

## DISTRIBUIÇÃO DE METAIS PESADOS NA VEGETAÇÃO METALÓFILA DE CARAJÁS<sup>1,2</sup>

Manoela F.F. da Silva<sup>3</sup>

Recebido em 16-09-91. Aceito em 31-08-92.

**RESUMO:** O presente estudo foi desenvolvido na Serra Norte, que é uma das formadoras do complexo mineral de Carajás, localizada no Município de Paraupabas, Estado do Pará. Foi procedida a determinação de metais pesados em tecido vegetal e solo. As cinco espécies vegetais selecionadas para o estudo foram: *Bauhinia pulchella* Bentham (Leguminosae Caesalpinioideae) - *Cuphea annullata* Koehne (Lythraceae) - *Ipomoea cavalcantei* D. Austin (Convolvulaceae) - *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* Barneby (Leguminosae Mimosoideae) e *Callisthene minor* Mart. (Vochysiaceae). Os metais analisados foram: Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Cromo (Cr) e Chumbo (Pb). Os teores de metais trocáveis no solo apresentaram-se semelhantes no início e centro da jazida mineral. As cinco espécies analisadas apresentaram níveis anormais de Fe, Ni e Cr em seus tecidos.

Todas as espécies são, portanto, tolerantes aos metais em apreço. Supõem-se que os mesmos estejam interagindo entre si neutralizando mutuamente seus efeitos danosos às plantas. Esta interação é uma forma de tolerância. A espécie *Bauhinia pulchella* sobressaiu-se das demais na acumulação de Ni, é possível que a concentração de Ni esteja relacionado à condições xerofíticas do ambiente edáfico.

Palavras-chave: Vegetação metalófila, Biogeoquímica, íons metálicos, Solos metalíferos.

**ABSTRACT** - This study was conducted in the North Range (Serra Norte), one of the geographic formations of the Carajás mineral complex, located in the Municipality of Paraupabas, State of Pará, Brazil. Concentrations of heavy metals were determined in plant tissues and soils. The five species selected for study were: *Bauhinia pulchella* (Leguminosae Caesalpioideae), *Cuphea annullata* (Lythraceae) - *Ipomoea cavalcantei*

---

1 - Trabalho apresentado no XLII Congresso Nacional de Botânica, Goiânia, GO.

2 - Trabalho de campo financiado com recursos repassados para Companhia Vale do Rio Doce, contrato 16/83, CRVD/MPEG.

3 - Pesquisadora do Departamento de Botânica do Museu Paraense Emílio Goeldi, C.P. 399, Belém - Pará.

(Convolvulaceae) - *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* (Leguminosae Mimosoideae) and *Callisthene minor* (Vochysiaceae). The metals analyzed were iron (Fe), manganese (Mn), copper (Cu), nickel (Ni), chromium (Cr) and lead (Pb). The levels of exchangeable metals in the soil were similar at the edge and in the center of the mineral deposit. The tissues of the five plant species analyzed had abnormally high levels of Fe, Ni and Cr. Each of the plant species tested is tolerant of the metals considered. It is assumed that the interaction of these metals neutralizes their damaging effects on the plants studied. This interaction is a form of tolerance. *Bauhinia pulchella* surpassed the other species in the accumulation of nickel. It is possible that the high concentration of Ni in this plant is related to the xerophytic conditions of the "canga" environment.

Key words: Metallophytic vegetation, Biogeochemical, heavy ions, metalliferous soils.

## Introdução

A Serra dos Carajás é uma província mineral, situada no interior da Amazônia e coberta quase em sua totalidade por vegetação natural.

Ainda hoje é controversa a terminologia utilizada para denominar o tipo de vegetação que cresce diretamente sobre o afloramento rochoso de ferro de Carajás, a "canga hematítica". Tem sido usado genericamente o termo "vegetação de canga". Silva (1988) e Silva & Rosa (1990) usaram o termo "campo rupestre". Porto & Silva (1989) usaram o termo "vegetação metalófila", para o tipo de cobertura vegetal que cresce sobre afloramento de minério em Carajás e Minas Gerais.

Esta comunidade vegetal tem fronteiras geográficas bem definidas, limitando-se às áreas de canga hematítica, constituindo-se um verdadeiro "enclave", circundado por floresta tropical.

Uma vez que este tipo de vegetação cresce diretamente sobre as jazidas minerais de ferro, supõem-se que haja influência de mineralização sobre a mesma, talvez, o fator seletivo mais crítico seja a alta concentração de metais pesados, acrescidos de outros como a podreza de nutrientes e a baixa capacidade de retenção de água. Estes fatores parecem exercer pressão ambiental, provocando uma seleção natural muito rigorosa. Segunda Epstein (1975), as plantas selvagens apresentam uma grande variabilidade genética, o que confere a alguns indivíduos a capacidade de vencer condições adversas. Se por um lado estes indivíduos sofrem limitações no tocante ao seu comportamento, por outro lado há compensações porque há diminuição na competição.

Estes fatores seletivos podem agir na estrutura genética resultando em novas formas, variedades e/ou espécies (Kovalskij, 1977), este fato é bem evidente na vegetação estudada onde o grau de endemismo é muito alta (Silva, 1988).

Atualmente, é bastante conhecida a capacidade que muitas plantas possuem de acumular níveis anormais de metais em seus tecidos. Estas, normalmente, apresentam modificações estruturais e funcionais, caracterizando-se com

“indicadora” de jazidas minerais, e, em muitos casos, formando comunidades vegetais que caracterizam o substrato em que estão assentadas. Os continentes europeu e asiático são antigos conhecedores de plantas indicadoras de metais no solo com adaptações na morfologia, anatomia, fisiologia e genética (Porto, 1981). A detecção de tais espécies vegetais é de importância marcante como subsídio à reconstituição de áreas degradadas pela mineração e na bioprospecção de jazidas minerais.

Embora as pesquisas em geobotânica e biogeoquímica tenham surgido e avançado muito em função do interesse econômico (a bioprospecção mineral), atualmente os estudos voltados a plantas que habitam áreas mineralizadas são muito diversificados e com várias finalidades que vão da busca de informações para recuperação de áreas mineradas à pesquisas puras sobre genética, fisiologia, anatomia, ecologia, taxonomia, entre outros. Os vários ramos da ciência procuram respostas às estratégias usadas pelas plantas que vivem sob condições ambientais adversas causadas por altas concentrações de íons metálicos que em condições normais seriam consideradas tóxicas.

O objetivo a que se propõe esta pesquisa é procurar detectar a acumulação de metais pesados em tecido vegetal e solo das áreas de ocorrência de canga hematítica.

Descrições sobre as características da região de estudo, como localidade, clima solo e vegetação são encontradas em Silva, 1988 e Silva & Rosa, 1989.

## Material e Métodos

O presente estudo foi desenvolvido na Serra Norte, que é uma das formadoras do complexo mineral de Carajás. As coletas de solo e planta para análise química foram feitas na jazida N3 (Figura 1). O motivo desta escolha foi por ser esta a jazida que não havia sofrido nenhuma perturbação na sua estrutura original.

### 1. Planta

Foram selecionadas cinco espécies vegetais para análise química do teor de metais pesados (Fe, Mn, Cu, Ni, Cr, e Pb) em seus tecidos. As espécies foram escolhidas com base na sua expressividade na vegetação em apreço, considerando-se a distribuição na área e a capacidade de resistir ao período de seca sem perder a parte vegetativa. As espécies selecionadas foram as seguintes *Bauhinia pulchella* Bentham (Leguminosae Caesalpinioideae) - *Cuphea annullata* Koehne (Lythraceae) - *Ipomoea cavalcantei* D. Austin (Convolvulaceae) - *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* Barneby (Leguminosae Mimosoideae) e *Callisthene minor* Mart. (Vochysiaceae).

As amostras das plantas para as análises do teor de metais pesados foram coletadas ao longo de uma transeccional abrangendo o corpo mineralizado da jazida de ferro N3. Foram dois os pontos de coleta: início (amostra A) e meio da jazida (Amostra B).

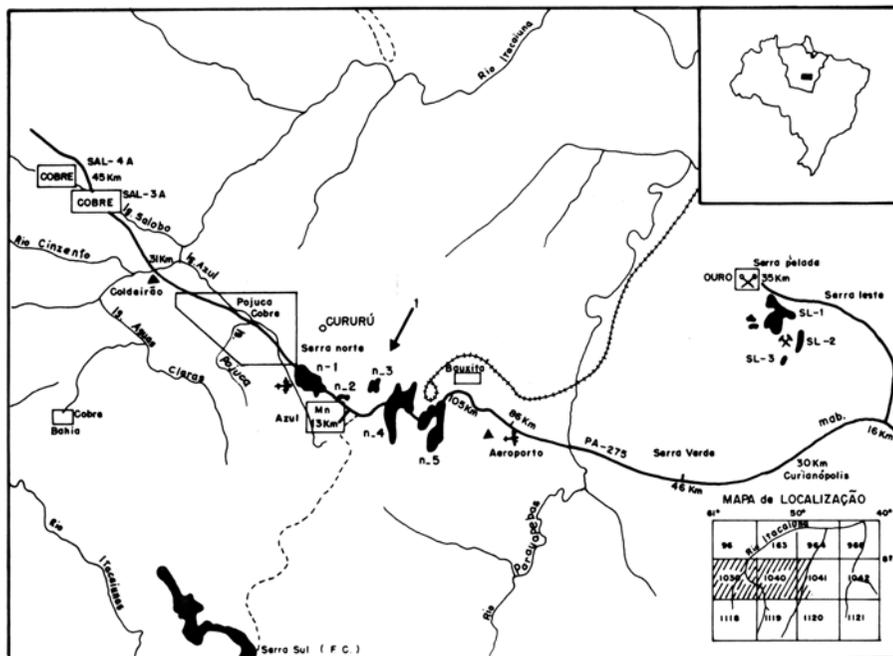


Figura 1 - Mapa do complexo Carajás e principais depósitos de minério. Seta 1: jazida de ferro  $N_3$ .

Das espécies arbóreas, *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* e *Callisthene minor*, foi coletado apenas material foliar. Das espécies semi-arbustivas *Bauhinia pulchella*, *Cuphea annullata* e *Ipomoea cavalcantei* foram coletadas raízes e folhas.

Em cada amostragem (A e B) foi coletado material de 5 plantas de cada espécie e acondicionado em sacos de papel individual e devidamente identificados. Este material sofreu secagem prévia em estufa à 50°C, aproximadamente, e assim permaneceu até seu processamento no laboratório.

As análises do teor de metais pesados foram feitas no laboratório do Centro de Ecologia do Instituto de Biotecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As amostras foram secas, pesadas e digeridas em  $HNO_3$  concentrado com o uso de bombas de pressão com recipiente interno de teflon na proporção de 100 mg de peso seco da planta em 2 ml de  $HNO_3$  (Kotz et al., 1972), a determinação de metais pesados feita com o uso de Espectrofotômetro de Absorção Atômica com forno de grafite (Perkin & Elmer, modelo 403).

## 2. Solo

Nos mesmos locais de amostragem das plantas foram coletadas as amostras de solo. A coleta de solo deveria ser em duas profundidades mas a canga hematítica

formando grandes blocos de minério, muito endurecido, não permitiu. Por esse motivo o solo foi coletado aproximadamente a 10 cm de profundidade. Em cada local, A e B, foram coletadas cinco amostras de solo para analisar o teor de íons disponíveis às plantas.

A análise do solo consistiu na determinação dos íons permutáveis com extração de  $\text{HNO}_3$  a 0,1 N na proporção de 1:10 (Porto, 1981).

O teor de íons permutáveis no solo foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite (Perkin & Elmer, modelo 403).

Os metais analisados foram os mesmos que no tecido vegetal.

## Resultados e Conclusões

### 1. Ocorrência de Metais Pesados no Solo

Foi determinado o conteúdo de íons metálicos trocáveis no solo tipo canga hematítica de Carajás. Os metais analisados foram os seguintes. Fe, Mn, Cu, Ni, Cr, e Pb. O resultado destas análises químicas está contido na tabela 1. Os valores encontrados, por si só, pouco revelam, sendo necessário o conhecimento de valores considerados normais para fins comparativos com os dados desta pesquisa. Como pode ser observado na Tabela 2, a maioria da literatura sobre o assunto oferece apenas dados sobre os teores considerados normais de íons totais do solo, impossibilitando, desta forma, que se faça análise comparativa com os dados obtidos no presente estudo. Como um dos objetivos principais do presente estudo é tentar estabelecer relações da flora com as condições químicas do solo, ou seja, com a disponibilidade de metais pesados no substrato, o mais interessante seria o conhecimento do teor de metais em forma absorvível pelas plantas.

Mesmo para metais totais, os níveis de concentração considerados normais fornecidos pela literatura (Tabela 2) são muito discrepantes. Como pode ser observado, os valores reportados por Brooks (1972, 1977) e Allen et al. (1974), o que é compreensível uma vez que estes dados variam segundo as condições edáficas locais e a biologia da planta.

Aos estudos voltados à ecologia vegetal interessa identificar os mecanismos de tolerância desenvolvidos por plantas que crescem em áreas mineralizadas. O que na realidade determina se a concentração de metais no solo é normal ou não, é a capacidade ou os mecanismos que as espécies vegetais adaptadas a áreas mineralizadas desenvolvem para sobreviverem nestas condições adversas. Estes mecanismos, diferem muito entre as espécies.

Os resultados mostrados na Tabela 1 demonstram que a concentração de Fe detectada no solo é visivelmente mais elevada que a dos demais metais, o que é compreensível uma vez que o corpo de minério que forma este tipo de canga é a hematita. Segundo Santos (1986), em média, a hematita de Carajás apresenta uma concentração de 66% de Fe. De acordo com Mengel (1979), o Fe está presente, invariavelmente, em todo tipo de solo.

O segundo minério mais concentrado foi o Mn, cujo teor no solo estudado é bem inferior ao de Fe (Tabela 1). Este minério faz parte da composição da jazida principal (Beisiegel, 1982) e, segundo Mengel (1979) é normal a ocorrência de Mn associado ao Fe em rochas magnesianas.

Os demais metais analisados apresentam-se em teores bem menos expressivos, se comparados ao Fe e ao Mn, mas são de igual interesse ao sistema biológico por serem extremamente tóxicos quando em altas concentrações.

O teste estatístico mostrado na Tabela 1 compara as médias do teor de íons metálicos no solo em duas amostragens: início e meio de uma jazida de Fe. Não houve diferença significativa entre as médias comparadas, portanto, os metais analisados estão em concentrações semelhantes no início e centro da jazida em estudo. Este teste foi procedido só para Fe, Cr, Ni, por que foram estes os únicos detectados em níveis anormais nas plantas analisadas.

Conforme ficou evidenciado, tanto na análise fisionômica como na análise fitossociológica de vegetação estudada, a maioria das espécies amostradas nesta área (jazida N3) não está distribuída uniformemente na área. Os resultados da análise dos metais pesados no solo mostram não haver diferença significativa entre os teores dos mesmos em duas amostragens o que leva a dedução de que este fator não é o responsável direto mais importante na distribuição da maioria das espécies na área em estudo, e sim a disponibilidade de água às plantas. Esta afirmativa é corroborada pelo que é conhecido como regra geral para organismos, ou seja, em primeiro lugar está a influência do clima (umidade e temperatura) e depois as diferenças locais de solo.

## 2. Concentração de Metais Pesados em Tecido Vegetal

Na tabela 3 estão relacionados os resultados obtidos na análise química do tecido vegetal. Os metais pesquisados foram: Fe, Mn, Cu, Ni, Cr e Pb. Os teores dos metais supra citados foram examinados em folhas e raízes das espécies: *Bauhinia pulchella*, *Cuphea annullata*, *Ipomea cavalcantei* e somente nas folhas das espécies *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* e *Callisthene minor*.

Ao serem comparados os resultados da Tabela 2 com os da tabela 3, que fornecem os níveis de metais pesados considerados normais em tecido vegetal, são detectadas anormalidades no conteúdo de Fe em raízes de *Bauhinia pulchella*, *Cuphea annullata* e *Ipomea cavalcantei*, e de Ni e Cr em raízes e folhas de todas as espécies examinados. Os teores de Mn, Cu e Pb apresentaram-se normais em todos os tecidos vegetais analisados.

Das três espécies que apresentaram teor de Fe acima do considerado normal *Ipomea cavalcantei* é endêmica da região. O conteúdo de Fe encontrado em suas raízes foi de 1.370 ppm, bem superior aos 500 ppm, limite máximo de normalidade. Porém, a espécie com maior nível de acumulação de Fe em seus tecidos foi *Bauhinia pulchella* com 3.500 ppm e 1.561 ppm, respectivamente, no início e centro da jazida. Na análise fitossociológica, ficou demonstrado que esta espécie

(*Bauhinia pulchella*) foi amostrada em 100% das parcelas da área amostrada, ficando patente sua adaptação ao ambiente adverso tanto de deficiência hídrica/nutricional entre outras, como sua grande capacidade de concentrar níveis anormais de Fe em seus tecidos.

Tabela 1 - Concentração de metais pesados e parâmetros comparativos em duas amostragens de solo tipo canga na jazida de ferro N<sub>2</sub>, Serra Norte - Carajás (PA). n = número de repetições; x = média; s = desvio padrão. Nível de significância de 95% (Amostragem A: início da jazida; Amostragem B: meio da jazida).

METAL :	Concentração nas Amostragens (ppm)						TESTE ESTATÍSTICO		
	A			B			t.calc.	niv.sign.	obs
n	x	s	n	x	s				
Fe	5	45,3 ± 116,5	5	589,6 ± 154,8	-1,8	0,1	n.s		
Mn	5	17,1 ± 5,1	5	13,0 ± 6,5	-	-	-		
Cu	5	0,7 ± 0,2	5	0,5 ± 0,1	-	-	-		
Ni	5	0,5 ± 0,3	5	0,3 ± 0,1	1,5	0,2	n.s		
Cr	5	0,4 ± 0,2	5	0,3 ± 0,1	2,3	0,1	n.s		
Pb	5	0,4 ± 0,2	5	0,5 ± 0,3	-	-	-		

Tabela 2 - Concentração de íons metálicos considerada normal no solo e planta (ppm).

		BROOKS (1977)	ALLEN <i>et al.</i> (1974)	EPSTEIN (1975)
SOLO (íons totais)	Cu	20 ppm	5-100	
	Ni	40 ppm	5-500	
	Pb	10 ppm	2-20	
	Cr	1 ppm	10-100	
	Fe	0,5 - 10%	-	
	Mn	200 - 300 ppm	-	
SOLO íons (trocaíveis)	Cu	-	0,1 - 0,3	
	Cr	-	-	
PLANTA	Cu	-	5 - 25	6
	Pb	-	0,05 - 3	
	Ni	-	0,5 - 5	
	Mn	50 - 1000		50
	Fe	40 - 500		100
	Cr	0,05 - 0,5		

Tabela 3 - Concentração de metais pesados em tecido vegetal e solo em duas amostragens de vegetação sobre canga de minério de ferro (N<sub>2</sub>, Serra Norte, Carajás, (PA) (X+S): Locais I - início do transecto; II - meio do transecto.

Espécie	local órgão	Fe	Mn	Cu	Ni	Cr	Pb
<i>Bauhinia pulchella</i>	I folha	111,4 ± 19,4	55,1 ± 21,8	2,7 ± 0,5	2,0 ± 0,9	4,0 ± 0,2	0,3 ± 0,1
	raiz	3500,8 ± 3066,6	24,9 ± 14,1	3,5 ± 0,2	2,9 ± 0,9	1,2 ± 0,4	1,4 ± 0,8
	II folha	150,8 ± 9,3	19,8 ± 7,7	3,3 ± 0,5	4,1 ± 3,6	3,0 ± 3,4	0,4 ± 0,1
	raiz	1561,5 ± 835,1	17,7 ± 4,9	3,0 ± 0,7	6,2 ± 5,9	3,1 ± 2,4	1,4 ± 1,4
<i>Cuphea annulata</i>	I folha	232,8 ± 21,8	112,0 ± 87,8	3,8 ± 0,4	5,1 ± 1,4	3,5 ± 1,1	0,9 ± 0,2
	raiz	544,0 ± 546,7	810,9 ± 428,2	4,0 ± 0,6	5,1 ± 2,4	3,1 ± 1,7	0,9 ± 0,7
	II folha	230,1 ± 20,4	69,0 ± 18,6	2,5 ± 0,4	5,3 ± 2,6	2,6 ± 0,6	0,7 ± 0,1
	raiz	108,0 ± 42,6	533,7 ± 331,5	2,6 ± 0,6	3,3 ± 0,5	1,7 ± 1,5	0,4 ± 0,1
<i>Ipomoea cavalcantei</i>	II folha	264,2 ± 62,0	106,9 ± 41,9	3,2 ± 0,7	5,1 ± 1,6	2,1 ± 1,9	0,5 ± 0,2
	raiz	1370,8 ± 962,6	184,7 ± 53,6	4,1 ± 1,3	9,7 ± 6,0	2,4 ± 1,5	0,9 ± 0,4
<i>M. acutistipula</i> var. <i>ferrea</i>	I folha	184,0 ± 16,7	108,5 ± 27,9	4,2 ± 0,6	14,8 ± 9,7	3,1 ± 1,2	0,6 ± 0,5
	folha	297,8 ± 42,6	71,2 ± 30,7	5,5 ± 2,6	18,8 ± 15,8	1,0 ± 0,3	0,6 ± 0,5
<i>Callisthene minor</i>	I folha	302,0 ± 30,0	280,8 ± 91,6	5,6 ± 2,3	9,5 ± 4,5	3,2 ± 2,7	0,8 ± 0,6
	folha	259,0 ± 69,6	161,1 ± 57,8	5,0 ± 0,3	9,9 ± 6,6	4,0 ± 3,7	1,2 ± 1,1
Solo	I -	435,3 ± 116,5	17,1 ± 5,1	0,7 ± 0,2	0,5 ± 0,3	0,5 ± 0,2	0,4 ± 0,2
	II -	589,6 ± 154,8	13,0 ± 6,5	0,5 ± 0,2	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,5 ± 0,3

OBS: Valores em negrito apresentam-se mais altos que os níveis considerados normais segundo Brooks (1972, 1977): Fe - 40 a 500 ppm; Cr - 0,05 a 0,5; Allen (1974): Ni - 0,5 - 5 ppm; Epstein (1975): Fe - até 100 ppm.

Os níveis de Fe detectados em tecido vegetal das três espécies supracitadas são anormais, porém não são em quantidades exorbitantes como era de se supor uma vez que a concentração de Fe total na canga hematítica é muito alta. Segundo Mengel (1979) o conteúdo de Fe solúvel no solo é extremamente baixo se comparado ao Fe total. Esta afirmativa pode ser a explicação para os resultados obtidos no presente estudo. Aquele autor reporta-se ao Fe como de difícil mobilidade nas diferentes partes da planta. Talvez por isso mesmo tenham sido detectados valores anormais de Fe só em raízes. Nota-se que nenhuma espécie apresentou concentração de Fe acima da normalidade, em folhas. Como foram analisados, só folhas das espécies *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* e *Callisthene minor* não é possível afirmar se estas duas espécies são ou não acumuladoras de Fe. Elas podem, perfeitamente, estar acumulando o metal nas raízes como as outras espécies analisadas.

Todas as espécies analisadas mostraram-se acumuladoras de Ni. Em pelo menos uma amostragem ficou evidente a concentração acima do limite superior do valor tido como normal: 5 ppm (Tabela 2). Em alguns casos, os níveis de Ni detectados não foram tão altos. É o caso de *Bauhinia pulchella*, cuja acumulação foi de 6,33 ppm em raízes na parte central da jazida e *Cuphea annulata* que apresentou valores anormais nos dois locais amostrados, mas excedendo em pouco as concentrações consideradas normais e com uma variação irrisória entre os dois locais amostrados.

As espécies, *Ipomoea cavalcantei*, *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* e *Callisthene minor* são acumuladoras de Ni bem expressivas e apresentam valores semelhantes no início e centro da jazida. As duas primeiras são endêmicas da região o que leva à suposição de que o Ni por ser considerado altamente tóxico possa ter contribuído ou tenha sido o principal fator na diferenciação genética que resultou no aparecimento destas novas formas. Este íon metálico foi detectado em baixa concentração no solo em sua forma iônica, absorvível pelas plantas. Segundo Mengel (1979), em solos provenientes de rochas ultrabásicas e solos serpentinos (o que não é este caso) o Ni pode ocorrer em concentrações 20 a 40 vezes maior que em outros solos. Nestes casos, o teor de Ni em tecido vegetal pode exceder 200 ppm, enquanto que a faixa considerada normal é a compreendida entre 0,5 - 5 ppm.

As espécies que apresentaram os maiores níveis de acumulação de Ni foram: *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* com 14,78 e 18,8 ppm e *Callisthene minor* com 9,51 e 9,93 ppm no início e centro da jazida de Fe, respectivamente.

O terceiro íon metálico detectado em concentrações anormais no tecido das plantas analisadas foi Cr. A faixa de normalidade deste metal é 0,05 - 0,5 ppm (Brooks, 1972). Portanto, todas as espécies nos dois locais amostrados apresentaram níveis mais altos que o normal. A concentração do teor de Cr foi anormal, indiferentemente, nas folhas e raízes. Mengel (1979) diz ser difícil avaliar a disponibilidade do Cr às plantas, porque ele ocorre normalmente em compostos insolúveis como a cromita (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), óxidos mistos ou silicatos. Segundo este autor o Cr é muito tóxico em concentrações elevadas.

O nível de acumulação de Fe detectado em *Bauhinia pulchella*, *Cuphea annulata* e *Ipomoea cavalcantei* assemelha-se aos reportados por Hutchinson & Whitby (1974) para a espécie *Deschampsia flexuosa* em uma vegetação próxima às minas de Cu e Ni em Ontário, no Canadá. *D. flexuosa* apresentou concentrações de 3.300 ppm e 2.050 ppm de Fe em seus tecidos, a uma distância de 1,6 e 7,4 Km, respectivamente, da mina. Na mesma pesquisa, os níveis de Ni foram muito altos, variando de 10 a 902 ppm em três espécies analisadas. *Vaccinium angustifolium*, *Acer rubrum* e *D. flexuosa*.

Para a Venezuela, Bisht et al. (1976) citam as espécies *Epidendrum o'breintianum* e *Calamagrostis* sp. como indicadoras de depósito de Fe, porém não fornecem dados de concentração do metal nos tecidos das plantas estudadas.

O resultado de uma pesquisa conduzida por Särkelä & Nuorteva (1987), em áreas contaminadas por metais pesados em Finnish Lapland, demonstraram concentrações de ferro em 7 espécies vegetais examinadas. Tais concentrações são inferiores às demonstradas no presente estudo. O líquen *Hypogymnia physodes*, foi o organismo com maior concentração de Fe, apresentou em média 360 ppm.

As médias do conteúdo de Fe evidenciadas no presente estudo estão aquém dos resultados fornecidos por Cannon (1960). Este autor cita uma média de 6.740 ppm de Fe em plantas crescendo sobre solos mineralizados em vários locais do mundo. As médias mundiais reportadas pelo autor são muito elevadas. Para o Ni é citado 65 ppm e para o Cr 9 ppm.

Embora os resultados do presente estudo demonstrem que a concentração de Ni detectada em tecido vegetal esteja acima dos valores normais, não é seguro afirmar-se que trata-se de espécies, verdadeiramente, acumuladoras deste metal o que é compreensível uma vez que a jazida objeto do estudo é de Fe, podendo o Ni ocorrer associado ao ferro, mas em baixa concentração disponível às plantas. Estudos conduzidos sobre depósitos de Ni revelaram plantas hiperacumuladoras deste metal com valores altíssimos, como os reportados por Duvigneaud (1958) para região de Katanga (África), cuja concentração de Ni em sete espécies vegetais variou de 10 à 270 ppm; o maior valor foi concentrado em plantas do gênero *Vellozia* (230 ppm). Cole (1973) detectou até 14.000 ppm de Ni e até 11 ppm de Cr em *Hybanthus floribundus*, na Austrália. Esta mesma espécie foi reportada por Severne (1974) com níveis de acumulação de 5.000 ppm de Ni em tecido foliar. Têm sido detectadas várias espécies dos gêneros *Homalium*, *Hybanthus*, *Alyssium*, *Phyllanthus* e *Geissois* de diversos locais do mundo com teor de Ni superior a 1.000 µg/g de matéria seca (Severne, 1974; Brooks et al., 1977b; Brooks & Radford, 1978; Brooks et al., 1979; Kersten et al., 1979 e Jaffre et al., 1979). Howard-Williams (1970) em suas investigações sobre geobotânica afirma que a espécie *Becium homblei* é capaz de tolerar concentrações acima de 15.000 ppm de Cu em solos cúpricos e aproximadamente 5.000 ppm de Ni em solos ricos neste metal. Segundo Mengel (1979), entre os efeitos negativos que o Ni pode causar à planta é reduzir a disponibilidade de Fe e outros elementos. Como o Fe é um micro-elemento muito importante no metabolismo, participando do sistema

enzimático em atividades vitais como a respiração e fazendo parte da estrutura da clorofila, talvez o efeito danoso do Ni esteja sendo contrabalanceado pelos altos níveis de Fe detectados nos tecidos das plantas analisadas, causando os efeitos quelantes reportados por Epstein (1975).

Severne (1974) encontrou altos níveis de Ni na epiderme vegetal, concluindo que este elemento reduz a transpiração xeromórfica. Talvez isto seja verdadeiro para muitas plantas de Carajás. Naquele ambiente a carência hídrica é um fator muito forte nas áreas escarpadas onde a canga hematítica por suas características físicas é incapaz de reter água. Na análise fitossociológica (Silva, 1992) ficou demonstrado que muitas espécies formadoras daquele tipo vegetacional, principalmente as enumeradas como principais formadoras do grupo “vegetação xerofítica” propriamente dito, apresentam-se bem distribuídas em toda área, demonstrado pelos altos índices de frequência absoluta. Isto é verdadeiro para as espécies *Bauhinia pulchella*, *Cuphea annulata*, *Ipomoea cavalcantei*, *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* e *Callisthene minor*, todas bem distribuídas na vegetação estudada A e com níveis de Ni acima da normalidade. Para as espécies que compõem aquele grupo qualquer característica no sentido de reter água dentro do corpo da planta é muito vantajoso, configurando-se em caracter adaptativo às pressões seletivas ambientais. As espécies formadoras deste subtipo vegetacional são perenes, algumas perdem as folhas (total ou parcialmente) no período mais seco do ano, na região. Esta é também, sem sombra de dúvida, uma das formas de economizar água. É compreensível que as diversas espécies vegetais necessitem de outras adaptações xeromórficas. No caso especial da presente análise, o Ni está sendo útil à planta, uma vez que não encontra-se em níveis de hiperacumulação.

As cinco espécies estudadas apresentaram igual capacidade de acumular Fe, Ni e Cr, não demonstrando especificidade ou preferência por nenhum dos três metais. Portanto, estas espécies são igualmente tolerantes aos metais em apreço. Supõe-se que os mesmos estejam interagindo entre eles neutralizando mutuamente seus efeitos danosos às plantas. Esta interação também é uma forma de tolerância, podendo ser o caso da síntese dos compostos quelantes referidos por Epstein (1975).

### 3. Relação do Conteúdo de Metais Pesados em Tecido Vegetal entre Duas Amostras.

Foi procedido teste estatístico comparando-se as médias de concentrações de íons metálicos em amostras de planta nos dois locais amostrados. Os metais comparados foram o Ferro (Fe), Níquel (Ni) e Cromo (Cr). O Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Cobre (Cu) ficaram fora desta análise por não terem sido detectados níveis anormais dos mesmos em nenhum material vegetal analisado. Esta análise foi realizada para verificar possíveis diferenças nas concentrações dos metais no tecido vegetal no início e meio de uma jazida. A Tabela 4 mostra o resultado desta análise. Com exceção do teor de Fe em folhas de *Bauhinia*

*pulchella* e *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*, todas as outras espécies revelaram-se indiferentes, ou seja, o teor de cada elemento em cada órgão vegetal analisado, folha ou raiz, está em nível semelhante no início e centro da jazida, não indicando um gradiente de concentração dos mesmos. Este resultado é compreensível uma vez que os depósitos de Fe de Carajás ocorrem em afloramentos recobertos por uma vegetação bem caracterizada em toda sua extensão, marcando bem nitidamente os limites físicos das jazidas minerais. As espécies selecionadas para o presente estudo mostraram-se de distribuição regular em toda área mineralizada. Com exceção da espécie *Ipomoea calycanthoides* que não foi amostrada no início do transecto. Sua ausência no início da jazida talvez seja porque a mesma depende de condições ambientais outras, encontradas na parte central da jazida, como alta luminosidade, por exemplo. Supõe-se que a concentração de íons metálicos no solo não seja o principal fator relacionado à distribuição da mesma, uma vez que a concentração de metais no solo é semelhante nos dois pontos amostrados.

#### 4. Acumulação Seletiva de metais Pesados por Órgão Vegetal

Na Tabela 3 é mostrado que a concentração de Fe em níveis acima da normalidade só ocorreu em raízes, evidenciando assim a preferência do metal por este órgão do vegetal. Enquanto que Ni e Cr mostraram-se expressivos independentemente do órgão vegetal. Para demonstrar esta concentração diferencial por órgão do vegetal, foi procedido o teste estatístico comparando-se o conteúdo do metal entre dois diferentes órgãos de uma mesma planta, num mesmo local amostrado. O resultado desta análise encontra-se na Tabela 5. O Fe mostrou-se, na maioria dos casos, em diferentes concentrações, nos órgãos folha e raiz; este fato só não é verdadeiro para *Cuphea annulata* no início da mina. Aí o conteúdo de Fe não difere estatisticamente entre folhas e raízes. Esta especificidade na acumulação de metais pesados por órgãos vegetais foi também detectada por Mathys (1973) e Baumeister & Ernest (1978). Segundo Duvigneaud (1958), a acumulação de metais pesados pode ser variável entre espécies e entre órgãos de uma mesma planta, e, conforme já discutido anteriormente, esta acumulação seletiva do Fe em raízes pode ser pela pouca mobilidade do íon.

No presente estudo, não foi detectado a especificidade do íon metálico a nível de espécie. Os três elementos, Fe, Ni e Cr, que apresentaram-se em níveis acima do considerado normal o foram em todas as espécies analisadas. Exceto o Fe, que só expressou níveis anormais em três espécies, nas outras duas espécies (*Mimosa acutistipula* var. *ferrea* e *Callisthene minor*) as raízes não foram analisadas. Como nas outras espécies, este elemento mostrou preferência de concentração em raízes, não é certo se afirmar que não se concentra nessas espécies.

Mengel (1979) afirma que a taxa de translocação de Cromo na planta é baixa, porém no presente estudo foi evidenciado em taxas semelhantes em raiz e folha, exceto em um único caso, na espécie *Bauhinia pulchella*.

Os teores de íons metálicos (metais pesados) trocáveis no solo apresentaram-

se semelhantes no início e no centro da jazida mineral, demonstrando uma homogeneidade quanto a este fator em toda a área de afloramento rochoso de canga hemática. As cinco espécies analisadas (*Bauhinia pulchella*, *Ipomoea cavalcantei*, *Cuphea annulata*, *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* e *Callisthene minor*) apresentaram níveis anormais de Fe, Ni e Cr em seus tecidos. Todas as espécies são, portanto, tolerantes aos metais em apreço. Supõe-se que os mesmos estejam interagindo entre si, neutralizando mutuamente seus efeitos danosos às plantas. Esta interação pode ser uma forma de tolerância.

Tabela 4 - Comparação dos níveis de metais pesados em tecido vegetal entre dois pontos amostrados - início e centro da jazida mineral (Jazida de ferro Na - Carajás - PA). Nível de significância: 95%.

Espécie	órgão	Metal	T. calculado	Nível de Sig.	Obs.
<i>Bauhinia pulchella</i>	folha x folha	ferro	-4,10	3,43	significante
	raiz x raiz	ferro	1,36	0,21	não significante
	folha x folha	cromo	-1,65	0,14	não significante
	raiz x raiz	cromo	-1,79	0,11	não significante
	folha x folha	níquel	-1,51	0,17	não significante
	raiz x raiz	níquel	-0,68	0,51	não significante
<i>Cuphea annulata</i>	folha x folha	ferro	-0,21	0,84	não significante
	raiz x raiz	ferro	1,78	0,11	não significante
	folha x folha	cromo	-1,65	0,14	não significante
	raiz x raiz	cromo	-1,79	0,11	não significante
	folha x folha	níquel	-0,16	0,87	não significante
	raiz x raiz	níquel	1,64	0,14	não significante
<i>Mimosa acutistipula</i> var. <i>ferrea</i>	folha x folha	ferro	-5,56	5,35	significante
	folha x folha	cromo	3,86	4,79	significante
	folha x folha	níquel	-0,48	0,64	não significante
<i>Callisthene minor</i>	folha x folha	ferro	1,27	0,24	não significante
	folha x folha	cromo	0,38	0,71	não significante
	folha x folha	níquel	-0,11	0,91	não significante

Tabela 5 - Comparação dos níveis de metais pesados entre diferentes órgãos vegetais. Carajás - PA.

Espécie	Órgão	Local	Metal	T.calcul.	Nível Sig.	Obs.
<i>Bauhinia pulchella</i>	folha x raiz	I	ferro	-2,47	0,04	significante
	folha x raiz	II	ferro	-3,78	5,41	significante
	folha x raiz	I	chromo	-3,80	5,24	significante
	folha x raiz	II	chromo	-0,06	0,95	não significante
	folha x raiz	I	níquel	-1,51	0,17	não significante
	folha x raiz	II	níquel	-0,68	0,52	não significante
<i>Cuphea annulata</i>	folha x raiz	I	ferro	-1,27	0,24	não significante
	folha x raiz	II	ferro	5,78	4,13	significante
	folha x raiz	I	chromo	0,39	0,71	não significante
	folha x raiz	II	chromo	1,27	0,24	não significante
	folha x raiz	I	níquel	-0,04	0,97	não significante
	folha x raiz	II	níquel	1,66	0,13	não significante
<i>Ipomoea cavalcantei</i>	folha x raiz	II	ferro	-2,56	0,03	significante
	folha x raiz	II	chromo	-0,25	0,81	não significante
	folha x raiz	II	níquel	-1,71	0,13	não significante

A espécie *Bauhinia pulchella* sobressaiu-se das demais na acumulação de Ni; como esta espécie foi a que apresentou maior frequência na vegetação estudada, é possível que a concentração de Ni esteja relacionada a condições xerofíticas do ambiente "canga hemática".

### Referências Bibliográficas

- ALLEN, S., M.H. GRIMSHAW, J.A. PARKINSON & C. QUARMBY 1974. *Chemical Analyses of Ecological Materials*. Oxford, Blackwelse. SC. Pucl. 565p.
- BAUMEISTER, W. & W. ERNST. 1978. *Mineralstoffe und Pflanzenwachstum* Stuttgart, Gustav Fischer Verlag. p. 1-416.
- BEISIEGEL, V. de R. 1982. Distrito ferrífero da Serra dos Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA. Belém, 1982, Anais... Belém, Sociedade Brasileira de Geologia. p. 21-46.
- BISHT, S.S., C.P. SHARMA & A. KUMAR 1976. Plant response to excess concentration of heavy metals. *Geophytology* 6(2): 296-307.

- BROOKS, R.R. 1972. *Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration*. New York, Haper and Row. 190 p.
- BROOKS, R.R. 1977. *Copper and Cobalt in african species of Crotalaria*. Proc. R. Soc. London. B., 197:231-236.
- BROOKS, R.R. & C.C. RADFORD 1978. Nickel accumulation by European Species of the genus *Alyssum*. Proc. Soc. Lond. B. 200: 217-224.
- BROOKS, R.R., R.S. MORRISON, R.D. REEVES, T.R. DUDLEY, Y. ARMAN, 1979. Hyperaccumulation of nickel by *Alyssum Linnaeus* (Cruciferae). Proc. R.Soc. London. B. 203: 387-403.
- CANNON, P. 1960. Botanical prospecting for ore deposits. *Science*, 132: 591-598.
- COLE, M.M. 1973. Geobotanical and biogeochemical investigations in the sclerophyllous woodland and Shrub associations of the eastern goldfields area of Western Australia, With particular reference to the role of *Hibanthus floribundus* (Lindl.) F. Muel., as a nickel indicator and accumulator plant., *Journ. Appl. Ecol* 10(1):269-320.
- DUVIGNEAUD, P. 1958. La végétation du Katanga et de ses sols métallifères. *Bul Soc. R. Bot Belge* 90: 127-286.
- EPSTEIN, E. 1975. *Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos; São Paulo, Ed. Universidade de São Paulo. 344p. il.
- HOWARD - WILLIAMS, C. 1970. The ecology of *Becium homblei* in Central Africa with Special refernce to metalliferous soils. *J. Ecol* 58: 745-763.
- HUTCHINSON, T. C. & L.M. WHITBY 1974. Heavy-metal pollution in the subdurg mining and smelting region of Canada. I. Soil and vegetation contamination by nickel, copper and other metals. *Envir. Conserv.* 1(2): 123-131
- JAFFRÉ, T.; R.R BROOKS & J.M. TROW 1979. Hyperaccmulation of nickel by Geissois species. *Plant and Soil* 51: 157-162
- KERSTEN, W.J.; BROOKS, R.R.; REEVES, R. D.; JAFFRÉ, T. 1979. Nickel uptake by New Caledoniam species of *Phyllanthus*. *Taxon* 28(5/6): 529-534.
- KOTZ, L.M.; G. KAISER; P. TSCHOPELY & TOLG G. 1972. Aufschlub biologischer matrices für die Bestimmung Sehr niedriger Spurenclementgehalte bei begrenzter Einwaage mit salptersaure unter Druck in einem teflongefäß. *Anal. Chem* 260: 207-209
- KOVALSKIJ, V.V.M. 1977. *Geochemische okologie*. Biogeochemie, Dtsch. Landuvirtschaftsverlag, Berlin.
- MATHYS, W. 1973. Vergleichend untersuchungen der Zinkaufnabme con resistantenten und sensitive population von *Agrostis tenuis* Sibth. *Flora* 169: 492-499
- MENGEL, K. 1979 *Principles of plant nutrition*. 2. ed. Bern. International Potash Institute. 593 p. il.
- PORTO, M.L. 1981. *Beiträge zur Schwermetallvegetation von Rio Grande do Sul, Brasilien*. Tese Universidade de Ulm, República Federal da Alemanha.

- PORTO, M. L. & M.F.F. SILVA 1989. Tipos de vegetação metalófila da área da Serra dos Carajás e Minas Gerais. *Acta Botânica Brasílica* 3(2): 13-21
- SANTOS, B.A. dos 1986. Recursos minerais In: *CARAJÁS: desafio político, ecologia e desenvolvimento*. São Paulo: Brasiliense, Brasília: CNPq p. 294-361.
- SARKELA, M. & P. NUORTEVA 1987. Levels of aluminium, iron, zinc, cadmium and mercury in some indicator plants growing in unpolluted Finnish Lapland. *Ann. Bot. Fennici* 24: 301-305.
- SEVERNE, B.C. 1974. Nickel accumulation by *Hybanthus floribundus*. *Nature* 248: 807-808.
- SILVA, M.F.F. da 1988. Relatório Final do Projeto Carjás. SUB-Projeto Inventário Botânico. Convênio MPEG/CVRG, Contrato 16/83.