



Potencial de fitorremediação da *Alocasia macrorrhiza* para Co, Cu, Ni e Zn¹

Fábio Alexandre Costa Mota², Ézio Sargentini Júnior³, Genilson Pereira Santana⁴

Resumo

O Fator de Translocação (FT) e Fator de Bioacumulação (FB) de Co, Cu, Ni e Zn foram usados para avaliar o potencial fitorremediador da espécie *Alocasia macrorrhiza* para estes metais. Amostras de *Alocasia macrorrhiza* e solos (0-20 cm) foram coletados em quatro ambientes distintos de crescimento da planta. Para encontrar o FT e FB, as concentrações, biodisponíveis nos solos e totais em plantas (folhas, pecíolos, rizomas e raiz), de Co, Cu, Ni e Zn foram determinadas por ICP-OES. Os resultados mostram que as concentrações biodisponíveis de Co, Cu, Ni e Zn em solos variaram de $0,246 \pm 0,186$, $6,459 \pm 6,296$, $9,358 \pm 17,198$ e $131,3 \pm 1117,7$ mg Kg⁻¹, respectivamente. Nas partes da *Alocasia macrorrhiza* obteve-se alta variação de concentrações totais de Co, Cu, Ni e Zn, variando, respectivamente, de 0,012-0,282, 2,423-11,743, 0,618-33,321 e 31,5-468,9 mg kg⁻¹. As maiores concentrações de Co e Cu foram encontradas nas raízes de *Alocasia macrorrhiza*. O único metal a apresentar mobilidade na *Alocasia macrorrhiza* foi o Ni, acumulado preferencialmente nos pecíolos. O Zn apresentou as maiores concentrações nos rizomas. Valores de FT < 1 indicam que *Alocasia macrorrhiza* priorize a parte terrestre para acumulação de Co, Cu e Zn. As concentrações de Zn encontradas na biomassa da planta excedem de duas e três vezes o limite de 150 mg kg⁻¹, considerado normal, indicando que *Alocasia macrorrhiza* pratique fitorremediação com Zn. Valores de FT > 1 mostram que *Alocasia macrorrhiza* apresenta alto potencial fitorremediador de Ni.

Palavras-chave: hiperacumuladora, fitoextração de Ni, acumulação de Zn.

Phytoremediation potential of *Alocasia macrorrhiza* for Co, Cu, Ni and Zn. The factors translocation (TF) and bioaccumulation (BF) of Co, Cu, Ni and Zn were used to assess the potential of these metals by phytoremediation species *Alocasia macrorrhiza*. *Alocasia macrorrhiza* and soil samples (0-20 cm) were collected into four separate areas of plant growth. To find the TF and BF, the Co, Cu, Ni and Zn bioavailable and totals concentrations in the soil and four parts of *Alocasia macrorrhiza* (leaves, stems, rhizomes and root) were determined by ICP-OES, respectively. The results show that the bioavailable concentrations, in the soil, of Co, Cu, Ni and Zn ranged from 0.246 ± 0.186 , 6.459 ± 6.296 , 9.358 ± 17.198 and 131.3 ± 1117.7 mg kg⁻¹, respectively. In parts of *Alocasia macrorrhiza* gave high variation in the total concentrations Co, Cu, Ni and Zn, ranging, respectively, from 0.012 to 0.282, 2.423 to 11.743, 0.618 to 33.321

¹Parte da Tese de Doutorado em Química do Programa de Pós-graduação em Química do primeiro autor (FACM)

² Doutorando do Programa de Pós-Graduação de Química, do Instituto de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Amazonas. Av. Gal. Rodrigo Otávio, 3000, Coroado II, CEP 69077-000. Manaus, Amazonas, Brasil. Professor do Instituto Federal do Amazonas. Av. Cosme Ferreira, 8045, São José, CEP 69083-000. Manaus, Amazonas. E-mail: facmota@hotmail.com.

³Pesquisador e Coordenador do Laboratório de Pesquisas em Dinâmica Ambiental, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Av. André Araújo, 2936, Petrópolis, CEP 69067-375. Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: eziojr@inpa.gov.br

⁴Professor Associado do Departamento de Química, do Instituto de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Amazonas, Av. Gal. Rodrigo Otávio, 3000, Coroado II, CEP 69077-000. Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: gsantana2005@gmail.com.



and 31.5 to 468.9 mg kg⁻¹. The highest concentrations of Co and Cu were found in the root parts of *Alocasia macrorrhiza*. Only metal to provide mobility in *Alocasia macrorrhiza* was Ni, preferentially accumulated in stems. Zn preferentially accumulated in the rhizomes. TF values <1 indicate that *Alocasia macrorrhiza* prefer terrestrial part to the accumulation of Co, Cu and Zn. Zn concentrations found in plant biomass exceed two to three times the limit of 150 mg kg⁻¹, considered normal, indicating that *Alocasia macrorrhiza* practice phytoremediation Zn. TF values > 1 shows that *Alocasia macrorrhiza* present high potential phytoremediation of Ni.

Key-words: hyperaccumulator; Phytoextraction of Ni; Zn accumulation

1.Introdução

O aumento de inúmeras áreas degradadas ambientalmente levou a necessidade de desenvolver tecnologias para remediar essas áreas por todo o planeta. É possível encontrar na literatura várias tecnologias de remediação que propõem além dos efeitos visual e sanitário positivos, benefícios econômicos e ambientais. Nesse contexto, os métodos *in situ* merecem destaque e possuem preferência pois são mais econômicos e capazes de remediar o ambiente *in loco*. Baseada na utilização de plantas, a fitorremediação tornou-se uma tecnologia amplamente usada para remediar solos contaminados por substâncias orgânicas e inorgânicas, por exemplo, petróleo e metais potencialmente tóxicos. Estrategicamente, ao serem expostas aos contaminantes por longos períodos de tempo, algumas plantas desenvolvem capacidade de biodegradar compostos orgânicos e/ou acumular metais potencialmente tóxicos (MANAHAN, 2013).

Plantas com potencial fitorremediador apresentam tolerância tanto a contaminantes inorgânicos quanto orgânicos, pois ao tolerá-los, as plantas fitorremediadoras absorvem, transformam, transferem e/ou concentram esses contaminantes. Dependendo do seu comportamento, a planta fitorremediadora pode ser classificada como acumuladoras (concentração do elemento na planta é superior à encontrada no solo), indicadoras (concentração na planta semelhante à encontrada no solo) ou exclusoras (concentração do metal é mantida em nível constante até que a concentração crítica à planta seja alcançada) (MARQUES *et al.*, 2000). A literatura recomenda a determinação do FT (mede a capacidade da planta de transportar o metal da raiz para

parte aérea) e FB (mede a capacidade da planta em absorver metal da solução nutritiva, ou do solo, e de bioacumular no tecido da parte aérea ou raiz) como indicadores de plantas fitorremediadora (TAVARES, 2009; YOON *et al.*, 2006).

O sucesso da fitorremediação depende de fatores genéticos e ambientais, bem como da adaptação da planta. No caso da adaptação da planta é importante conhecer plantas fitorremediadoras nos locais ambientalmente contaminados. Especialmente no Estado do Amazonas, estudos realizados por Neto (2014) e Pio (2012) indicam que *Alocasia macrorrhiza* é uma planta que se desenvolve bem em áreas contaminadas de Manaus e é capaz de absorver alguns metais potencialmente tóxicos. Em sistemas hidropônicos, verificou comportamento acumulador de Pb no sistema rizosférico de *Alocasia macrorrhiza*, com valores de FB>1 e FT<1. O que motiva continuar o estudo do potencial fitorremediador da *Alocasia macrorrhiza* está no fato de que esta planta apresenta um bom desenvolvimento em áreas secas e encharcadas da região do Polo Industrial de Manaus (PIM), cujos níveis de metais potencialmente tóxicos do principal percurso de água (Igarapé do Quarenta) são extremamente elevados. A literatura reporta que as águas do Igarapé do Quarenta contêm níveis de metais potencialmente tóxicos, exemplos Fe (5540 mg L⁻¹) e Ni (574 mg L⁻¹), atingindo cerca de 5.000 vezes acima dos limites recomendados pela Resolução 357/2005 do CONAMA. Outro metal potencialmente tóxico relatado com valor acima do valor de referência da Resolução CONAMA 420/05, assim como CETESB 195/2005 (60 mg kg⁻¹) é o Zn, dessa vez em solos (SOUZA & SANTANA, 2014).

Como forma de aumentar o conhecimento acerca da *Alocasia macrorrhiza*, este estudo usou os fatores FT e FB para avaliar o uso desta planta como fitorremediadora de Co, Cu, Ni e Zn, metais considerados micronutrientes, porém em doses excessivas, fitotóxicos.

2. Materiais e Métodos

2.1 Coleta e preparo das amostras

As amostras de *Alocasia macrorrhiza* e solos foram coletadas em quatro locais de Manaus (AM) com diferentes níveis de impacto ambiental (Figura 1). No bairro Coroado (CO), as amostras de planta e solo foram coletadas em local impactado, principalmente por resíduos orgânicos oriundo de uma feira de alimentos (3°6056'S; 59°58571'0). O segundo local

está localizado na região do Igarapé do Quarenta (IG), uma região severamente contaminada por resíduos industriais e domésticos (3°4625'S; 59°58844'0). O terceiro local se encontra contaminado basicamente por lixo doméstico e localiza-se no bairro Petro (PE) (3°5018'S; 59°58817'0). O quarto local não continha qualquer impacto ambiental e localiza-se na área preservada do campus universitário da Universidade Federal do Amazonas (UF) (3°6992'S; 59°58479'0). Em cada local, a área de coleta foi delimitada conforme a presença de *Alocasia macrorrhiza*, coletando-se apenas plantas saudáveis e adultas com altura ≥ 100 cm. Em cada local foram escolhidos cinco pontos para coleta de plantas e solo (0-20 cm), que formaram uma amostra composta.



Figura 1 – Locais de coleta de solos e plantas. PE – Conjunto residencial Petro: impacto de lixo doméstico; CO – Bairro Coroado: impacto de resíduos orgânicos; UF - campus da Universidade Federal do Amazonas: floresta fechada, sem impacto antrópico; IG – margens do Igarapé do Quarenta: impacto severo de efluentes industriais e domésticos. Fonte – Google Maps, adaptado.

As amostras de *Alocasia macrorrhiza* foram lavadas com água deionizada até não se observar sujeiras superficiais. Em seguida, as plantas foram separadas em quatro partes: folhas, pecíolos, rizomas e raiz (Figura 2), sendo então pesadas antes e depois da secagem em estufa (MedClave Modelo 4) a 65-70°C por duas semanas. O preparo das amostras de solo consistiu na secagem a temperatura ambiente por duas semanas e peneiradas a 2 mm. Os atributos físico-químicos mostrados na Tabela 1 foram determinados conforme recomendação de EMBRAPA (2009).

2.2 Determinação da concentração de Co, Cu, Ni e Zn

Amostras de 0,5g de plantas (de cada parte) foram digeridas com uso de 5 ml de HNO₃ (Merck) e uso de forno de microondas (Modelo Mars 230/60, CEM) por 15 minutos com temperatura constante de 170 °C após 10 minutos de rampa de aquecimento (10-170°C), a pressão de 20-25 bar. Para decantar material em suspensão, as amostras digeridas foram centrifugadas (Modelo NT-810, Novatecnica) a 2200 rpm por 15 minutos, reservando-se o sobrenadante para obtenção das concentrações totais de Co, Cu, Ni e Zn.



Figura 2 – Plantas separadas: a planta *Alocasia macrorrhiza* apresenta porte médio com quatro partes bem definidas: a parte aérea (folhas e pecíolos) e parte terrestre (rizoma e raiz).

Amostras de 5,0 g de solos foram digeridos com 25 ml de mistura de ácidos concentrados HCl:H₂SO₄, para obtenção das concentrações biodisponíveis. Após 5 minutos de tempo de extração em agitador horizontal e decantação por uma noite, o extrato foi filtrado à pressão ambiente e o filtrado transferido para tubos falcon de 15 ml para leitura em ICP-OES.

Nos extratos obtidos de plantas e solos foram determinadas as concentrações de Co, Cu, Ni e Zn em ICP-OES (iCAP7600 Duo, Thermo).

Condições de operação em ICP-OES para plantas e solos: Co (Axial, 238,892 nm); Cu (Axial, 324,754 nm); Ni (Axial, 231,604 nm) e Zn (202,548 nm). Para leitura de Zn em concentrações acima de 50 mg L⁻¹, uso em posição Radial e abaixo desse valor, uso em posição Axial).

Todo o procedimento usado para plantas e solos, de digestão e separação do sobrenadante (extrato), é recomendado por EMBRAPA (2009) e PEREIRA (2010).

2.3 Fatores de Bioacumulação e Translocação

Os fatores de Bioacumulação (FB) e Translocação (FT) são essenciais para entender o potencial fitorremediador de uma espécie vegetal. O primeiro mostra o comportamento da planta frente ao nível de metal encontrado no solo em que vive. O segundo mostra a inclinação da planta em acumular preferencialmente na parte aérea ou terrestre, logo, estudos de fitorremediação precisam considerar esses dois fatores (CLUIS, 2004; MARQUES *et al.*, 2000). O FB mede a capacidade da planta em absorver o metal do solo e de bioacumulá-lo na biomassa da parte aérea ou da raiz e as plantas são classificadas em acumuladoras (FB > 1), indicadoras (FB = 1) e exclusoras (FB < 1). Já o FT se refere à capacidade da planta em transportar o metal da raiz à parte aérea e as plantas são classificadas em eficientes (FT > 1) e ineficientes (FT < 1) (TIWARI *et al.*, 2011; TANHAN *et al.*, 2007; ZHANG *et al.*, 2002). As equações adiante são usadas para cálculo dos dois fatores:

$$FB = \frac{\text{Concentração de metal na parte aérea ou parte terrestre}}{\text{Concentração de metal no solo}}$$

$$FT = \frac{\text{Concentração de metal na parte aérea}}{\text{Concentração de metal na parte terrestre da planta}}$$

3. Resultados e Discussão

3.1 Propriedades e metais nos solos

A Tabela 1 mostra os atributos dos solos onde os exemplares de *Alocasia macrorrhiza* foram coletados. Os valores de coeficiente de variação (CV) mostram que os solos coletados dos quatro locais possuem variações que vão de 6,8 a 81,5%. As amostras das plantas estudadas se desenvolvem em ambientes diferentes, o que sugere comportamento diferente de acordo com as condições físicas e químicas dos solos, ou seja, a planta tem boa capacidade de adaptação. Outra característica apresentada pelos solos são suas classificações em termos de atributos. Os resultados mostram, conforme as recomendações brasileiras oficiais de fertilidade (RIBEIRO *et al.*, 1999), que tais solos possuem concentrações de P, Ca e Zn, bem como SB (Soma de bases) e v (saturação por bases) consideradas boas. As outras variáveis variam conforme o local amostrado da seguinte forma: i) acidez fraca (CO e PE), média (IG) e alcalina fraca (UF); H^+ + Al^{3+} baixos em PE, UF e CO e média

no IG; iii) CTE (Capacidade de troca efetiva) e CTC (Capacidade de troca iônica) médio para CO e considerado bom para IG, PE e UF; iv) K médio para CO, IG e UF e bom para PE; v) Mg baixo para CO, médio para IG e bom para PE e UF; vi) Cu bom/alto para CO, IG e PE e baixo para UF e vii) para a classe textural, arenoso para CO, argiloso para IG e UF e franco médio para PE. Como esperado os atributos dos solos amostrados são típicos de terra firme da Amazônia central, que na sua maioria são ácidos (FERREIRA *et al.*, 2006).

Pela Tabela 1, nota-se que os atributos indicam que os solos estudados não apresentam propriedades físicas e químicas similares. Dentre os efeitos relacionados à mobilidade de metais, uma das modificações que pode ser constatada é que tipo de carga predomina nos solos estudados: os valores de ΔpH indicam que em relação à região não impactada (UF) e mais impactada (IG), houve uma redução da predominância de cargas negativas nos solos. Destacam-se os solos da região do IG que apresentam predominância de cargas positivas.

Tabela 1 – Atributos físico-químicos dos solos amostrados nos quatro locais de coleta em Manaus (AM): CO – Bairro Coroado; IG – margens do Igarapé do Quarenta; PE – Conjunto Petro; UF – Campus Universitário da Universidade Federal do Amazonas.

Parâmetros químicos	Locais de coleta				*Média(DP)	*CV (%)
	CO	IG	PE	UF		
pH (CaCl ₂)	6,61	5,67	6,13	6,50	6.23(4)	6,8
pH (H ₂ O)	6,97	5,53	6,60	7,35	6.61±0,78	11,9
$\Delta pH(CaCl_2-H_2O)$	-0,36	0,14	-0,47	-0,85		
H + Al (cmolc dm ⁻³)	1,3	3,4	1,9	1,4	2.00±0,97	48,5
P (mg dm ⁻³)	220	105	230	34	147±94	64,1
K (cmolc dm ⁻³)	58	50	110	60	69.5±27,3	39,3
Ca (cmolc dm ⁻³)	4	4,55	11,6	7,5	6.91±3,48	50,4
Mg (cmolc dm ⁻³)	0,25	0,55	2,0	0,95	0.94±0,76	81,5
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	1,4	5,39	6,67	3,7	4.29±2,28	53,1
CTE (cmolc dm ⁻³)	4,4	5,23	13,88	8,6	8.03±4,30	53,6
CTC (cmolc dm ⁻³)	5,7	8,63	15,78	10,0	10.03±4,23	42,2
SB (cmolc dm ⁻³)	4,4	5,23	13,88	8,6	8.03±4,30	53,6
Saturação por bases (%)	77,2	60,6	87,96	86,0	77.9±12,5	16,0
Areia (%)	83,49	32,11	54,79	57,66	57.01±21,03	36,9
Silte (%)	4,01	22,89	20,21	9,84	14.24±8,84	62,1
Argila (%)	12,50	45,00	25,00	32,50	28.7±13,6	47,4

*Os valores de DP (desvio-padrão) e CV (coeficiente de variação) se referem aos dados dos quatro locais.

As concentrações biodisponíveis de metais encontradas nos solos estão na Tabela 2, assim como os valores de prevenção informados na Resolução CONAMA 420/09

e CETESB 195/2005 (os valores de prevenção para solos em CONAMA e CETESB são idênticos) (Tabela 2). Para Co e Cu, as concentrações nos locais estão

seguramente abaixo do que informa ambos os documentos, mas Ni e Zn apresentam dados preocupantes. No local IG, o teor de Ni ultrapassa esse limite e o de Zn está bem próximo desse valor. Como já informado

anteriormente, esse local é conhecido receptor de efluentes de origem industrial, devido estar sob influência do Polo Industrial de Manaus.

Tabela 2 – Médias(DP) de concentrações de metais biodisponíveis em solos nos locais de coleta e valores recomendados por CONAMA (2009) e CETESB (2005)

Locais	Metais (mg kg ⁻¹)			
	Co	Cu	Ni	Zn
CO	0,114(0,024)	8,576(1,868)	0,795(0,203)	81,898(15,066)
IG	0,504(0,061)	14,363(1,420)	35,154(2,618)	294,700(10,943)
PE	0,259(0,028)	2,377(0,194)	0,978(0,072)	128,967(8,040)
UF	0,105(0,016)	0,518(0,152)	0,506(0,132)	19,802(2,696)
*Média	0,246(186)	6,459(6,296)	9,358(17,198)	131,3(117,7)
CV (%)	75,6	97,5	183,8	89,6
**CONAMA (420/09)	25	60	30	300

$$*Média = \frac{\sum CO+IG+PE+UF}{12}$$

**Valores de prevenção. Os valores são idênticos aos sugeridos por CETESB (2005).

No local IG, que detém o solo mais ácido, baixo teor de matéria orgânica, e classificado como argiloso (45%), é o local que apresenta concentrações dos 4 metais bem superiores (Tabela 2) aos encontrados em UF, sendo este o local menos ácido (pH em água), baixo teor de matéria orgânica e também argiloso. Como se nota na Tabela 2, IG e UF são os locais que estão em extremos em concentração dos metais, apresentando as maiores e menores, respectivamente. As características dos locais, já apresentadas, já sugerem essa situação. Exceto para Cu, o local PE apresentou as maiores concentrações de metais em relação ao local CO. Como Zn e Ni são metais que tem importantes contribuições antrópicas de origem industrial, é esperado que em PE, que sofre influência de igarapé presente na região do PIM e descarte de lixo proveniente de bairro de classe média/alta, onde foram encontrados descartados materiais eletrônicos diversos, apresente maiores concentrações desses metais do que CO, localizado nas proximidades de feira de alimentos, logo, rico em descarte de natureza orgânica. Essas características extremas explicam parcialmente a proporção, no entanto, a oferta de resíduos industriais no local IG, como já citado, deve ser o grande responsável pelas concentrações muito superiores de metais nesse local.

3.2 Metais nas plantas

A planta retira seus nutrientes diretamente da solução do solo, sendo que estes estão distribuídos no solo nas formas disponíveis ou não disponíveis, sendo que os primeiros estão localizados na solução do solo, no seu complexo de troca ou na matéria orgânica mineralizável (NOVAIS *et al.*, 2007). O pH dessa solução afeta diretamente a eficiência de absorção de nutrientes pelas células das raízes das plantas. De forma geral, as plantas absorvem eficientemente os nutrientes em soluções com pH 6,0 a 7,0 (MALAVOLTA, 1980). Mas também a argila e a matéria orgânica influenciam na retenção da grande maioria dos metais pesados (PAYE *et al.*, 2010), logo, suas concentrações nos solos devem ser consideradas. A classificação textural do solo é importante pois informa sobre a mobilidade dos metais no dado solo, de forma geral, quanto maior o teor de argila, maior será a troca dos cátions, logo, menor será a mobilidade do metal neste solo (TAVARES *et al.*, 2013). Como visto, os solos de IG e UF são classificados como argilosos e valores de CTC e CTE classificados como adequados para fertilidade (RIBEIRO *et al.*, 1999), então a mobilidade dos metais nestes solos mostra-se semelhante, no entanto, como no caso do

IG trata-se de um fornecimento de luxo dos metais, pelas razões já descritas, a absorção pelas plantas é expressivo, condições que não são encontradas em UF. O pH mais ácido em IG otimiza a biodisponibilidade dos metais, o que para UF, de pH alcalino fraco, torna os metais mais ligados ao solo, já que ocorre a precipitação de formas insolúveis (hidróxidos, carbonatos, etc.) (KABATA-PENDIAS, 2011).

A Tabela 3 apresenta as concentrações médias dos metais nas quatro partes dos exemplares de *Alocasia macrorrhiza* e também as concentrações consideradas normais desses metais nas plantas (MANLIO, 2006). Em termos de distribuição as concentrações determinadas variaram conforme o metal e a parte da planta.

O Co apresentou suas maiores concentrações todas nas raízes, o que indicaria que o metal apresenta mobilidade restrita, o que já sugere a literatura (KABATA-PENDIAS, 2011; MANLIO, 2006). Sua essencialidade não é considerado unânime para plantas, como os demais metais avaliados neste estudo. É considerado benéfico e de absorção lenta (KABATA-PENDIAS, 2011; NOVAIS *et al.*, 2007; MANLIO, 2006; MALAVOLTA, 1980).

O Cu, assim como Co, apresentou as maiores concentrações nas raízes, exceto em PE. Nos quatro locais, as folhas apresentam concentrações de Cu próximas àquelas nas raízes, sugerindo que o metal flui por toda a *Alocasia macrorrhiza*, diferentemente do que sugere a literatura de que teria mobilidade restrita (MALAVOLTA *et al.*, 1997). Ao contrário do Co, é considerado altamente fitotóxico (KABATA-PENDIAS, 2011). É possível que as altas concentrações de Zn tenham causado menor absorção de Cu pela planta, já que apresentam relação antagônica, pois disputam os mesmos sítios de absorção (KABATA-PENDIAS, 2011; MALAVOLTA *et al.*, 1997).

O Ni foi o único que apresentou as maiores concentrações na parte aérea da planta, nos pecíolos, exceto em IG, indicando média mobilidade. O Ni apresentou concentrações inferiores nas folhas em relação aos pecíolos. Em IG, todos

os valores encontrados do metal ultrapassam aqueles considerados normais em plantas (Tabela 3). Especificamente em PE, o Ni apresentou altos valores nos pecíolos em relação aos outros locais amostrados. Atua na resistência a doenças e na atuação da enzima urease (MANLIO, 2006), no entanto, seu excesso diminui a absorção de vários elementos (MALAVOLTA, 1980).

Assim como Ni, o Zn também se destaca nas concentrações encontradas. Os rizomas no local CO apresentaram elevadas concentrações; ou seja, praticamente a metade do valor que caracteriza hiperacumulação. Em outros locais e partes, também houveram valores expressivos, apesar de ser conhecida sua baixa mobilidade (NOVAIS *et al.*, 2007; MANLIO, 2006; MALAVOLTA *et al.*, 1997), mas, a absorção pelas folhas também é relevante (NOVAIS *et al.*, 2007). Como ocorreu com os outros metais, o IG também se destaca com concentrações expressivas de Zn. Os valores normais de Zn em plantas foram superados nos locais CO e IG, largamente nos rizomas, sendo a parte da planta que apresentou as maiores concentrações.

De forma geral, as concentrações encontradas nos solos são diretamente proporcionais às encontrados em plantas crescendo neste solo, considerando fatores diversos que podem alterar essa dinâmica. Neste trabalho, o local IG apresentou as maiores concentrações nas plantas coletadas em relação aos 4 metais analisados.

Em síntese, dentre os quatro metais analisados, o Ni e o Zn foram os que apresentaram potencial, nas condições do estudo, para fitorremediação, devido as concentrações encontradas serem superiores aos valores considerados normais. Para Co e Cu, as concentrações excederam apenas ligeiramente as concentrações consideradas normais. Deve-se atentar que a planta foi submetida a condições de fornecimento de luxo de Ni e Zn no local IG, logo, se condições semelhantes ocorrerem com Co e Cu, a planta pode apresentar potencial fitorremediador para estes metais.

Tabela 3 – Médias (DP) de concentrações (mg kg⁻¹) dos metais nas diferentes partes de *Alocasia macrorrhiza*

Metal	Parte planta	Local de coleta				*CN	**Hiper
		CO	IG	PE	UF		
Co	Folha	0,09(9)	0,05(2)	0,04(1)	0,07(4)		
	Pecíolo	0,05(1)	0,08(2)	0,03(2)	0,06(2)		
	Rizoma	0,07(2)	0,09(1)	0,09(2)	0,04(1)		
	Raiz	0,14(2)	0,49(6)	0,17(2)	0,28(2)		
	Soma	0,35	0,71	0,33	0,45	0,05-0,3	>1000
Cu	Folha	6,40(47)	5,97(62)	8,15(17)	4,54(8)		
	Pecíolo	3,51(11)	5,44(75)	2,42(17)	3,38(5)		
	Rizoma	5,02(13)	4,95(35)	6,08(14)	5,53(3,2)		
	Raiz	7,25(35)	11,74(86)	7,66(88)	9,97(1,7)		
	Soma	22,18	28,1	24,31	23,42	2,0-20	>1000
Ni	Folha	1,00(7)	15,30(6)	1,45(1)	0,62(51)		
	Pecíolo	1,58(7)	13,25(20)	33,3(1,9)	6,03(18)		
	Rizoma	0,65(9)	9,74(11)	1,06(20)	0,22(12)		
	Raiz	0,86(11)	10,44(20)	0,69(14)	2,32(6)		
	Soma	4,09	48,73	36,52	9,19	0,3-3,5	>1000
Zn	Folha	43,8(2,6)	83,6(2,5)	55,3(6)	31,6(6)		
	Pecíolo	46,2(1,0)	187,1(3,3)	44,7(8)	87,9(8)		
	Rizoma	459,4(8,5)	348,1(4,7)	119,1(2,9)	29,0(8,2)		
	Raiz	42,3(3,9)	125,8(5,5)	55,8(8,3)	28,5(1,8)		
	Soma	591,8	744,6	274,82	176,89	3,0-150	>10 000

*CN (Concentrações Normais). MANLIO (2006).

**Hiper (Hiperacumulação). BAKER & BROOKS (1989).

3.3 Fatores FB e FT

A Tabela 4 traz os valores encontrados para FT e FB, de acordo com os locais de coleta. Os valores de $FB \geq 1$ indicam que a *Alocasia macrorrhiza* é potencialmente acumuladora de Cu, Co, Ni e Zn. Todavia, as concentrações de Cu e Co não foram expressivas. Os valores de $FT < 1$ para Cu e Co mostram que estes metais não são transportados eficientemente para a parte aérea, supondo que a *Alocasia macrorrhiza* apresenta habilidade de fitoestabilização (YOON *et al.*, 2006). Os valores de $FT > 1$ para Ni mostram que a *Alocasia macrorrhiza*, além de ter potencial acumulador, é capaz de transportar eficientemente o Ni para a parte aérea, preferencialmente nos caules. O $FT < 1$ (exceção em UF) indica que a parte terrestre da *Alocasia macrorrhiza* acumula preferencialmente o Zn. Além disso, as altas concentrações de Zn em toda planta

demonstram que este metal se destaca em relação a Cu, Co e Ni.

Tabela 4 – Fatores calculados para os metais

Metais	Locais de coleta	*FB	FT
Co	CO	1,45	0,68
	IG	1,15	0,22
	PE	1,00	0,25
	UF	3,03	0,42
Cu	CO	1,43	0,81
	IG	1,16	0,68
	PE	5,78	0,77
	UF	29,94	0,51
Ni	CO	1,91	1,70
	IG	0,57	1,41
	PE	1,79	19,88
	UF	5,02	2,61
Zn	CO	6,24	0,17
	IG	1,62	0,57
	PE	8,68	0,58
	UF	0,48	1,94

*FB se refere a parte terrestre da planta



4. Conclusões

Alocasia macrorrhiza se mostrou eficiente em transportar o Ni da parte terrestre para a parte aérea e valores de FB e FT indicam que a referida planta tem potencial para acumulação do metal, também devido aos altos valores de concentrações encontrados na biomassa da planta, acima dos valores esperados em plantas. *Alocasia macrorrhiza* apresenta então comportamento fitoextrator para o Ni.

As concentrações dos metais Co e Cu, dentro dos padrões esperados, indicam que *Alocasia macrorrhiza* não apresentou condições de demonstrar potencial acumulador. Não foi eficiente em transportá-los para a parte aérea, não sendo apta a ser usada em programas de fitorremediação pela técnica da fitoextração, mas devidos valores adequados de FB altos e FT baixos, pode ser usada em técnicas que tem a raiz como agente principal, exemplos são a fitoestabilização.

O Zn foi o metal que apresentou as concentrações mais expressivas, e, para todos os locais, acima dos valores considerados normais em plantas. As concentrações encontradas no local IG foram aproximadas das concentrações características de hiperacumulação. Assim como para Co e Cu, *Alocasia macrorrhiza* não transporta eficientemente Zn para a parte aérea indicando que estratégias de fitorremediação que priorizam acúmulo de metal na raiz são as mais indicadas, como indica $FT < 1$. Valores de $FB > 1$ confirmam o potencial acumulador da referida planta para Zn.

Agradecimentos

A Marcos Alexandre Bolson, técnico de laboratório de Dinâmica Ambiental, INPA e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela Bolsa de Doutorado.

Divulgação

Este artigo é inédito. Os autores e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos

autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

Referências

BAKER, A. J. M.; BROOKS, R. R. Terrestrial higher plants which hyper accumulate metallic elements – Review of their distribution, ecology, and phytochemistry. **Biorecovery**, v.1, pp. 81-126 1989

CETESB. Decisão de Diretoria nº 195-2005-E, de 23/11/2005. DOE, Poder Executivo, SP, 31/12/2005, seção 1, vol. 115, n. 227, pp. 22-23. Retificação no DOE, 13/12/2005, v. 115, n. 233, p. 42, 2005.

CLUIS, C. Junk-greedy greens: phytoremediation as a new option for soil decontamination. **BioTeach Journal**, v. 2, pp. 61-67, 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO-AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 420/2009. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf> >. Acesso em 10/12/2015.

EMBRAPA. Silva, F. C. da (Organizador) **Embrapa. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 630p, 2009

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; MIRANDA, S. A. F.; SILVA, M. do S. R.; VITAL, A. R. T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 1, pp. 59–68, 2006.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4^o Edition. CRC Press, 534p, 2011.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo, SP. Editora Agronômica CERES, 255p., 1980

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas – Princípios e aplicações**. Piracicaba, SP. 2^o Edição. POTAFOS, 319p., 1997.

MANAHAN, S. E. **Química Ambiental**. 9^o Edição. Bookman, 912p., 2013

MANLIO, S. F. (Editor). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG. SBCS, 432p., 2006.



MARQUES, T. C. L. L. de S e M.; MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, pp. 121–132, 2000.

NETO, A. G. de S. **Desenvolvimento de sistema Wetland construído combinado com reator eletroquímico para tratamento de efluentes contaminados com metais potencialmente tóxicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG. SBSC, 1016p., 2007

PAYE, H. de S.; MELO, J. W. V.; MELO, S. B. Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, vol. 36, pp. 1031–1041, 2012

PEREIRA, A. A.; BORGES, J. D.; LEANDRO, W. M. Metais pesados e micronutrientes no solo e em folhas de *Brachiaria decumbens* às margens de rodovias. **Bioscience Journal** v. 36, n. 3, pp. 347- 357, 2010.

PIO, M. C. S. Estudo da viabilidade da remoção de metais potencialmente tóxicos de um igarapé da região do Pólo Industrial de Manaus (PIM) utilizando um sistema piloto de tanque com macrófita e *Wetland* construído. Tese de doutorado. Universidade Federal do Amazonas, 2012.

PIO, M. C. S.; SOUZA, K. S.; SANTANA, G. P. Capacidade da *Lemna aequinoctialis* para acumular metais pesados de água contaminada. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 2, pp. 203–210, 2014.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V.; V. H. (Editor). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas**

Gerais: 5° aproximação. Viçosa, MG: Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. 359p, 1999.

SOUZA, W. B. DE; SANTANA, G. P. (2014). Mineralogy , zinc kinetic adsorption and sequential extraction of contaminated soil in Manaus , Amazon. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 788–793. DOI: 10.1590/S0103-84782014000500005

SANTANA, G. P.; CHAVES, E. V. *In*: Oliveira, C. A. de; Pinto, J. G. (Organizadores). **Amazônia – Responsabilidade de todos**. Manaus, AM: EDUA, 143p, 2009.

TANHAN, P.; KRUATRACHUE, M.; POKETHITIYOOK, P.; CHAIYARAT, R. Uptake and Accumulation of Cd, Pb and Zn by Siam weed (*Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson). **Chemosphere**, v. 6, pp. 323-329, 2007. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2006.12.064

TAVARES, S. R. L.; OLIVEIRA, S. A.; SALGADO, C. M. A avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. **Holos**, v. 5, n 29, pp. 80-97, 2013.

TIWARI, K. K.; SINGH, N. K.; PATEL, M. P.; TIWARI, M. R.; RAI, U. N. Metal contamination of soil and translocation in vegetables growing under industrial wastewater irrigated agricultural field of Vadodara, Gujarat, India. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 74, pp. 1670–1677, 2011. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2011.04.029.

YOON, J.; CAO, X.; ZHOU, Q.; MA, L. Q. Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. **Science of the Total Environment**, v. 368, pp. 456–464, 2006. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.01.016

ZHANG, W., CAI, Y., TU, C., MA, L.Q. Arsenic speciation and distribution in an arsenic hyperaccumulating plant. **Science of the Total Environment**, v. 300, pp. 167-177, 2002