia com soluções nutritivas completas, sem Fe, sem Mn e sem Zn. Após estabelecerem-se sintomas de carência as plantas foram colhidas, separadas em partes, secadas a 75 °C, pesadas, moídas e analisadas quanto às concentrações desses micronutrientes. Obtiveram-se os níveis internos médios de Fe, Mn e Zn em acúsculas superiores e inferiores sob tratamento completo e sob omissão, para as três variedades de *P. caribaea* em estudo. Sob deficiência, *P. caribaea* var. *bahamensis* foi a variedade mais eficiente no uso do Fe; *P. caribaea* var. *caribaea* foi a mais eficiente no uso do Cu e a menos no uso do Mn, sendo *P. caribaea* var. *hondurensis* a menos eficiente no uso do Fe. As três variedades de *P. caribaea* usadas tiveram exigência particularmente baixa em Zn.

Termos para indexação: deficiências minerais, solução nutritiva, sílica lavada.

### MICRONUTRIENTS IN *PINUS CARIBAEA* MORELET

#### III. CORRESPONDING, Fe, Mn AND Zn SUFFICIENCY AND DEFICIENCY INTERNAL LEVELS

**ABSTRACT** - A pot experiment was conducted in a green house, in Piracicaba, SP, Brazil, in order to determine the effects of Fe, Mn and Zn omission on growth, the corresponding internal levels and the efficiency of micronutrients use for young plants of *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* and *P. caribaea* var. *caribaea*. The following nutritional treatments were used: complete, without Fe, without Mn and without Zn. Washed sand was used as a substrate, being the plants watered twice a day with the corresponding nutrient solution. After the deficiency symptoms establishment, the plants were cut and separated in parts, dried at 75°C, weighed, ground and analysed for Fe, Mn and Zn concentrations. Upper and lower needles internal levels of these micronutrients were obtained. Under deficiency *P. caribaea* var. *bahamensis* was the most efficient variety in Fe use; *P. caribaea* var. *caribaea* was the most efficient variety in Cu use, and the least in Mn use; *P. caribaea* var. *hondurensis* was the least efficient variety in Fe use. All the caribbean pine varieties used had very low need of Zn.

Index terms: *Pinus caribaea*, nutritional deficiency, nutrient solution, washed sand.

## INTRODUÇÃO

Em trabalho anterior, os autores estudaram o efeito da omissão de micronutrientes sobre o crescimento, produção de matéria seca e de sintomas visuais de carência em três variedades de

*P. caribaea* Morelet. Um diagnóstico mais preciso requer, entretanto, além da sintomatologia, o estabelecimento de níveis nutricionais relacionados com a suficiência ou insuficiência de determinado nutriente, uma vez que a concentração interna geralmente correlaciona-se melhor com o crescimento e a resposta das plantas aos níveis nutricionais do solo (Comerford 1981).

A escassez de trabalhos relacionados à deficiência de micronutrientes em *Pinus caribaea* Morelet é generalizada, sendo ainda maior quando se trata do Fe, já que em condições de campo não há referências à sua deficiência em plantas desse gênero, que são normalmente es-

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 29 de janeiro de 1992

<sup>2</sup> D.Sc., Pós-Doutoranda, Dep. Solos, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Av. P.H. Rolfs s/n, CEP 36570 Viçosa, MG.

<sup>3</sup> D.Sc., Prof.-Titular, Dep. Química, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, CEP 13400 Piracicaba, SP.

<sup>4</sup> D.Sc., Prof.-Assistente, FEIS/UNESP, Av. Brasil 56, CEP 15378 Ilha Solteira, SP.

tabeledidas em terrenos ácidos, onde o teor desse micronutriente não é limitante. Em solução nutritiva, entretanto, mudas de *Pinus* têm-se mostrado bastante exigentes em Fe (TVA National Fertilizer Development Center at Muscle Shoals 1970). Em experimento com *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis*, *P. caribaea* var. *caribaea* Martinez et al. (1985) e Martinez et al. (1986) necessitaram empregar o dobro da concentração de Fe recomendada por Hoagland & Arnon (1950) para garantir o bom desenvolvimento das plântulas.

Vidal et al. (1984), no Chile, observaram variações anuais no teor de Fe da matéria seca de acículas de plantas sadias de *P. radiata* de seis anos de idade, entre 60 e 170 ppm. Acículas de *P. banksiana* Lamb. de 30 a 33 anos de idade, com um a três anos de desenvolvimento e coletadas em diferentes posições na copa, foram analisadas por Morrison (1972), no norte de Ontário, no Canadá. Nessas condições, os teores na matéria seca variaram de 45 ppm a 177 ppm de Fe. As concentrações aumentaram com a idade das acículas, decrescendo do topo para a base das plantas. Quanto a plantas adultas de *P. caribaea* var. *hondurensis*, Van Goor (1965/66) encontrou teores variando de 71 a 393 ppm de Fe na matéria seca de acículas coletadas em oito localidades diferentes no estado de São Paulo. Em outras nove localidades desse mesmo estado, o autor comparou os teores de Fe presentes na matéria seca de acículas de *P. elliotii*, *P. patula*, *P. khasya* e *P. caribaea* var. *hondurensis*, e não verificou diferenças entre eles.

Ingstad (1960) e Lachica et al. (1979) trabalharam com plantas jovens. O primeiro usou plântulas de *Pinus silvestris* L., submetendo-as a 0, 0,02, 0,2 e 1,0 ppm de Fe em solução nutritiva, obtendo, respectivamente, teores de 40, 100 e 140 ppm do elemento na matéria seca de acículas e de 700, 110, 700 e 3.200 ppm de raízes. Teores aciculares de 40 ppm de Fe relacionaram-se à deficiência incipiente do elemento, enquanto que 50 ppm corresponderam a 90% do crescimento máximo. Teores maiores que 70 ppm na matéria das acículas foram considerados suficientes para o máximo desenvolvimento. Lachica et al. (1979) apresentaram 10 a 200

ppm de Fe na matéria seca de acículas, como faixa ótima para plantas de *P. radiata* de quatro a cinco meses de idade em fase de viveiro.

Quanto ao Mn, além do número reduzido de trabalhos sobre os efeitos de sua carência em plantas de *Pinus*, tem-se como complicador o fato de as variações em seus níveis internos serem elevadas, reduzindo a precisão da análise foliar como método de diagnóstico do estado nutricional quanto a este elemento e exigindo maior refinamento nas amostragens e interpretação de resultados de análise (Knight 1978). A zona de suficiência de Mn estabelecida por De Lanuza (1966), citado por Cameron et al. (1982), por exemplo, está entre 40 e 700 ppm, e a região crítica, entre 12 e 40 ppm.

Raupach et al. (1972) observaram anormalidades no crescimento de plantas adultas de *P. radiata* em florestas próximas a Mount Gambier, no Sul da Austrália, relacionando-as com teores aciculares baixos de Zn, Mn e Cu. Árvores moderada severamente distorcidas, que apresentavam, além das distorções, outros sintomas de carência mineral, apresentaram teores de Mn significativamente menores (22,3 a 29,4 ppm) que as testemunhas normais (36,3 a 59,8 ppm). Um teor de 60 ppm foi considerado como teor médio necessário para garantir bom desenvolvimento. Concordando com estes resultados, Raupach et al. (1978) relacionaram a carência de Mn a teores aciculares inferiores a 36 ppm do elemento. Para tanto, coletaram amostras de plantas de *P. radiata* com 9 anos de idade, com e sem sintomas de carência mineral, em 124 locais diferentes nas florestas da Clover Hill S.A., também na Austrália. Vidal et al. (1984), no Chile, encontraram teores aciculares variando de 150 a 400 ppm ao longo do ano, em plantas sadias de *P. radiata* de seis anos de idade, enquanto que Gonzalez et al. (1984) observaram, para a mesma espécie, variações entre 248 ppm e 449 ppm. Cameron et al. (1982) consideraram teores variando entre 82 ppm e 109 ppm médios na matéria seca de acículas de plantas adultas de *P. caribaea* var. *hondurensis* como normais. Da mesma forma, Van Goor (1965/1966), que encontrou teores entre 318 ppm e 501 ppm na matéria seca de acículas de *P. caribaea* var. *hon-*

*durensis* em oito localidades do estado de São Paulo.

Grande variação nos níveis internos de Mn em acículas maduras de *P. radiata* de quatro anos de idade foi observada também por Knight (1978). O autor realizou coletas periódicas durante 15 meses, em nove clones distintos não selecionados. Houve variação clonal, estacional e entre plantas no mesmo clone, o que o levou a recomendar que se use no mínimo 20 plantas/amostra para avaliar o estado nutricional quanto ao Mn. Os teores médios de Mn por clone variaram entre 256 e 361 ppm na matéria seca.

Para *P. banksiana*, Morrison (1972) encontrou teores entre 171 ppm e 528 ppm de Mn em acículas de um a três anos, coletadas em várias posições, na copa de árvores de 30 a 33 anos de idade. O teor de Mn com a idade das acículas, bem como do topo para a base da planta. O autor recomenda que se amostram acículas de 7 a 26 árvores, dependendo de sua idade e localização na copa, para obter uma variação menor que 10% entre amostras.

Em viveiro de boa qualidade, Lachica et al. (1979) obtiveram teores médios de Mn, variando entre 45,7 e 96,3 ppm na matéria seca de ápices, acículas, ramos e raízes de *P. radiata*, apresentando as acículas e as raízes concentrações mais elevadas que ápices e ramos. Tais autores estabelecem níveis aciculares entre 70 e 80 ppm como ótimos para essas condições.

De acordo com Rance & Cameron (1982), em Melvine Is, na Austrália, uma população de plantas adultas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com severas restrições no crescimento, apresentando queda prematura de acículas, menor número de acículas por pé, acículas curtas, exsudação de resina no caule, gemas múltiplas e 'dieback' da ponta, apresentou boa recuperação cinco meses após receber pulverização com Zn, especialmente nos sítios mais pobres. Três anos e meio após as aplicações, os sintomas praticamente desapareceram, e as plantas com ramagem morta desenvolveram nova guia abaixo do 'dieback'. No entanto, as concentrações do elemento na matéria seca de acículas permaneceram praticamente iguais, ou seja, 4,3 ppm antes

da pulverização e 5,6 ppm 3,5 anos mais tarde. Os autores atribuem o fato a efeito de diluição e discutem que Zn foliar não é bom indicativo do estado nutricional quanto a esse mineral. Em trabalho posterior, Cameron et al. (1982) avaliaram o efeito de aplicações de N, P, K, e, micronutrientes combinados com Ca e S, no crescimento de plantas dessa mesma espécie e variedade, em Melvine Is e Humpt-Doo. As adubações foram feitas, 1, 11, 12, 22 e 34 meses, sendo avaliadas aos 4,5; 12; 17; 23; 28 e 41 meses após o plantio. O tratamento que forneceu a melhor resposta em termos de saúde e crescimento das árvores que continham micronutrientes, tendo sido Zn, S e Cu os elementos mais importantes nessa resposta. A análise de acículas completamente expandidas 17 e 41 meses após o plantio em Three Ways, revelou aumentos de 4,8 para 10,2 ppm e, de 7,5 para 13,4 ppm de Zn nas plantas que o receberam. Em Humpt-Doo análises realizadas 28 e 41 meses após o plantio revelaram aumentos de 6,2 para 10,6 ppm e, de 8,8 para 15,1 ppm de Zn.

Van Goor (1965/66) encontrou teores de Zn variando entre 14 e 37 ppm na matéria seca de acículas de plantas adultas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em doze amostras, coletadas em oito localidades diferentes do estado de São Paulo. Teores entre 14 e 18 ppm, observados em duas localidades, foram considerados baixos pelo autor. Bevege (1978), citado por Cameron et al. (1982), indica 21 ppm na matéria seca de acículas como limite mínimo de Zn para *Pinus caribaea*.

Para plantas de *P. radiata* em fase de viveiro, adequadamente nutridas, McGrath & Robson (1984a) encontraram 23,9 ppm de Zn em acículas primárias apicais, 13,3 ppm em ramos, 14,0 ppm na parte aérea como um todo, e 19,0 ppm nas raízes. Plantas mal nutridas apresentavam respectivamente 4,7, 6,2, 7,6 e 15, 8 ppm de Zn. Lachica et al. (1979) indicam teores entre 40 e 45 ppm na matéria seca de acículas, como faixa adequada para um desenvolvimento ótimo dessa espécie na fase de muda.

Com base na escassez de trabalhos e na variabilidade das informações disponíveis quanto à nutrição de pinheiros tropicais com micronu-

trientes, pretendeu-se, através do presente trabalho, obter os níveis analíticos correspondentes à suficiência e insuficiência de Fe, Mn e Zn em plantas jovens de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barr & Golf, *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis* Barr & Golf e *Pinus caribaea* var. *caribaea* Morelet, bem como sua eficiência comparada na utilização desses nutrientes.

## MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Química da E.S.A. "Luiz de Queiroz" - USP, em Piracicaba, SP, empregando-se vasos de polietileno de 1.5 l de capacidade, munidos de drenos laterais, contendo sílica finamente moída, previamente submetida a lavagem ácida.

Testou-se o comportamento de quatro partes de três variedades de *Pinus caribaea* submetidos a tratamentos nutricionais distintos, sendo estes: completo/omissão de Fe, completo/omissão de Mn e completo/omissão de Zn. O ensaio foi realizado em delineamento experimental inteiramente casualizado e com três repetições.

Por ocasião da instalação do experimento, cada vaso recebeu uma muda de 2 a 3 cm de altura de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea*.

Tais plantas foram irrigadas duas vezes por dia com solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950), modificada quanto à concentração de Fe e diluída a 1:4, sendo o excesso drenado descartado, até seu completo pagamento. Após o pagamento, foi realizada uma irrigação com abundante quantidade de água demineralizada, encerrando-se o período pré-experimental e iniciando-se os tratamentos de omissão.

Durante o período experimental as plantas foram irrigadas duas vezes ao dia com 1 litro de solução tratamento, preparada com base na solução de Hoagland & Arnon (1950) modificada quanto à concentração de Fe e diluída 1:2, que era recoletada em frasco escuro, cujo volume era completado diariamente com água demineralizada.

As soluções completas continham 7,5 mM de N, 3 mM de K, 2,5 mM de Ca, 1,0 mM de Mg e S, 0,5 mM de P, 89,62 μM de Fe, 23,06 μM de B, 6,29 μM de Mn, 0,65 μM de Zn, 0,16 μM de Cu e 0,05 μM de Mo por litro, e as dos tratamentos de omissão concentrações idênticas, exceto quanto ao nutriente omitido.

As soluções-estoque de macronutrientes, ou seja

$\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{MgSO}_4$ , empregadas para o preparo das soluções nutritivas usadas tanto no período pré-experimental quanto no período experimental, foram purificadas usando amoníopirrolidinaditiocarbamato como complexante de metais pesados, efetuando-se sua extração com clorofórmico, conforme o descrito por Mansell & Emmel (1965).

Dezessete dias após o início dos tratamentos forneceram-se 2 ml de Fe-EDTA 89,62 mM a cada vaso sob omissão de Fe, para impedir a morte prematura das plantas.

A colheita dos tratamentos com omissão de Fe, deu-se 167 dias após seu início e a dos restantes, 47 dias mais tarde. As plantas colhidas foram divididas em acículas superiores, acículas inferiores, ramos e raízes, secadas a 75°C, pesadas e moídas.

Determinaram-se os teores (ppm) na matéria seca e a extração (μg) de Fe, Mn e Zn nas amostras referentes às plantas que receberam tratamento completo e o teor na matéria seca e extração do elemento omitido nas amostras obtidas das demais plantas, tendo sido as análises químicas realizadas pela metodologia descrita por Sarruge & Haag (1974).

Os dados referentes aos teores de Mn foram transformados em  $\sqrt{x+1}$ , os referentes aos teores de Zn em  $\sqrt{x}$  e os referentes ao teor de Fe e extrações de Fe, Mn e Zn em  $\log(x+1)$ , submetidos a teste de normalidade (Lilliefors) e de homogeneidade das variâncias dentro de tratamentos, variedades, partes das plantas e repetições (Bartlett).

Foi realizada a análise de variância, e esquema fatorial 4 x 3 x 2, sendo a interação tripla (TxPxV) confundida com o resíduo quando não-significativa pelo teste "F" em nível de probabilidade menor ou igual a 5%. Realizaram-se em cada caso os desdobramentos pertinentes, comparando-se as médias pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ferro

Os teores médios de Fe na matéria seca de *P. caribaea* var. *hondurensis* sob tratamento completo foram de 112,3, 87,33, 50,67 e 678,00 ppm em acículas superiores, acículas inferiores, ramos e raízes. Sob omissão do nutriente esses valores caíram respectivamente para 40,00, 47,67, 26,33 e 137,33 ppm. Em *P. caribaea* var. *bahamensis*, acículas superiores apresentaram teores médios de 87,33 ppm sob suficiência e 83,00

ppm sob omissão de Fe. As inferiores apresentaram 118,00 ppm sob suficiência e 98,00 ppm sob omissão. Ramos e raízes apresentaram, nessas condições, 85,00 e 27,00 ppm e 867,33 e 332,33 ppm. *P. caribaea* var. *caribaea* apresentou 104,00, 77,33, 69,33 e 757,67 ppm de Fe, em média, na matéria seca, acículas superiores, acículas inferiores, ramos e raízes, quando sob tratamento completo. A omissão do Fe, resultou em teores médios de 77,33, 47,00, 24,67 e 388,33 ppm na matéria seca dessas mesmas partes (Tabela 1).

Como se pode observar, as concentrações aciculares variaram entre 76,33 e 118,00 ppm de Fe na matéria seca em plantas bem supridas, e entre 40,00 e 98,00 ppm em plantas inadequadamente nutridas com Fe (Tabela 1). Para *P. radiata* de quatro a cinco meses de idade, Lachica et al. (1979) indicam como adequados teores aciculares compreendidos entre 10 e 200 ppm, enquanto que Ingestad (1960) relacionou 40 ppm à deficiência incipiente do elemento, e teores maiores que 70 ppm a desenvolvimento

máximo em mudas de *P. sylvestris* submetidas a doses crescentes de Fe. Van Goor (1965/66), por sua vez, não observou diferenças interestespecíficas no teor de Fe da matéria seca de acículas de plantas adultas de *P. elliottii*, *P. khasya*, *P. patula* e *P. caribaea* var. *hondurensis*. Teores aciculares da mesma magnitude que os obtidos no presente trabalho foram observados em plantas adultas de *P. radiata* (Vidal et al. 1984, Gonzalez et al. 1984) e *P. banksiana* (Morrison 1972).

Tanto sob tratamento completo quanto sob omissão, as raízes foram o órgão que apresentou maior concentração e maior extração de Fe. A concentração radicular média variou entre 678,00 e 867,33 ppm sob suficiência, e entre 137,33 e 388,33 ppm sob insuficiência do nutriente (Tabela 1). A extração radicular média, por sua vez, variou entre 3093,13 e 4386,23 µg em suprimento adequado, e entre 454,67 e 1275,17 µg sob omissão de Fe (Tabela 2). A esse respeito, Lastra et al. (1988), em trabalho sobre absorção e distribuição de Cu, Fe, Mn e Zn em

**TABELA 1.** Teores de Fe, Mn e Zn (ppm) em acículas superiores, acículas inferiores, ramos e raízes de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea* sob suficiência e sob omissão desses micronutrientes. Médias de três repetições. (Os dados referentes aos teores de Mn foram transformados em  $\sqrt{x + 1}$ , os referentes aos teores de Zn em  $\sqrt{x}$  e, os referentes ao teor de Fe em  $\log(x + 1)$ ).

Variedade	Parte da planta	Tratamento					
		+Fe	-Fe	+Mn	-Mn	+Zn	-Zn
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Ac. Superiores	2,06(112,3) <sup>1</sup>	1,61(40,00)	4,23(17,33)	2,77(6,67)	2,51(6,33)	1,61(2,67)
	Ac. Inferiores	1,93(87,33)	1,67(47,67)	3,89(14,33)	3,36(10,33)	2,29(5,33)	2,03(4,33)
	Caulas	1,71(50,67)	1,43(26,33)	3,80(13,67)	1,82(2,33)	2,35(5,67)	1,79(3,33)
	Raízes	2,82(678,00)	2,13(137,33)	4,54(19,67)	2,07(3,33)	-	-
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Ac. Superiores	1,93(87,33)	1,92(83,00)	4,90(23,00)	2,85(7,33)	3,24(10,67)	1,24(1,67)
	Ac. Inferiores	2,06(118,00)	1,99(98,00)	4,79(22,00)	3,26(9,67)	2,64(7,00)	0,66(0,43)
	Caulas	1,93(85,00)	1,43(27,00)	4,20(16,67)	1,90(2,67)	2,38(5,67)	1,79(3,33)
	Raízes	2,94(867,33)	2,51(332,33)	4,79(22,00)	1,90(2,67)	-	-
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	Ac. Superiores	1,99(104,00)	1,87(77,33)	4,42(18,67)	3,56(11,67)	2,29(5,33)	1,14(1,33)
	Ac. Inferiores	1,88(76,33)	1,68(47,00)	4,79(22,00)	3,36(10,33)	2,07(4,33)	1,04(1,17)
	Caulas	1,83(69,33)	1,31(24,67)	4,03(15,33)	2,58(5,67)	2,23(5,00)	1,80(3,33)
	Raízes	2,87(757,67)	2,59(388,33)	4,12(16,00)	2,07(3,33)	-	-
	CV.(%)	6,47		9,86		18,38	

<sup>1</sup> Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

**TABELA 2.** Extração de Fe, Mn e Zn ( $\mu\text{g}$ ) por acúculas superiores, acúculas inferiores, ramos e raízes de *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* sob suficiência e sob omissão desses micronutrientes. Médias de três repetições. (Os dados referentes às extrações de Fe, Mn e Zn foram transformados em  $\log(x + 1)$ ).

Variedade	Parte da planta	Tratamentos					
		+Fe	-Fe	+Mn	-Mn	+Zn	-Zn
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Ac. Superiores	2,82(710,37) <sup>1</sup>	2,23(203,23)	1,99(99,43)	1,59(40,33)	1,58(42,60)	1,30(21,33)
	Ac. Inferiores	2,53(356,33)	1,98(122,67)	1,75(58,83)	1,49(31,33)	1,34(21,83)	1,38(28,67)
	Ramos	2,24(186,67)	1,61(79,67)	1,66(47,37)	0,85(6,33)	1,29(20,13)	1,30(20,50)
	Raízes	3,51(3339,60)	2,62(454,67)	1,99(101,47)	1,17(14,67)	-	-
	Total	(4592,96)	(860,24)	(307,10)	(92,67)	(84,57)	(70,50)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Ac. Superiores	2,66(498,50)	2,57(376,50)	2,07(126,83)	1,36(27,67)	1,76(57,67)	0,95(8,33)
	Ac. Inferiores	2,83(682,57)	2,55(394,67)	2,11(128,27)	1,61(40,67)	1,62(41,53)	0,55(2,60)
	Ramos	2,48(305,50)	1,75(57,15)	1,78(59,87)	0,90(7,53)	1,33(20,40)	1,13(13,83)
	Raízes	3,64(4386,23)	3,10(1275,17)	2,04(110,13)	0,94(7,73)	-	-
	Total	(5872,89)	(2103,48)	(425,10)	(83,60)	(119,60)	(24,77)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	Ac. Superiores	2,54(482,00)	2,37(244,00)	1,83(70,00)	1,48(30,67)	1,30(19,33)	0,75(4,73)
	Ac. Inferiores	2,54(374,00)	2,19(165,00)	2,01(104,20)	1,39(25,50)	1,31(22,00)	0,67(3,77)
	Ramos	2,19(181,33)	1,68(54,17)	1,56(36,40)	0,98(8,67)	1,10(12,87)	0,95(8,20)
	Raízes	3,46(3093,13)	3,03(1087,00)	1,80(64,97)	0,91(7,60)	-	-
	Total	(4130,46)	(1550,17)	(275,57)	(73,43)	(54,20)	(16,70)
CV. (%)		9,44		10,65		17,14	

<sup>1</sup> Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

plântulas de *P. radiata* submetidas a diferentes suprimentos de Cu, também observaram níveis mais altos e mais variáveis de Fe nas raízes que em ramos e acúculas. Nesse trabalho, foi observada rápida absorção de  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Fe}^{+2}$  com lenta mobilização para a parte aérea, o que segundo os autores, está de acordo com os relevantes papéis desses micronutrientes nas cadeias respiratórias mitocondriais, muito ativas nas raízes em desenvolvimento.

Aos teores radiculares seguiram-se os aciculares, tanto no tratamento completo quanto sob omissão de Fe, não havendo, em cada caso, diferenças significativas entre os teores presentes em acúculas superiores e acúculas inferiores ( $P = 0,05$ ) (Tabela 3). Os ramos tiveram concentrações comparáveis às observadas nas acúculas quando sob suficiência de Fe (entre 50,67 e 85,00 ppm), exceto em *P. caribaea* var. *hondurensis*, cuja concentração foi significativamente menor ( $P = 0,05$ ), porém apresentaram os me-

nores teores do nutriente quando as plantas estavam submetidas a omissão de Fe (entre 24,67 e 27,00 ppm) (Tabela 3).

A extração de Fe foi sensivelmente diminuída pela omissão do elemento em todos os órgãos das plantas. Em termos percentuais, a omissão promoveu decréscimos de 51%, 52%, 72% e 74% na quantidade média de Fe alocada em acúculas superiores, acúculas inferiores, ramos e raízes (Tabela 4).

Tanto em suprimento adequado quanto sob deficiência, a maior extração foi realizada pelas raízes, seguindo-se, em ordem decrescente, acúculas e caules (Tabela 4).

A extração total por planta sob suficiência de Fe foi de 4.592,96  $\mu\text{g}$  de Fe para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, 5.872,89  $\mu\text{g}$  para *P. caribaea* var. *bahamensis* e 4.130,46  $\mu\text{g}$  para *P. caribaea* var. *caribaea*. Sob suprimento limitado de Fe, esses valores reduziram-se, respectivamente, para 860,24, 2103,48 e 1550,17  $\mu\text{g}$  (Tabela 4).

**TABELA 3. Teor de Fe em partes de três variedades de *Pinus caribaea* sob suficiência e sob omissão do elemento. Médias de três repetições. (Partes dentro de T x V - Dados transformados em log (x + 1)).**

Tratamento	Partes	Variedades		
		<i>hondurensis</i>	<i>bahamensis</i>	<i>caribaea</i>
Completo	Ac. superiores	2,05b (112,33) <sup>1</sup>	1,93b (87,33)	1,99b (104,00)
	Ac. inferiores	1,93b (87,33)	2,06b (118,00)	1,88b (76,33)
	Ramos	1,71c (50,67)	1,93b (85,00)	1,83b (69,33)
	Raízes	2,82a (678,00)	2,94a (867,33)	2,87a (757,67)
-Fe	Ac. superiores	1,61bc (40,00)	1,92b (83,00)	1,87b (77,33)
	Ac. inferiores	1,67b (47,67)	1,99b (98,00)	1,68b (47,00)
	Ramos	1,43c (26,33)	1,43c (27,00)	1,31c (24,67)
	Raízes	2,13a (137,33)	2,51a (332,33)	2,59a (388,33)

Médias seguidas de letras iguais nas colunas (quatro a quatro) não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

**TABELA 4. Efeito de omissão de Fe, Mn e Zn sobre a extração desses micronutrientes (µg) por acículas superiores, acículas inferiores, ramos e raízes de três variedades de *Pinus caribaea*. Médias de nove repetições. (Dados transformados em log (x + 1)).**

	Ac. superiores	Ac. inferiores	Ramos	Raízes
Completo	2,67a (563,62)	2,63a (470,97)	2,30a (224,53)	3,54 a (3606,32)
-Fe	2,39b (274,58)	2,25b (227,44)	1,68b (63,66)	2,92b (938,94)
Completo	1,97a (98,75)	1,95a (97,10)	1,67a (47,88)	1,94a (92,19)
-Mn	1,47b (32,89)	1,50b (32,83)	0,91b (7,51)	1,00b (10,00)
Completo	1,55a (39,87)	1,42a (28,45)	1,24a (17,80)	-
-Zn	1,00b (11,47)	0,87b (11,68)	1,13a (14,18)	-

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>1</sup> Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

*Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentou teor médio maior de Fe na matéria seca de todas as partes ( $P = 0,05$ ) sob tratamento completo do que sob omissão do elemento (Tabela 5). Em termos percentuais a omissão de Fe causou reduções de 64% em seu teor em acículas superiores (112,33 e 40,00 ppm), 45% em acículas inferiores (87,33 e 47,67 ppm), 48% em ramos (50,67 e 26,33 ppm) e 80% em raízes (678,00 e 137,33 ppm), de modo que o acúmulo preferen-

cial de Fe nas raízes parece ter sido reduzido sob suprimento limitado do nutriente. Em *Pinus caribaea* var. *caribaea* e especialmente em *P. caribaea* var. *bahamensis* sob omissão, as concentrações aciculares foram mantidas em níveis praticamente normais (Tabela 5), às expensas dos teores de Fe de ramos e raízes, que foram 68% (85,00 e 27,00 ppm) e 62% (867,33 e 332,33 ppm) menores sob omissão de Fe em *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e 64% (69,33 e

**TABELA 5.** Teor de Fe (ppm) em partes de três variedades de *Pinus caribaea* sob suficiência e sob omissão do elemento. Médias de três repetições (tratamentos dentro de V x P - Dados transformados em  $\log(x + 1)$ ).

Variedades	Tratamentos	Partes			
		Ac. superiores	Ac. inferiores	Ramos	Raízes
<i>hondurensis</i>	Completo	2,05a (112,23) <sup>1</sup>	1,93a (87,33)	1,71a (50,67)	2,82a (678,00)
	-Fe	1,61b (40,00)	1,67b (47,67)	1,43b (26,33)	2,13b (137,33)
<i>bahamensis</i>	Completo	1,93a (87,33)	2,07a (118,00)	1,93a (85,00)	2,94a (867,33)
	-Fe	1,92a (83,00)	1,99a (98,00)	1,43b (27,00)	2,51b (332,33)
<i>caribaea</i>	Completo	1,99a (104,00)	1,88a (76,33)	1,83a (69,33)	2,87a (757,67)
	-Fe	1,87a (77,33)	1,68a (47,00)	1,31b (24,67)	2,59b (388,33)

As médias seguidas de letras iguais nas colunas (duas a duas) não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>1</sup> Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

24,67 ppm) e 49% (757,67 e 388,33 ppm) menores em *P. caribaea* var. *caribaea* ( $P = 0,05$ , Tabela 5).

Sob tratamento completo, acículas superiores, acículas inferiores, ramos e raízes das três variedades de *Pinus* ensaiadas apresentaram concentrações de Fe semelhantes entre si na matéria seca. Sob insuficiência de Fe, entretanto, o teor do elemento em acículas superiores de *P. caribaea* var. *hondurensis* foi menor ( $P = 0,05$ ) que o apresentado pelas acículas superiores das duas outras variedades. Em acículas inferiores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* os teores de Fe foram menores que em acículas inferiores de *P. caribaea* var. *bahamensis*. Também nas raízes, o teor de Fe de *P. caribaea* var. *hondurensis* foi menor que nas demais variedades ( $P = 0,05$ , Tabela 6).

Nas três variedades, a extração média por parte foi menor sob omissão de Fe que sob tratamento completo, caindo de 1.148,24 para 215,06  $\mu\text{g}$  (81%) em *P. caribaea* var. *hondurensis*, 1.468,22 para 525,87  $\mu\text{g}$  (64%) em *P. caribaea* var. *bahamensis* e de 1.032,61 para 387,54  $\mu\text{g}$  (62%) em *P. caribaea* var. *caribaea* (Tabela 7).

Sob suficiência, as variedades *P. caribaea* var.

*bahamensis* e *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentaram extrações médias por parte semelhantes (1.468,22 e 1.148,24  $\mu\text{g}$ ). O mesmo foi verificado entre *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* (1.148,24 e 1.032,61  $\mu\text{g}$ ). *Pinus caribaea* var. *bahamensis* extraiu significativamente ( $P = 0,05$ ) mais Fe que *P. caribaea* var. *caribaea* (1.468,22 e 1032,61  $\mu\text{g}$  - Tabela 7). Sob omissão, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi a que menos extraiu Fe (215,06  $\mu\text{g}$ ), diferindo ( $P = 0,05$ ) de *P. caribaea* var. *bahamensis* (525,87  $\mu\text{g}$ ) e *P. caribaea* var. *caribaea* (387,54  $\mu\text{g}$ ), cujas extrações foram semelhantes ( $P = 0,05$ , Tabela 7).

Em síntese, pode-se afirmar que dentre as três variedades ensaiadas, *P. caribaea* var. *hondurensis* foi a mais sensível à carência de Fe. Tal variedade teve sua concentração reduzida em todas as partes das plantas, quando o suprimento de Fe era limitado, enquanto que as demais variedades conseguiram, nas mesmas condições, manter os teores aciculares, sofrendo reduções significativas apenas nos teores dos ramos e raízes. Sob suficiência, os teores das diversas partes eram semelhantes entre as variedades, porém sob omissão, *P. caribaea* var. *hondurensis* mostrou teores inferiores às demais em acículas superiores, acículas inferiores e raízes (Tabe-



**TABELA 6.** Teor de Fe (ppm) em partes de três variedades de *Pinus caribaea* sob suficiência e sob omissão do elemento. Médias de três repetições. (Variedades dentro de T x P - Dados transformados em  $\log(x + 1)$ ).

Tratamentos	Variedades	Partes			
		Ac. superiores	Ac. inferiores	Ramos	Raízes
Completo	<i>hondurensis</i>	2,05a (112,33) <sup>1</sup>	1,93a (87,33)	1,71a (50,67)	2,82a (678,00)
	<i>bahamensis</i>	1,93a (87,33)	2,07a (118,00)	1,93a (85,00)	2,94a (867,33)
	<i>caribaea</i>	1,98a (104,00)	1,88a (76,33)	1,83a (69,33)	2,87a (757,67)
-Fe	<i>hondurensis</i>	1,61b (40,00)	1,67b (47,67)	1,43a (26,33)	2,13b (137,33)
	<i>bahamensis</i>	1,92a (83,00)	2,00a (98,00)	1,43a (27,00)	2,51a (332,33)
	<i>caribaea</i>	1,87a (77,33)	1,68b (47,00)	1,31a (24,67)	2,59a (388,33)

Médias seguidas de letras iguais nas colunas (três a três) não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>1</sup> Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

**TABELA 7.** Extração de Fe, Mn e Zn ( $\mu\text{g}$ ) por partes de três variedades de *Pinus caribaea* sob suficiência e sob omissão desses micronutrientes. Médias de 12 repetições. (Dados transformados em  $\log(x + 1)$ ).

Trat. Variedade	<i>hondurensis</i>	<i>bahamensis</i>	<i>caribaea</i>
Completo	2,77aAB (1148,24)	2,90aA (1468,22)	2,68aB (1032,61)
-Fe	2,11bB (215,06)	2,49bA (525,87)	2,32bA (387,54)
Completo	1,85aB (76,77)	2,01aA (106,27)	1,80aB (68,89)
-Mn	1,27bA (23,17)	1,20bA (20,90)	1,19bA (18,36)
Completo	1,40aAB (28,19)	1,57aA (39,87)	1,24aB (18,07)
-Zn	1,33aA (23,50)	0,88bB (8,26)	0,79bB (5,57)

As letras minúsculas referem-se às comparações entre as médias com tratamento completo e com omissão de cada micronutriente, duas a duas, dentro de variedades, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

As letras maiúsculas referem-se às comparações entre as médias das variedades, dentro dos tratamentos completo e com omissão de cada micronutriente pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Médias de letras iguais não diferem estatisticamente entre si.

<sup>1</sup> Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

la 6). Também a extração média de Fe pelas partes da planta em *P. caribaea* var. *hondurensis* que era semelhante à das demais sob suficiência, sofreu a maior queda percentual sob suprimento limitado (Tabela 7). Além disso, essa foi a variedade mais sensível à carência de Fe em termos de produção de matéria seca nessas mesmas condições experimentais.

Por outro lado, pode-se dizer que *Pinus caribaea* var. *bahamensis* foi a variedade mais eficiente no uso de quantidades limitadas de Fe. Nessas condições, foi a que melhor manteve o nível acicular às expensas dos demais órgãos, o que resultou em teores de Fe significativamente mais elevados que os das outras em acículas inferiores (Tabela 6). Além disso, sua ex-

tração também foi maior que a das demais sob omissão do elemento, embora sob tratamento completo não tenha diferido delas (Tabela 7).

*Pinus caribaea* var. *caribaea* apresentou uma posição intermediária em termos de eficiência no uso de quantidades limitadas de Fe em relação às duas outras variedades testadas, sem grandes diferenças em relação à mais eficiente *Pinus caribaea* var. *bahamensis*.

### Manganês

Nas três variedades de *P. caribaea* estudadas, o teor médio de Mn na matéria seca e a extração média do elemento pelas diferentes partes das plantas foram maiores sob tratamento completo que sob omissão ( $p = 0,05$  - Tabelas 8 e 7). *Pinus caribaea* var. *hondurensis* teve seu teor médio de Mn reduzido de 16,25 para 5,67 ppm (65%), enquanto que a extração caiu de 76,77 para 23,17  $\mu\text{g}$  (70%). *Pinus caribaea* var. *bahamensis* sofreu redução de 20,92 ppm para

5,58 ppm (73%) em média na matéria seca das partes, acompanhado de uma queda de 106,27 para 20,90  $\mu\text{g}$  (80%) na extração. *Pinus caribaea* var. *caribaea* teve seu teor de Mn reduzido de 18,00 para 7,75 ppm (57%) e a extração de 68,89 para 18,36  $\mu\text{g}$  (74%).

Sob suficiência de Mn *Pinus caribaea* var. *bahamensis* apresentou teores e extrações médias do elemento mais elevados que as duas outras variedades ( $P = 0,05$ , Tabelas 8 e 7), no entanto, em suprimento insuficiente *P. caribaea* var. *caribaea* manteve maior teor médio de Mn que as demais, acompanhado de extrações de mesma ordem ( $P = 0,05$ , Tabelas 8 e 7) o que resultou em 41% de redução na produção de matéria seca para essa variedade, enquanto que para *P. caribaea* var. *hondurensis* tal redução foi de 25-30% e para *P. caribaea* var. *bahamensis* de 36%. Cabe salientar, entretanto, que essas diferenças na produção de matéria seca não são significativas estatisticamente pelo teste  $t$  a 1%, 5% ou 10% de probabilidade e que também a sintomatologia desenvolvida pelas plantas foi pouco expressiva, dificultando inferências a respeito da eficiência comparada de utilização do Mn nas três variedades testadas. Apesar disso, pode-se discutir que sob suprimento adequado de Mn *P. caribaea* var. *bahamensis* pareceu ter menor eficiência no uso do nutriente que as duas outras variedades, já que necessitou de maior quantidade do elemento por grama de matéria seca produzida. Por outro lado, o fato poderia representar absorção mais eficiente do nutriente nessas condições, o que poderia trazer vantagens em caso de flutuações no suprimento ao longo do tempo. Sob suprimento limitado *P. caribaea* var. *caribaea* pareceu ser menos eficiente que as demais no uso do Mn, pois manteve um teor médio do elemento mais elevado na matéria seca, apresentando, entretanto, maior queda na produção.

Tanto a concentração quanto a extração média de Mn por acúculas superiores, acúculas inferiores, caules e raízes foram sempre menores sob insuficiência do elemento ( $P = -0,05$ , Tabelas 9 e 4). A omissão causou quedas da ordem de 56% (19,67 e 8,56 ppm) em acúculas superiores, 48% em acúculas inferiores (19,44 e 10,11

**TABELA 8.** Teores de Mn e Zn (ppm) na matéria seca de três variedades de *Pinus caribaea* sob suficiência e sob omissão desses micronutrientes. Médias de 12 repetições (teores de Mn transformados em  $\sqrt{x + 1}$ , teores de Zn transformados em  $\log(x + 1)$ ).

Trat. Variedade	<i>hondurensis</i>	<i>bahamensis</i>	<i>caribaea</i>
Completo	4,12aB (16,25)	4,67aA (20,92)	4,34aB (18,00)
-Mn	2,51bB (5,67)	2,48bB (5,58)	2,89bA (7,75)
Completo	2,39aB (5,78)	2,76aA (7,78)	2,20aB (4,89)
-Zn	1,81bA (3,44)	1,23bB (1,81)	1,33bB (1,94)

As letras minúsculas referem-se às comparações entre as médias com tratamentos completo e com omissão de cada micronutriente, duas a duas, dentro de variedades, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

As letras maiúsculas referem-se às comparações entre as médias das variedades, dentro dos tratamentos completo e com omissão de cada micronutriente pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si.

1 Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

TABELA 9. Efeito da omissão de Mn e Zn sobre o teor desses micronutrientes (ppm) em acículas superiores, acículas inferiores, ramos e raízes de três variedades de *Pinus caribaea*. Médias de nove repetições. (Os teores Mn foram transformados em  $\sqrt{x + 1}$ , e os Zn em  $\log(x + 1)$ ).

	Ac. superiores	Ac. inferiores	Ramos	Raízes
Completo	4,52a (19,67)	4,49a (19,44)	4,01a (15,22)	4,49a (19,22)
-Mn	3,06b (8,56)	3,33b (10,11)	2,10b (3,56)	2,01b (3,11)
Completo	2,68a (7,44)	2,34a (5,55)	2,32a (5,44)	-
-Zn	1,33b (1,89)	1,24b (1,98)	1,80b (3,33)	-

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>1</sup> Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

ppm), 77% em ramos (15,22 e 3,56 ppm) e 84% em raízes (19,22 e 3,11 ppm). A extração seguiu o mesmo padrão com queda de 67% em acículas superiores (78,75 e 32,89  $\mu\text{g}$ ), 66% em acículas inferiores (97,10 e 32,83  $\mu\text{g}$ ), 84% em ramos (47,88 e 7,51  $\mu\text{g}$ ) e 84% em raízes (92,19 e 10,00  $\mu\text{g}$ ).

Sob tratamento completo, concentrações e extrações em acículas e raízes foram praticamente iguais, com valores menores para ramos (Tabelas 9 e 4). Quando o suprimento de Mn foi limitado, acículas passaram a exibir teores e extrações de Mn mais altos que ramos e raízes. Isso mostra que quando o Mn externo é insuficiente para atender a demanda interna da planta, sua alocação preferencial se dá nas acículas, e está de acordo com o relatado por Mengel & Kirkby (1982), de que, apesar de baixa mobilidade, o Mn é translocado preferencialmente para as regiões de crescimento, sendo os órgãos mais jovens, mais ricos nesse nutriente. Esse comportamento também condiz com seu papel na "reação de Hill", responsável pela fotólise da água e evolução do  $\text{O}_2$  no fotossistema II (Marschner 1986).

Sob tratamento completo, plantas de *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentaram, em média, 17,33 ppm de Mn na matéria seca de acículas superiores, 14,33 ppm na de acículas inferiores, 13,67 ppm na de ramos e 19,67 ppm na de raízes. Sob omissão de Mn, esses valores foram, respectivamente, 6,67, 10,33, 2,33 e 3,33 ppm.

Plantas de *P. caribaea* var. *bahamensis* sob suficiência de Mn tiveram, em média, 23,00, 22,00, 16,67 e 22,00 ppm do elemento na matéria seca de acículas superiores, acículas inferiores, ramos e raízes, enquanto que sob condições de carência tais valores decresceram para 7,33, 9,67, 2,67 e 2,67 ppm nessa mesma ordem. Em *P. caribaea* var. *caribaea* os teores médios de Mn sob suprimento adequado foram de 18,67, 22,00, 15,33 e 16,00 ppm na matéria seca de acículas superiores, acículas inferiores, ramos e raízes. Sob omissão do nutriente, acículas superiores apresentaram 11,67 ppm na matéria seca, as inferiores, 10,33 ppm, os ramos, 5,67 ppm, e as raízes, 3,33 ppm (Tabela 1).

Os teores aciculares médios de Mn observados no presente trabalho (entre 6,67 e 23,00 ppm) (Tabela 1) estão bem abaixo dos referidos como adequados na literatura para plantas adultas de diversas espécies de *Pinus*, inclusive *P. caribaea* var. *hondurensis* (Van Goor 1965/66, Morrison 1972, Raupach et al. 1972, Raupach et al. 1978, Cameron et al. 1982, Gonzalez et al. 1984, Vidal et al. 1984), diferindo também dos observados e propostos como adequados por Lachica et al. (1979) em mudas de *P. radiata* provenientes de viveiro de boa qualidade. A variabilidade dos teores entre diferentes plantas também foi menor que a apontada para plantas adultas de várias espécies de *Pinus* (Morrison 1972, Knight 1978, Vidal et al. 1984).

A extração média de Mn pelas partes das

plantas e total são apresentadas na Tabela 2. Plantas de *P. caribaea* var. *hondurensis* extraíram 307,10 µg em suprimento adequado de Mn. Em suprimento limitado, esse teor foi de 92,67 µg. *P. caribaea* var. *bahamensis* teve uma extração de 425,10 µg/planta sob suficiência de Mn, e de 83,60 µg/planta sob insuficiência. Para *P. caribaea* var. *caribaea*, tais valores foram de 275,57 µg/planta e 73,43 µg/planta.

### Zinco

*Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* apresentaram concentrações médias de Zn na matéria seca das partes em que foram divididas 40% a 77% menores quando o elemento foi omitido da solução nutritiva. Sob tratamento completo, *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentou um teor médio por parte de 5,78 ppm de Zn, tendo sido este reduzido para 3,44 ppm (40%) sob omissão. *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, teve seu teor médio de Zn por parte reduzido de 7,78 ppm para 1,81 ppm (77%) e, *P. caribaea* var. *caribaea* de 4,89 ppm para 1,94 ppm (60%) nessas mesmas condições ( $P = 0,05$ , Tabela 8).

As extrações médias por parte, também foram menores para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* sob omissão, com reduções de 79% (39,87 e 8,26 µg) e 69% (18,07 e 5,57 µg), respectivamente. Em *P. caribaea* var. *hondurensis* a extração média manteve-se igual em ambos os tratamentos (28,19 e 23,50 µg;  $P = 0,05$ , Tabela 7). Em nenhuma das variedades testadas a redução na concentração de Zn da matéria seca das partes das plantas resultou em redução na produção de matéria seca, ou na altura das plantas. Pelo contrário, *P. caribaea* var. *hondurensis* teve sua altura significativamente aumentada pela omissão do elemento, embora parada no crescimento, folhas pequenas e internódios curtos sejam referidos como os sintomas mais característicos de deficiência de Zn (Mengel & Kirkby 1982, Marschner 1986), Marschner (1986) afirma que tais sintomas estão relacionados a distúrbios no metabolismo de auxinas, particularmente AIA, havendo um decréscimo no nível auxínico nas regiões apicais

das plantas antes que o crescimento seja afetado. Disso pode-se concluir que teores médios tão baixos quanto 1,81, 1,94 e 3,44 ppm na matéria seca, foram suficientes para manter o nível auxínico adequado em plântulas de *P. caribaea* (Tabela 8). A espécie parece ser muito pouco exigente em Zn, e o Zn presente na solução nutritiva, devido às impurezas dos sais ou provenientes das sementes ou da adubação usada na obtenção das mudas, parece ter sido suficiente para satisfazer tais exigências.

Teores médios de 6,33, 5,33 e 5,67 ppm de Zn na matéria seca de acículas superiores, acículas inferiores e ramos de *P. caribaea* var. *hondurensis* sob tratamento completo, caíram para 2,67, 4,33 e 3,33 ppm sob omissão do elemento. Em *P. caribaea* var. *bahamensis*, esses teores, que eram em média 10,67, 7,00 e 5,67 ppm, caíram para 1,67, 0,43 e 3,33 ppm nas mesmas condições. *P. caribaea* var. *caribaea* mostrou concentrações médias de 5,33, 4,33 e 5,00 ppm de Zn na matéria seca de acículas superiores, acículas inferiores e ramos sob tratamento completo, e de 1,33, 1,17 e 3,33 ppm na matéria seca desses mesmos órgãos sob omissão de Zn (Tabela 1).

Na matéria seca de acículas, os teores médios de Zn variaram entre 4,33 e 10,67 ppm sob tratamento completo, e entre 0,43 e 4,33 ppm sob omissão (Tabela 1). Esses níveis são bem mais baixos que os observados por Van Goor (1965/66) em plantas adultas de *P. caribaea* var. *hondurensis*, Knight (1978), Vidal et al. (1984) e, Raupach et al. (1978) em plantas adultas de *P. radiata*, e por Lachica et al. (1979) e McGrath & Robson (1984a) em plantas de *P. radiata* em fase de viveiro, aproximando-se mais dos observados por Cameron et al. (1982) em plantas adultas de *P. caribaea* var. *hondurensis*. Essa discrepância nos teores que se relacionaram à deficiência e à suficiência de Zn nos diversos trabalhos revistos e também no trabalho presente, vem de encontro à grande variabilidade entre amostras observada por Knight (1978) e Vidal et al. (1984) no teor acicular de Zn de plantas adultas e jovens de *P. radiata*, e poderia estar relacionada a interações entre nutrientes

ocorridas em nível fisiológico no interior das plantas.

Marschner & Schropp (1977), citados por Mengel & Kirkby (1982), observaram que plantas de videira cultivadas em solo calcário e com elevado teor de P apresentaram sintomas de deficiência de Zn com níveis foliares do elemento superiores aos observados em folhas de plantas sadias da mesma espécie e variedade, cultivadas em solução nutritiva. A má-nutrição fisiológica com Zn é um fenômeno sobre o qual não se tem perfeita compreensão e parece estar relacionada não só ao P, mas também ao Fe e Mn (Mengel & Kirkby 1982).

Sob tratamento completo, *P. caribaea* var. *bahamensis* apresentou teor médio maior (7,78 ppm) na matéria seca das partes em que foi dividida do que as duas outras, que não diferiram entre si quanto a esse parâmetro (5,78 e 4,49 ppm,  $P = 0,05$ ). Sob omissão, o maior teor coube a *P. caribaea* var. *hondurensis*, que apresentou, em média, 3,44 ppm de Zn, enquanto *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* apresentaram, respectivamente, 1,81 e 1,94 ppm. A extração seguiu o mesmo padrão (Tabelas 8 e 7).

Todos os órgãos sofreram decréscimos significativos ( $P = 0,05$ ) tanto na concentração quanto na extração, quando o Zn foi omitido, porém, proporcionalmente, as maiores quedas ocorreram em acículas superiores e inferiores (59% a 75%). Os caules sofreram decréscimos proporcionais menores (39% no teor e 20% na extração). Sob tratamento completo, o maior teor médio de Zn ocorreu nas acículas superiores (7,44 ppm), seguindo-se a estas as acículas inferiores e ramos (5,55 e 5,54 ppm). Sob omissão, ocorreu o inverso, sendo maior o teor de Zn nos ramos (3,33 ppm), seguindo-se o de acículas inferiores e acículas superiores (1,98 e 1,89 ppm, Tabela 9). Sendo assim, as acículas superiores podem ser consideradas o órgão mais apropriado para a diagnose foliar quanto ao Zn.

Concordam com esses resultados os relatos por McGrath & Robson (1984a), que cultivaram plântulas de *P. radiata* em solo deficiente em Zn, ao qual aplicaram doses crescentes do

elemento (0-3600  $\mu\text{g}/\text{vaso}$ ), por 91 dias. Tais autores observaram que nas plantas deficientes a concentração de Zn do crescimento novo foi menor que a da folhagem velha, ao passo que em suprimento adequado aconteceu o inverso. Em quatro cortes sucessivos o conteúdo de Zn dos tecidos velhos não declinou em nenhum nível de aplicação do nutriente, o que sugere a imobilidade do elemento. Em trabalho posterior, McGrath & Robson (1984b) estudaram o efeito do nível interno de Zn no transporte de  $^{65}\text{Zn}$  recém-absorvido por plantas jovens de *P. radiata*. Tais autores verificaram que o movimento do  $^{65}\text{Zn}$  foi lento em qualquer circunstância, porém foi menor em plantas com níveis deficientes do elemento do que nas plantas com níveis marginais ou adequados, o que resultou em maiores concentrações de  $^{65}\text{Zn}$  nos ramos de tais plantas. Neste trabalho, a maior concentração nos ramos seguiram-se as concentrações em acículas inferiores, e a estas, as das superiores. O processo de aprisionamento de maior proporção de Zn nos ramos sob insuficiência do elemento parece ser um processo físico-químico, não metabólico, relacionado à troca catiônica nas paredes do xilema e à formação de complexos, como, por exemplo, o Zn-citrato (McGrath & Robson 1984c). McGrath & Robson (1984c) discutem que a retenção do Zn nos ramos das plântulas nele deficientes pode ter valor adaptativo, visto que a sobrevivência de plantas lenhosas perenes requer a preservação dos ramos e que a sobrevivência dos ramos durante períodos de estresse nutricional é essencial pelo menos até que as estruturas reprodutivas estejam nutridas. Além disso, a capacidade de estocar nutrientes nos tecidos dos ramos pode ser um tampão contra a estacionalidade do crescimento.

## CONCLUSÕES

1. Os limites de suficiência de Fe estiveram entre 87,33 e 112,30 ppm em acículas superiores e entre 76,33 e 118,00 ppm em acículas inferiores de plantas de *Pinus caribaea*.
2. Os limites de deficiência de Fe estiveram entre 40,00 e 83,00 ppm em acículas superiores

e entre 47,00 e 98,00 ppm em acículas inferiores de *Pinus caribaea*.

3. Os limites de suficiência de Mn estiveram entre 17,33 e 23,00 ppm em acículas superiores e entre 14,33 e 22,00 ppm em acículas inferiores de *P. caribaea*.

4. Os limites de deficiência de Mn estiveram entre 6,67 e 11,67 ppm em acículas superiores e entre 9,67 e 10,33 ppm em acículas inferiores de *Pinus caribaea*.

5. Sob omissão, *P. caribaea* var. *bahamensis* foi a mais eficiente, e *P. caribaea* var. *hondurensis*, a menos eficiente no uso do Fe, ocupando *P. caribaea* var. *caribaea* posição intermediária.

6. Sob omissão, *P. caribaea* var. *caribaea* foi menos eficiente que as demais no uso do Mn.

7. As três variedades de *P. caribaea* testadas são pouco exigentes em Zn.

## REFERÊNCIAS

- CAMERON, P.M.; RANCE, S.J.; WILLIAMS, E.A. Effects of fertilizers on growth, form and concentration of nutrients in needles of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in Northern territory. *Australian Forest Research*, Melbourne, v.12, p.105-119, 1982.
- COMERFORD, N.B. Distributional gradients and variability of macroelement concentrations in the crowns of plantation grown *Pinus resinosa* (Ait). *Plant and Soil*, Hague, v.63, p.345-353, 1981.
- GONZALEZ, C.; KONOW, V.; LACHICA, M. 61 *Pinus radiata* D. Don en Chile, ensayos de fertilización con cobre y boro. *Anales de Edafología y Agrobiología*, Madrid, v.42, n.9/10, p.1599-1613, 1984.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, E.D.I. *The water culture method for growing plants without soil*. [S.l.:s.n.], 1950. (Cal. Agric. Exp. Sta. Circ., 347).
- INGESTAD, T. Studies on the nutrition of forest tree seedlings. III. Mineral nutrition of Pine. *Physiologia Plantarum*, Oxford, v.13, p.513-531, 1960.
- KNIGHT, P.J. Foliar concentrations of ten mineral nutrients in nine *Pinus radiata* clones during a 15 month period. *New Zealand Journal of Forestry Science*, Private Bag, v.8, n.3, p.351-367, 1978.
- LACHICA, M.; KOSCHE, P.R.; GONZALEZ, O.C. El *Pinus radiata* D. Don en Chile determinación de los índices nutritivos óptimos de las plátulas. *Anales de Edafología y Agrobiología*, Madrid, v.38, p.2141-2157, 1979.
- LASTRA, O.; CHUECA, A.; LACHICA, M.; GORGE, J.R. Root uptake and partition of copper, iron, manganese and zinc in *Pinus radiata* seedlings under different copper supplies. *Plant Physiology*, New York, v.132, p.16-22, 1988.
- McGRATH, J.F.; ROBSON, A.D. The distribution of zinc and diagnosis of zinc in seedlings of *Pinus radiata* D. Don. *Australian Forest Research*, Melbourne, v.14, n.3, p.75-89, 1984a.
- McGRATH, J.F.; ROBSON, A.D. The influence of zinc supply to seedlings of *P. radiata* D. Don on the internal transport of recently absorbed zinc. *Australian Journal of Plant Physiology*, Melbourne, v.11, p.165-178, 1984b.
- McGRATH, J.F.; ROBSON, A.D. The movement of zinc through excised stems of seedlings of *Pinus radiata* D. Don. *Annals of Botany*, London, v.54, p.231-242, 1984c.
- MANSELL, R.E.; EMMEL, H.W. Trace metal extractions from brine with APDC and oxine. *Atomic Absorption Newsletter*, Dambury, v.4, n.10, p.365-366, 1965.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 1986. 674p.
- MARTINEZ, H.E.P.; HAAG, H.P.; BRUCKNER, C.H.; DECHEN, A.R. Diagnóstico de carência de macronutrientes em três variedades de *Pinus caribaea*. I. Sintomas visuais e efeitos sobre a produção de matéria seca. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, v.42, n.2, p.539-569, 1985.
- MARTINEZ, H.E.P.; HAAG, H.P.; BRUCKNER, C.H. Macronutrientes em *Pinus caribaea* Morelet. II. Níveis internos sob suficiência e sob omissão. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, v.43, n.1, p.97-146, 1986.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 3.ed. Bern: International Potash Institute, 1982. 655p.
- MORRISON, I.K. Variation with crown position and leaf age in content of seven elements in leaves of *Pinus banksiana* Lamb. *Canadian Journal of Forest Research*, Ontário, v.2, p.89-94, 1972.

- RANCE, S.J.; CAMERON, D.M. Correction of crown disorders of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* by application of zinc. *Plant and Soil*, Hague, v.65, p.293-296, 1982.
- RAUPACH, M.; CLARKE, A.R.P.; CELLIER, K.M. Disorder symptoms of forest of *Pinus radiata* in relation to foliar nutrient levels. *Australian Forest Research*, Malbourane, v.8, n.1, p.1-11, 1978.
- RAUPACH, M.; DE VRIES, A.P.C.; RUITER, J.H. A disorder in radiata pine involving micronutrients. In: AUSTRALIAN FOREST-TREE NUTRITION CONFERENCE, 1971, Glen Osmond. Canberra: Forestry and timber Bureau, 1972. p.344-348.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba: Departamento de Química. ESALQ-USP, 1974. 56p.
- TVA NATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER AT MUSCLE SHOALS (Alabama). Greenhouse technique for soil-plant-fertilizer research. Alabama, 1970. 57p.
- VAN GOOR, C.P. A nutrição de alguns pinheiros tropicais. *Silvicultura em São Paulo*, São Paulo, v.415, n.4, p.240-313, 1965/66.
- VIDAL, I.; FERRADA, R.; RIQUELME, E. Evolución estacional de nutrimentos e *Pinus radiata*. Don en Chile. *Turrialba*, Turrialba, v.34, n.3, p.261-266, 1984.