

Universidade Federal do Amazonas
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Química

**Avaliação da espécie vegetal *Alocasia macrorrhiza* como
fitorremediadora de metais potencialmente tóxicos**



Fábio Alexandre Costa Mota

Manaus
2016

Avaliação da espécie vegetal *Alocasia macrorrhiza* como fitorremediadora de metais potencialmente tóxicos

Aluno: Fábio Alexandre Costa Mota

Orientador: Prof. Dr. Genilson Pereira Santana

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências, área Química Analítica.

Manaus, abril de 2016

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M917a Mota, Fábio Alexandre Costa da
Avaliação da espécie vegetal *Alocasia macrorrhiza* como
fitorremediadora de metais potencialmente tóxicos / Fábio
Alexandre Costa da Mota. 2016
60 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Prof. Dr. Genilson Pereira Santana
Tese (Química) - Universidade Federal do Amazonas.

1. hiperacumulação. 2. Fitoextração de Ni. 3. acumulação de Zn.
4. acumulação de Cr. I. Santana, Prof. Dr. Genilson Pereira II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

“AVALIAÇÃO DA ESPÉCIE VEGETAL ALOCASIA MACRORRHIZA
COMO ESPÉCIE FITORREMEIADORA DE METAIS
POTENCIALMENTE TÓXICOS”

Fábio Alexandre Costa Mota

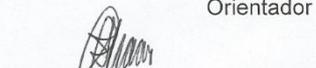
Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Amazonas
como requisito parcial para a obtenção do Grau de Doutor em Química.

Aprovado em 19 de Abril de 2016

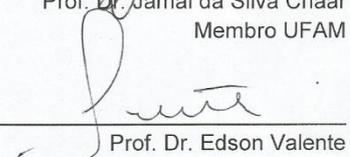
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Genilson Pereira Santana
Universidade Federal do Amazonas
Orientador



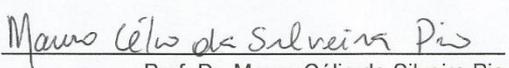
Prof. Dr. Jamal da Silva Chaar
Membro UFAM



Prof. Dr. Edson Valente
Membro Externo



Prof. Dr. Eduardo Nagao
Membro Externo



Prof. Dr. Mauro Célio de Silveira Pio
Membro Externo

Universidade Federal do Amazonas
Manaus, 19 de Abril de 2016.

Dedicatória

Philippe Johnatan Otto Sabbá

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Dr. Genilson Pereira Santana pela amizade, orientação e serenidade nos momentos necessários e desnecessários.

Agradeço a UFAM e ao INPA pela disponibilidade de toda a estrutura necessária.

Agradeço a CAPES pela concessão da bolsa de doutorado.

Agradeço pela participação do Prof. Dr. Ézio Sargentini Junior neste estudo englobando disponibilidade de infraestrutura e amizade.

Agradeço aos técnicos de laboratório Marcos Alexandre Bolson, do Laboratório de Dinâmica ambiental, INPA e Eila Bentes, dos laboratórios de Engenharia Química da ULBRA, pela ajuda em análises químicas e toda ajuda disponibilizada.

Ao Prof. Dr. Bruno Fernando Faria Pereira, da Faculdade de Ciências agrárias (FCA) pelas sugestões.

A Diretora Liosete Santos da Escola Estadual Ernesto Penafort pela compreensão em momentos de ausência no trabalho.

Aos colegas Anderson Lages, João Vitor Loureiro, Erasmo Sérgio Pessoa e Liliam Gleicy pelo coleguismo no decorrer do curso.

A Profa. Dra. Liliam Gleicy de Souza Oliveira por disponibilidade de laboratórios e equipamentos da ULBRA.

A Agrônoma Ângela Azevedo por ajuda em casa de vegetação.

A Philippe Johnatan pela ajuda em casa de vegetação, coletas, etc.

A Philippe Johnatan pela paciência nas minhas ausências física e psicológica.

Sumário

Lista de Tabelas	ix
Lista de Figuras	ix
Capítulo 1 – Plantas e metais potencialmente tóxicos – estudos de fitorremediação no Brasil	1
Resumo	2
Abstract	3
1. Introdução	3
2. Metodologia	4
3. Fitorremediação no Brasil	5
3.1 Condições controladas	5
3.2 Condições de campo	7
4. Dados em pesquisas de currículos e grupos de pesquisas no Brasil	9
5. Perspectivas na fitorremediação	11
6. Considerações finais	12
Divulgação	12
Referências	13
Anexos	19
Capítulo 2 – Potencial fitorremediador de <i>Alocasia macrorrhiza</i> para os metais Co, Cu, Ni e Zn	22
Resumo	23
Abstract	24
1. Introdução	24
2. Materiais e Métodos	26
2.1 Coleta e preparo das amostras	26
2.2 Determinação da concentração de Co, Cu, Ni e Zn	27
2.3 Fatores de Bioacumulação e Translocação	28
3. Resultados e Discussão	28
3.1 Propriedades do solo e concentração de metais nos solos	28
3.2 Concentrações de metais nas plantas	31
3.3 Fatores FB e FT	34
4. Conclusões	35
Agradecimentos	36

Divulgação	36
Referências	36
Capítulo 3 – Phytoremediation potential of <i>Alocasia macrorrhiza</i> for Cd, Cr and Pb ..	40
Abstract	41
1. Introduction	42
2. Materials and Methods	43
2.1 Sampling sites	43
2.2 Physical and chemical property analysis	44
2.3 Heavy metals analysis	44
3. Results and discussion	45
3.1 Soil metal concentration	45
4. Conclusion	47
References	48

Lista de Tabelas

Capítulo 1

Tabela 1 – Intervalos de concentrações consideradas normais de alguns metais em plantas 5

Tabela 2 – Informações gerais sobre estudos de fitorremediação na Amazônia realizados pelo grupo de pesquisa Química Ambiental da UFAM 19

Tabela 3 – Informações gerais sobre outros estudos de fitorremediação com espécies estudadas pelo grupo de pesquisa Química Ambiental 20

Tabela 4 – Informações gerais sobre estudos de fitorremediação realizados por grupos de pesquisas de instituições de ensino brasileiras 21

Capítulo 2

Tabela 1 – Atributos físico-químicos dos solos amostrados nos quatro locais de coleta em Manaus 29

Tabela 2 – Médias (DP) de concentrações de metais biodisponíveis em solos nos locais de coleta 30

Tabela 3 – Médias (DP) de concentrações em mg kg^{-1} de metais na *Alocasia macrorrhiza* 33

Tabela 4 - Fatores calculados para os metais 35

Capítulo 3

Table 1 – Physical and chemical attributes of soils sampled in the four sampling sites in Manaus 45

Tabela 2 – Average ($n=3$) of available metal concentration (mg kg^{-1}) in soil samples and permitted recommended by CETESB (2005) 46

Tabela 3 – Metal concentration (mg kg^{-1}) analyzed into the *Alocasia macrorrhiza* tissues 46

Lista de Figuras

Capítulo 2 - Figura 1 - Locais de coleta de solos e plantas 26

Figura 2 - Partes de plantas 27

Capítulo 3 - Figura 1 – Location of collecting soil and plants 44

Capítulo 1 – Artigo
**“Plantas e metais potencialmente tóxicos – Estudos de
fitorremediação no Brasil**

Plantas e metais potencialmente tóxicos – estudos de fitorremediação no Brasil ¹

Fábio Alexandre Costa Mota², Genilson Pereira Santana³

Resumo

Diversas situações de impacto ambiental tornaram-se comuns em praticamente todo o globo terrestre. Dentre os agentes que impactam o ambiente encontram-se os metais potencialmente tóxicos (MPT), contaminantes que afetam diretamente o metabolismo dos seres vivos além de causar várias doenças. Sendo amplamente divulgada nas últimas décadas, a fitorremediação destaca-se como técnica de remediação de solos impactados pelos MPT. Todavia, o sucesso da técnica depende da coleção de plantas fitorremediadoras da região degradada. Esta revisão apresenta um painel da quantidade de profissionais e grupos de pesquisas no Brasil envolvidos em estudos de fitorremediação e apresenta alguns estudos desenvolvidos na área de fitorremediação. Tais informações foram obtidas a partir de buscas em bancos de dados virtuais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e os estudos, em sites especializados. Os resultados indicam que a fitorremediação consolida-se no Brasil como uma área em franca expansão tanto em número de pesquisadores envolvidos quanto em estudos desenvolvidos.

Palavras-chave: absorção de metais; grupos de pesquisa; áreas degradadas

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

²Doutorando 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.

³Professor 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.

Abstract

Several situations of environmental impact have become common in virtually the entire globe. Among the agents that impact the environment are potentially toxic metals (MPT), contaminants that directly affect the metabolism of living beings and cause various diseases. Being widely publicized in recent decades, phytoremediation stands out as a soil remediation technique impacted by MPT. However, the success of the technique depends on the collection of plants phytoremediation the degraded area. This review presents a panel of the number of professionals and research groups in Brazil involved in phytoremediation studies and presents some studies of the area developed by Brazilian research groups. This information was obtained from searches in virtual databases of the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and studies in specialized sites. The results indicate that phytoremediation is consolidated in Brazil as an area expanding both the number of researchers involved as in developed studies.

Key-words: absorption of metals; research groups; degraded areas.

1.Introdução

A fitorremediação é uma tecnologia complexa que envolve fatores fisiológicos e ambientais. A planta fitorremediadora desenvolve diferentes estratégias para remediar o solo contaminado por metais potencialmente tóxicos (MPT). Essas estratégias se classificam em :i) rizofiltração, em que a planta acumula o contaminante no sistema rizosférico, para absorver, acumular e/ou precipitá-lo; ii) fitovolatilização que consiste no transporte do contaminante até as folhas, sendo então volatilizado; iii) fitoestimulação: a degradação dos contaminantes no solo ocorre pela exsudação de substâncias pelas raízes das plantas; iv) fitoextração, neste caso a planta extrai os contaminantes do ambiente e os transporta até a parte aérea, podendo então ser colhidos; e v) fitoestabilização em que o contaminante é imobilizado por complexação (lignificado ou humificado) no sistema rizosférico (MANAHAN, 2013; BAIRD & CANN, 2011; SANTANA & CHAVES, 2009; ANDRADE *et al.*, 2007).

Plantas fitorremediadoras desenvolvem a partir de determinadas concentrações a capacidade de tolerar altos níveis de metais potencialmente tóxicos (MPT) (KABATA-PENDIAS, 2011). Em outras espécies de plantas, os MPT alteram diretamente o crescimento, a distribuição, assim como o metabolismo de plantas de forma geral (BARBOSA JR, 2009). Muitas espécies vegetais já foram confirmadas como hiperacumuladoras, no entanto, a maioria dos estudos são desenvolvidos em regiões de

clima temperado. Em uma definição bem conhecida e usada como parâmetro para definição de plantas hiperacumuladoras, BAKER & BROOKS (1989) considera que são as plantas que acumulam em sua biomassa (em peso de tecido seco) a partir de 10 000 mg kg⁻¹ de Mn ou Zn; 1000 mg kg⁻¹ de Co, Cu, Cr, Ni ou Pb e 100 mg kg⁻¹ de Cd. Como se nota, a definição não abrange todos os metais, excluindo inclusive um dos metais considerados mais fitotóxicos, o Al (MANLIO, 2006).

Além disso, a utilização de plantas fitorremediadoras devem ter as seguintes características: i) capacidade de absorção, concentração e/ou metabolização e tolerância ao contaminante; ii) alta taxa de crescimento e produção de biomassa; iii) resistência a pragas e doenças; iv) ocorrência natural em áreas poluídas, além de outras características. Uma planta dificilmente reunirá todas as características desejadas, mas deve reunir o maior número delas (SANTANA & CHAVES, 2009).

2. Metodologia

Esta revisão busca apresentar uma visão aproximada da quantidade de profissionais e grupos de pesquisa envolvidos em estudos de fitorremediação, em território brasileiro, e também apresentar resultados de alguns estudos desenvolvidos no Brasil cujo objetivos são conhecer plantas com potencial fitorremediador.

Em relação a quantidade de grupos de pesquisa e profissionais envolvidos na área, a estratégia consistiu em buscas de ambas as informações no banco de dados no portal do Currículo Lattes e no Banco de diretórios de grupos de pesquisa, ambos mantidos pelo site do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq (CNPq, 2016). No portal Currículo Lattes, buscou-se o número de doutores e outros (mestres, graduados, estudantes, técnicos, etc.). Ambos os casos, as buscas utilizaram a palavra-chave “fitorremediação”.

Em relação aos estudos desenvolvidos no Brasil foram realizadas pesquisas de estudos de fitorremediação em sites como Capes periódicos, Google acadêmico, assim como estudos de dissertações de mestrado e teses de doutorados. Todos os trabalhos foram desenvolvidos em território brasileiro.

Devido a diversidade de nomes comuns e variáveis dos mesmos geograficamente optou-se por usar exclusivamente os nomes científicos das plantas citadas nesta revisão.

3. Fitorremediação no Brasil

Estudos de fitorremediação de metais potencialmente tóxicos (MPT) podem envolver condições controladas ou condições de campo (ambientes naturais), tanto em solos quanto em águas. Os estudos em condições controladas normalmente ocorrem em casa de vegetação, onde se faz uso de sais inorgânicos solúveis em concentrações previamente escolhidas, geralmente pautadas em legislações ambientais específicas. Já estudos em condições de campo envolvem, inicialmente, a escolha e a caracterização físico-química de uma área com impacto ambiental e posterior levantamento das espécies vegetais já adaptadas e esse ambiente. A Tabela 1 apresenta os intervalos de concentrações considerados normais a serem encontrados em plantas, lembrando que metais como Cd, Cr e Pb não são considerados micronutrientes (KABATA-PENDIAS, 2011; MANLIO, 2006, MALAVOLTA, 1980), e concentrações acima do limite máximo citados na tabela correspondem a níveis tóxicos.

Tabela 1 – Intervalos de concentrações consideradas normais de alguns metais em plantas

Metal	Concentração normal (mg kg ⁻¹)	Autores
Cd	0,1 – 1	MALAVOLTA, 1980
Co	0,05 – 0,3	MANLIO, 2006
Cr	0,02 – 1	MALAVOLTA, 1980
Cu	2 – 20	MANLIO, 2006
Ni	0,3 – 3,5	MANLIO, 2006
Pb	1,5 – 2,4	KABATA-PENDIAS, 2011
Zn	3 - 150	MANLIO, 2006

3.1 Condições controladas

Os potenciais fitorremediadores para Pb, em meio hidropônico, das espécies vegetais *Vetiveria zizanioides* L., *Helianthus annuus* L., *Canavalia ensiformis* L., *Alocasia macrorrhiza*, *Syngonium angustatum* e *Cecopria* sp (BATISTA, 2013), *Desmanthus virgatus* L., *Prosopis juliflora* e também *Vetiveria zizanioides* L. (ALVES *et al.*, 2008) foram avaliados. BATISTA (2013) verificou que as concentrações de Pb na biomassa aérea e radicular das plantas aumentaram com o aumento da concentração de Pb na solução nutritiva para todas as seis espécies avaliadas, com preferência de acúmulo na raiz para todas as espécies. Nenhuma das espécies se mostrou apta à fitoextração, pois não foram eficientes em transportar Pb para a parte aérea, sendo então classificadas como excludoras, mas *Helianthus annuus* L., *Alocasia macrorrhiza* e *Vetiveria zizanioides* L. apresentaram potencial para estratégias que usam as raízes como agente principal de absorção, como a fitoestabilização ou rizofiltração. ALVES *et al.*, (2008) constataram que *Vetiveria zizanioides* L. demonstrou maior tolerância a Pb e que a raiz foi o local

preferencial de acúmulo do metal nas três espécies. A espécie *Vetiveria zizanioides* L. foi a que apresentou as maiores concentrações de Pb em todos os compartimentos, evidenciando seu potencial fitorremediador para áreas contaminadas por Pb.

A espécie *Crotalaria spectabilis* foi avaliada para fitorremediação dos metais Cd e Pb em solos. A espécie apresentou alta taxa de sobrevivência nos solos contaminados, indicando ser propícia para estudos de fitorremediação para esses metais (LINDINO, 2012).

Espécies vegetais terrestres como *Braquiaria decumbens* e *Brassica juncea* (MARTINEZ *et al.*, 2012) e aquáticas, como *Vetiveria zizanioides* L. (ALMEIDA, 2011) foram avaliadas em estudos de fitorremediação para os metais potencialmente tóxicos (MPT) Cr, Ni, Pb e Zn. *Brassica juncea* apresentou tolerância a todas as concentrações do estudo (concentrações em solos: 3 de Cd; 150 de Cr; 70 de Ni; 180 de Pb e 450 de Zn e réplicas em dobro e triplo desses valores, em mg kg⁻¹). O Zn foi o metal que apresentou os maiores valores de absorção para duas espécies (*Braquiaria decumbens* e *Brassica juncea*). Ambas as espécies revelaram ser boas opções para fitorremediação de solos contaminados por tais metais. *Brassica juncea* mostrou excelente potencial fitorremediador para Cr, Ni, Pb e Zn (MARTINEZ *et al.*, 2012). Já *Vetiveria zizanioides* L. apresentou tolerância à contaminação, maior absorção dos MPT pelas raízes, baixa capacidade de transporte para a parte aérea e eficiente absorção dos metais, indicando que se trata de uma espécie promissora para uso em programas de fitorremediação em ambientes aquáticos (ALMEIDA, 2011).

Os potenciais fitorremediadores das espécies *Commelina erecta*, *Monotagma laxum*, *Panicum maximum*, *Borreia capitata*, *Cyperus surinamensis* e *Nephrolepis biserrata* (CASTRO, 2007) mostraram que essas plantas são capazes de absorver concentrações excessivas de Cr. A ordem de absorção de Cr obedece a seguinte ordem: *Cyperus surinamensis* > *Borreia capitata* > *Monotagma laxum* > *Panicum maximum* > *Nephrolepis biserrata* > *Commelina erecta*. Destaca-se que todas apresentaram potencial fitoextrator para Cr, exceto *Borreia capitata*.

Por outro lado, as espécies vegetais *Senna multijuga*, *Caesalpinia echinata* e *Shizolobium amazonicum* foram cultivadas em solos contaminados e apresentaram os seguintes comportamentos: i) *Senna multijuga* acumulou preferencialmente Mn, Co, Pb e Zn na parte aérea e Zn, Cr, Co, Cd, Mn e Cu na parte radicular e apresentou melhor adaptação aos solos contaminados; ii) *Caesalpinia echinata* possui potencial acumulador para os elementos Mn e Zn e acumulou preferencialmente Fe e Zn na parte radicular; e

iii) *Shizolobium amazonicum* acumulou preferencialmente Cr, Co e Cu na parte aérea e Zn e Pb na parte radicular. Todas as espécies foram classificadas como fitoextratoras e com potencial hiperacumulador para Co, Cd, Cu, Ni, Mn, Fe, Cr, Zn e Pb (CHAVES, 2008).

A macrófita *Lemna aequinoctialis* mostrou ser capaz de absorver principalmente Cr (até cerca de 45 vezes as concentrações esperadas para plantas (Tabela 1)) e Ni, cerca de 6 vezes tais concentrações (Tabela 1) (PIO, 2012). Esses resultados serviram de base para a construção de um consórcio entre *Wetland* construída (*Alocasia macrorrhiza*) e reator eletroquímico Al/Fe para remoção/diminuição de níveis de Cu, Cr, Pb e Zn em águas de um igarapé poluído por dejetos domésticos e industriais (NETO, 2014). Os resultados mostraram que a *Wetland* construída é capaz de remover Cr para os limites da Resolução CONAMA 357/2005 e Zn e Cu para valores próximos. Para Pb, a ação foi ineficiente. Já no reator, a redução de Zn e Cu atingiu os limites da Resolução. Na planta, a sequência de absorção foi Zn > Pb > Cu > Cr. Logo, o sistema em consórcio foi capaz de remover Zn, Cr e Cu a limites aceitáveis em águas.

Um *wetland* construído com *Pistia stratiotes* acoplado de tanque com *Alocasia macrorrhiza* para remover os metais Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Pb e Ni foi construído. No tanque composto por *Alocasia macrorrhiza* ocorreu a redução das concentrações dos metais citados, sendo mais eficiente para Co e Pb. Na *wetland* foi observada a absorção de altas quantidade de Pb e Fe nas raízes e Pb e Ni nas folhas (PIO, 2012).

3.2 Condições de campo

Espécies vegetais de grande porte como eucaliptos (*Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*) tiveram seu potencial fitorremediador avaliado em solos contaminados por rejeitos de reciclagem de baterias, com altos teores de Pb. As raízes apresentaram as maiores concentrações destacando-se as duas espécies do gênero *Eucalyptus* (NALON, 2008).

PEREIRA *et al.*, (2012) avaliaram o potencial fitorremediador para Cd, Cu, Mn, Pb e Zn de espécies arbóreas (*Cordia africana* Lam, *Mimosa caesalpineia* Benth, *Acacia angustissima* e *Anadenanthera colubrina*) em solos contaminados. As espécies apresentaram desenvolvimento normal, mostrando tolerância a áreas contaminadas com Cd, com preferência de acúmulo nas raízes, exceto a espécie *Cordia africana* Lam. Já a macrófita aquática *Eichhornia crassipes* apresentou potencial fitorremediador para os metais Al, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn em ambientes naturais (MARTINS, 2014).

Treze espécies vegetais: *Prosopis juliflora*, *Schinus terebinthifolia*, *Cedrela fissilis*, *Eucalyptus urophylla*, *Canavalia ensiformes* L., *Paspalum notatum*, *Tabebuia impetiginosa*, *Genipa americana* L., *Solanum paniculatum* L., *Leucaena leucocephala*, *Ricinus communis* L., *Jathropa curcas* L. e *Vetiveria zizanioides* L. foram avaliadas para fitorremediação de Cd, Pb e Zn em solos contaminados em áreas vizinhas a indústrias. As espécies *Vetiveria zizanioides* L. e *Canavalia ensiformes* L. se destacaram em relação às demais espécies pelo acúmulo dos metais na parte aérea, a espécie *Paspalum notatum* se destacou no acúmulo dos metais nas raízes, todas então sendo consideradas espécies promissoras para fitorremediação para os três metais (ASSUNÇÃO, 2012).

Na avaliação do potencial fitorremediador das espécies vegetais *Brachiaria plantaginea* e *Eicchornia crassipes*, que se desenvolvem na área contaminadas do aterro sanitário de Manaus foi constatado que *Brachiaria plantaginea* acumulava altas quantidade de Cr e Co e a *Eicchornia crassipes* Cr, Co e Ni. As duas plantas apresentaram as maiores concentrações desses metais na parte aérea (BARRONCAS, 1998).

O primeiro trabalho de plantas com potencial fitorremediador do Polo Industrial de Manaus foi realizado por CASTRO (2000) com duas gramíneas, *Dichorisandra sp* e *Paspalum sp*. Os resultados desse estudo mostraram que as duas gramíneas são capazes de absorver concentrações elevadas de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn. O maior destaque de absorção foi o Cr que foi absorvido pelas duas gramíneas em cerca de 600 vezes os valores esperados para plantas. Por outro lado, a *Homolepis aturensis* (H.B.K.) Chase absorveu Zn, Cr, Fe e Pb acima dos limites considerados normais nas três partes das plantas em cerca de 20 vezes. O Ni apresentou concentrações de 2 a 45 vezes na parte aérea (ELIAS, 2003). Os intervalos de concentrações esperados para plantas estão na Tabela 1.

Nos fragmentos florestais do Polo Industrial de Manaus SILVA (2012) reportou que as espécies vegetais *Vismia guianensis*, *Diplasia karataefolia*, *Vismia japurensis*, *Annona exsuscacca*, *Alibertia edulis*, *Panicum maximum*, *Lantana camara* e *Diffenbachia picta* possuem potencial fitorremediador para os metais potencialmente tóxicos (MPT) Cd, Co, Cu, Fe, Ni e Pb. Todas as plantas estudadas foram tolerantes a Cd, absorveram altas concentrações de Co, Pb e Ni (cerca de 53 a 2700 vezes) e Fe e Cu (cerca de 15 vezes) acima os níveis normais das plantas. Os intervalos de concentrações esperados para plantas estão na Tabela 1.

O potencial de extração de metais potencialmente tóxicos em água contaminada com níveis de contaminação muito acima dos limites propostos pela Resolução 357/05

CONAMA é representado pela macrófita *Lemna aequinoctialis*, outra espécie abundante nas áreas alagadas do Polo Industrial de Manaus. Essa macrófita é capaz absorver Fe e Cu duas vezes as concentrações consideradas normais pela espécie *Lemna aequinoctialis*. Pb em aproximadamente sete vezes, Ni em cerca de 17 vezes e Cr em cerca de 74 vezes dos níveis considerados normais em plantas (PIO, 2004). Os intervalos de concentrações esperados para plantas estão na Tabela 1.

Finalmente, no Polo Industrial, SANTANA & JESUS (2012) reportaram que as frutíferas *Mauritia flexuosa* L. e *Euterpe precatoria* mart. mostraram-se tolerantes a alta quantidade de metais potencialmente tóxicos presente nos solos da região.

A Tabela 2 apresenta informações de estudos na área de fitorremediação com espécies utilizadas pelo grupo de pesquisa Química Ambiental, da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Já a Tabela 3 apresenta estudos com as mesmas espécies, porém, realizados fora do ambiente amazônico. Muitas espécies estudadas não apresentaram outros estudos de fitorremediação divulgados além dos realizados pelo grupo Química Ambiental, da UFAM. As Tabelas 2 e 3 encontram-se em Anexos.

4. Dados em pesquisas de currículos e grupos de pesquisa no Brasil

No Brasil, pesquisas sobre o tema fitorremediação foram tema de diversos estudos de dissertações de mestrado e teses de doutorado. Em buscas no principal portal de currículos de pesquisadores do país (CNPq, 2016), o portal Currículo Lattes, mantido pelo CNPq, em pesquisa feita no corrente ano, a palavra-chave “fitorremediação” aparece vinculada a 679 doutores, de qualquer nacionalidade, e considerando só pesquisadores de nacionalidade brasileira, 665 doutores. Em relação a outras titulações (mestres, graduados, técnicos, etc.) aparecem 757 profissionais, de qualquer nacionalidade, e considerando só pesquisadores de nacionalidade brasileira, 754 profissionais. Estes números evidenciam o crescente interesse pela área, sugerindo também que a mesma deve continuar apresentando intenso desenvolvimento nos próximos anos no país.

Este crescente interesse também pode ser verificado em grupos de pesquisas de várias instituições acadêmicas brasileiras, de todas as regiões do país. Uma consulta no banco de diretórios de grupos de pesquisa do CNPq, com a palavra-chave “fitorremediação” encontram-se 4 grupos de pesquisa, sendo dois situados no Rio de Janeiro (Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)), um no Rio Grande do Sul (Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)) e um no Pará (Universidade Federal do Pará (UFPA)), nas áreas de Engenharia

Sanitária, Química, Agronomia e Química, respectivamente. Já consultando por grupos e incluindo Linhas de pesquisa na busca, são encontrados 64 grupos de pesquisa. Nessa busca, apresenta-se o grupo de pesquisa “Química Ambiental”, da instituição Universidade Federal do Amazonas - UFAM, cujo todos os estudos de fitorremediação foram abordados nesta revisão e estão listados na Tabela 2 (CNPq, 2016).

O grupo de pesquisa da UERJ, intitulado BioProcess – Biorremediação e Fitorremediação de solos contaminados, tratamento de efluentes e ecotoxicologia e iniciado em 2004 apresenta como objetivos, entre outros, o estudo de biorremediação e fitorremediação de solos contaminados com ênfase em hidrocarbonetos de petróleo e investigação do potencial fitorremediador de diferentes espécies vegetais em solos brasileiros. Já o grupo de pesquisa da UFRJ, intitulado Fitorremediação, Biocorrosão e Bioprocessos, iniciado em 1995, indica como objetivos a recuperação de solos multicontaminados, utilizando para isso de diversos bioprocessos, entre eles, a fitorremediação (CNPq, 2016).

O grupo de pesquisa de UFSM, intitulado Biorremediação e Fitorremediação e iniciado em 2011 tem como objetivos a geração de conhecimentos sobre remediação do solo utilizando microrganismos e plantas e interação desses para degradar ou detoxificar poluentes do ambiente propondo-se a identificação de plantas e utilização das diferentes estratégias de fitorremediação, com foco em poluentes orgânicos (principalmente agrotóxicos, hidrocarbonetos poliaromáticos e combustíveis), plásticos e blendas plásticas e poluentes inorgânicos (principalmente em metais pesados). E o grupo de pesquisa da UFPA, intitulado Fitorremediação de efluentes na Amazônia, iniciado em 2010, não informa na plataforma pesquisada os objetivos do grupo (CNPq, 2016).

Na região amazônica os grupos de pesquisa que tratam de fitorremediação como linha de pesquisa são cinco, em um total de 64 pelo país: um grupo da Universidade Estadual do Amazonas (UEA), na área de botânica, um grupo da Universidade Federal do Pará (UFPA), na área de química, dois grupos da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), um na área de zoologia e outro na área de agronomia, e um grupo na Universidade Federal do Amazonas (UFAM), na área de química, logo, correspondendo a cerca de 8%, contrastando abruptamente com o fato da região apresentar a maior diversidade vegetal do país e maior área territorial (CNPq, 2016).

A Tabela 4, em Anexos, apresenta informações de alguns estudos realizados por tais grupos de pesquisa.

Todos os estudos envolvendo investigações de fitorremediação, realizados pelo grupo de pesquisa em Química Ambiental da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) foram consultados e citados nesta revisão, englobando o período de 1998 até o ano de 2014. Tratam-se de estudos de fitorremediação de metais potencialmente tóxicos com espécies vegetais naturais ou bem adaptadas ao ecossistema amazônico.

5. Perspectivas na fitorremediação

O que se espera de uma investigação de fitorremediação é encontrar espécies que demonstrem potencial para níveis excessivos de absorção de contaminantes. A identificação de plantas hiperacumuladoras é o resultado ideal. O fenômeno da hiperacumulação pode ocorrer mediante a presença de condições ideais, considerando fatores fisiológicos e ambientais, ou mesmo, manipulações genéticas podem alterar ou otimizar uma predisposição da planta ao fenômeno (ANDRADE *et al.*, 2007). Logo, estudos que apresentam plantas com níveis de absorção diferenciados devem receber investigações mais cuidadosas e detalhadas.

Os estudos envolvendo espécies amazônicas, descritos nesta revisão, apresentaram resultados empolgantes que demonstram o quanto o ecossistema amazônico pode ser aproveitado em pesquisas na área de fitorremediação.

Estudos realizados em águas de igarapés bastante impactados pelo descarte de efluentes industriais utilizaram as concentrações citadas na Resolução CONAMA 357/05 como parâmetro. NETO (2014) e PIO (2012) realizaram estudos de fitorremediação em consórcio com outras técnicas, eletroquímica e *Wetland* construído, respectivamente. NETO (2014) avaliando o potencial fitorremediador de *Alocasia macrorrhiza* para os metais Cu, Zn, Cr e Pb observou a redução das concentrações dos metais a níveis aceitos pela Resolução CONAMA 357/05, exceto Pb. Já os experimentos de PIO (2012) com *Pistia stratiotes* (*Wetland* construído) e *Alocasia macrorrhiza* (filtro plantado), também conseguiram reduções das concentrações de metais em águas. Em estudos paralelos, a macrófita *Lemna aequinoctialis* apresentou-se como um potencial bioindicadora para qualidade de águas.

Estudos realizados com solos, em condições controladas, em casa de vegetação e uso de concentrações conhecidas de metais, realizados por CHAVES (2008) e CASTRO (2007) identificaram seis plantas potencialmente acumuladoras e tolerantes para nove metais. Já estudos realizados em condições em campo, também em solos, revelaram que plantas podem ser bioindicadoras eficientes, principalmente se o estudo considerar

diferentes condições sazonais, como o estudo de CASTRO (2000), que coletou espécies em períodos de cheia e seca e encontrou diferenças de níveis de metais na biomassa da planta até 600 vezes, para Cr. Com valores mais modestos, o mesmo ocorreu com Pb, da ordem de 150 vezes, revelando que espécies avaliadas juntas apresentam grande capacidade de adaptação. ELIAS (2003) e BARRONCAS (1998), estudando macrófitas e gramíneas, também identificaram espécies com grau de tolerância a metais, pois apresentaram concentrações acima dos valores considerados normais em plantas. E SILVA (2012), estudando espécies com potencial fitoextrator, já que analisou as concentrações de oito metais exclusivamente nas folhas, identificou que as seis plantas que analisou apresentaram uma tolerância diferenciada para Cd, com destaque também para Co em que concentrações excederam em cerca de 170 a 2700 vezes os valores esperados para plantas (Tabela 1).

6. Considerações finais

A intenção desta revisão é mostrar como a fitorremediação apresenta potencial para ser utilizada no ecossistema amazônico e como a escassez de trabalhos nesse contexto pode ajudar na ideia, precipitada, de que a fitorremediação está restrita ao clima temperado. Os estudos relatados dão uma visão otimista do que vem sendo feito. Porém, a conhecida diversidade vegetal da região amazônica é um incentivo a mais para que mais pesquisas se desenvolvam nesse campo. Estudos em condições controladas assim como estudos em campo fornecem informações que se complementam e ampliam o conhecimento, por conseguinte, a sua popularização. Estudos futuros envolvendo outros metais, como As e Hg, assim como compostos orgânicos podem encontrar, nas espécies amazônicas, proveitosos resultados.

É necessário ampliar as pesquisas na área devido a diversidade vegetal da região e considerar que se tratam de estudos de médio a longo prazos.

Este texto de revisão faz uma exposição dos estudos já realizados do grupo de pesquisa em química ambiental da UFAM na área de fitorremediação, com espécies vegetais no contexto amazônico. Acredita-se que perspectivas otimistas possam ser concretizadas a partir de novos incentivos.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. Os autores e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua

avaliação. Logo, a *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

Referências

AKUTAN, A.; PAPPOE, A. N. M.; ARMAH, F. A.; ENU-KWESI, L. (2014). **Phytoremediation potential of indigenous Ghanaian grass and grass-like species grown on used motor oil contaminated soils.** J. Ecol. Environ., vol.37(2), pp.41–51.

ALARIBE, F. O.; AGAMUTHU, P. (2015). **Assessment of phytoremediation potential of *Lantana camara* in Pb impacted soil with organic waste additives.** Ecological Engineering. vol.83, pp.513–520.

ALMEIDA, A. F.; VALLE, R. R.; MIELKE, M.; GOMES, F. (2007). **Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr.** Brazilian Journal Plant Physiology, vol.19(2), pp. 83-98.

ALVES, J. DO C.; SOUZA, A. P.; PÔRTO, M. L.; ARRUDA, J. A.; TOMPSON JÚNIOR, U. A.; SILVA, G. B.; ARAÚJO, R. DA C.; SANTOS, D. (2008). **Absorção e distribuição de Pb em plantas de vetiver, jureminha e algaroba.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol.32, pp.1329-1336.

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. (2007). **Fitorremediação - O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental.** São Paulo: Oficina de Textos. 175p.

ASSUNÇÃO, S. J. R (2012). **Seleção de plantas para fitorremediação de Pb, Cd e Zn de uma área contaminada na Bacia do Rio Subaé.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – Cruz das almas.

BAIRD, C.; CANN, M. (2011). **Química ambiental.** Bookman. 4º Edição, 855p.

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

BARBOSA JR, F.; FILLION, M.; LEMIRE, M.; PASSOS, C. J. S.; RODRIGUES, J. L.; PHILIBERT, A.; GUIMARÃES, J.; MERGLER, D. (2009). **Elevated blood Pb levels in a Riverside population in the Brazilian Amazon.** Environmental Research, vol.109, pp.594–599.

BARRONCAS, P. DE S. R. (1998). **Estudo de metais pesados oriundos do aterro sanitário (Km-19- Rodovia AM 010) e sua distribuição ao longo dos igarapés Matrinxã, Bolívia, Tarumã e Rio Negro.** Dissertação de Mestrado. Universidade do Amazonas.

BATISTA, A. A. (2013). **Seleção de espécies com potencial fitorremediador de chumbo.** Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Dissertação de Mestrado.

CASTRO, R. F. DE (2000). **Composição inorgânica de duas gramíneas do Distrito Industrial de Manaus – AM.** Dissertação de Mestrado. Universidade do Amazonas.

CASTRO, R. F. DE (2007). **Fitorremediação de solos contaminados por Cr, Pb e Zn utilizando as espécies amazônicas *Commelina erecta*, *Montagma laxum*, *Borria capitata*, *Panicum maximum*, *Cyperus surinamensis* e *Nephrolepis biserrata*.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Amazonas.

CAVALHEIRO, T. L.; AMORIM, A. M. P. B.; PREUSSLER, K. H.; MARANHO, L. T. (2014). **Avaliação da eficiência das *wetlands* naturais no pós-tratamento do lixiviado no Aterro sanitário da Caximba, Curitiba.** IV Seminário Regional sobre gestão de recursos hídricos.

CHAVES, E. V. (2008). **Absorção de metais pesados de solos contaminados do Aterro Sanitário e Pólo Industrial de Manaus pelas espécies de plantas *Senna multijuga*, *Schizolobium amazonicum* e *Caesalpinia achinata*.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Amazonas.

CNPq (2016). **Diretório dos grupos de pesquisa no Brasil LATTES.** <<http://lattes.cnpq.br/web/dgp>>. Acesso em 01/16.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO-AMBIENTE – CONAMA (2016). **Resolução nº 357/2005.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res35705.pdf>>. Acesso em 10/12/2015.

ELIAS, E. P. (2003). **Absorção de alguns metais pesados pela *Homopolis aturensis* (H.B.K.) Chase**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Amazonas.

ESPINOZA-QUINONES, F. R.; MÓDENES, A. N.; OLIVEIRA, A. P.; TRIGUEROS, D. E. G. (2013). **Influence of lead-doped hydroponic medium on the adsorption/bioaccumulation processes of Pb and P in roots and leaves of the aquatic macrophyte *Eicchornia crassipes***. Journal of Environmental management, vol.130, pp.199–206.

FAWZY, M. A.; BADR, N. E.; EL-KHATIB, A.; ABO-EL-KASSEM (2012). **Heavy metals biomonitoring and phytoremediation potentialities of aquatic macrophyte in River Nile**. Environ. Monit. Assess, vol.184, pp.1753–1771.

GONÇALVES, I. C. R.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P.; BEZERRA, A. A. C.; MELO, W. J. (2014). **Heavy metals and yield of cowpea cultivated under composted tannery sludge amendment**. Acta Scientiarum, vol.36(4), pp.443-448.

HANKS, N. A.; CARUSO, J. A.; ZHANG, P. (2015). **Assessing *Pistia stratiotes* for phytoremediation of Ag nanoparticles and Ag(I) contaminated waters**. Journal of Environmental management, vol.164, pp.41–45.

JIAMJITRANICH, W.; PARKPIAN, P.; POLPRASERT, C.; KOSANLAVIT, R. (2013). **TNT and its metabolites in shoots and roots of *Panicum maximum* in nano-phytoremediation**. International Journal of Environmental Science and Development, vol.4(1), pp.7-10.

JORDÃO, C. P.; PEREIRA, J. L.; JHAM, G. N. (1997). **Cr contamination in sediment, vegetation and fish caused by tanneries in the MG, Brazil**. The Science of the Total Environment, vol.207, pp.1–11.

JUSSELME, M. D.; POLY, F.; LEBEAU, T.; ROULAND-LEFEVRE, C.; MIAMBI, E. (2015). **Effects of earthworms on the fungal community and microbial activity in root-adhering soil of *Lantana camara* during phytoextraction of Pb**. Applied soil ecology, vol.96, pp.151–158.

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

LINDINO, C. A.; TOMCZAK, A. P.; GONÇALVES JUNIOR, A. C. (2012). **Fitorremediação de solos utilizando *Crotalaria spectabilis* para remoção de Cd e Pb**. Scientia agraria paranaenses, vol.11(4), pp.25-32.

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

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

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

MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. (2011). **Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol.35, pp.1-11.

MARTINEZ, M. S.; CRUVINET, D. F. C.; BARATTO, D. M. (2013). **Avaliação da fitorremediação de solos contaminados com metais pelo capim braquiária e mostarda da Índia**. DAE, vol.191, pp.30-37.

MARTINS, D. F. F. (2014). **Estudo integrado do potencial fitorremediador da *Eichhornia crassipes* em ambientes naturais e sua utilização para obtenção de extratos proteicos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MELO, E. E. C.; NASCIMENTO, C. W. A.; SANTOS, A. C. Q. (2006). **Solubilidade, fracionamento e fitoextração de metais pesados após aplicação de agentes quelantes**. Revista Brasileira Ciência do Solo, vol.30, pp.1051-1060.

NALON, L. (2008). **Potencial do eucalipto na fitorremediação de um solo contaminado por Pb**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Jaboticabal.

NETO, A. G. de S. (2014). **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.

OLATUNJI, O. S.; XIMBA, B. J.; FATOKI, O. S.; OPEOLU, B. O. (2014). **Assessment of the phytoremediation potential of *Panicum maximum* (guinea grass) for selected heavy metal removal from contaminated soils.** African Journal of Biotechnology, vol.13(19), pp.1979–1984.

OLOWOYO, J. O.; MUGIVHISA, L. L.; BUSA, N. G. (2015). **Trace metals in soil and plants around a cement factory in Pretoria, South Africa.** Pol. J. Environ. Stud., vol.24(5), pp.2087–2093.

PEREIRA, A. C. C.; RODRIGUES, A. C. D.; SANTOS, F. S.; GUEDES, J. DO N.; SOBRINHO, N. M. B. (2012). **Concentração de metais pesados em espécies arbóreas utilizadas para revegetação de área contaminada.** Revista Ciência agrônômica, vol.43(4), pp.641-647.

PIO, M. C. DA S. (2012). **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.

PIO, M. C. DA S. (2004). **Estudo Físico-Químico de Água e Capacidade de Absorção de Metais Pesados por *Lemna aequinoctialis* em um igarapé do Distrito Industrial de Manaus.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas.

ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. M. A.; FURLAI, P. R.; ABREU, C. A.; PEREIRA, B. F. F. (2007). **Absorção de Pb e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes* L.** Bragantia, vol.66(2), pp.327-334.

SANCHES-FILHO, P. J.; NUNES, L. V.; ROSA, N. N. DA; BETEMPS, G. R.; PEREIRA, R. S. (2015). **Comparison among native floating aquatic macrophyte for bioconcentration of heavy metals.** Ecotoxicol. Environ. Contam., vol. 10(1), pp.1-6.

SANTANA, G. P.; CHAVES, E. V. (2009). **Fitorremediação**. In: Oliveira, C. A. de; Pinto, J. G. (Organizadores) Amazônia – Responsabilidade de todos. Editora da Universidade Federal do Amazonas. pp.114–132.

SANTANA, G. P.; JESUS, J. A. (2012). **Estudo de presentes na *Mauritia flexuosa* L. e *Euterpe precatoria* mart. da região do Pólo Industrial de Manaus**. Scientia Amazonia, vol.1(1), pp.21-24.

SHAH, A. B.; RAI, U. N.; SINGH, R. P. (2015). **Correlations between some hazardous inorganic pollutants in the Gomti River and their accumulation in selected macrophyte under aquatic ecosystem**. Bull Environ. Contam. Toxicol., vol.94, pp.783–790.

SILVA, J. F. DA. (2012). **Prospecção de plantas fitorremediadoras em solos contaminados por metais pesados**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Amazonas.

SILVA, R. F.; ANDREAZZA, R.; ROS C.; DELLAI, A.; JACQUES, R. J. S.; SCHEID, D. (2015). **Growth of tropical tree species and absorption of C in soil artificially contaminated**. Brazilian Journal Biol., vol.75(4), pp.119-125.

SOUTO, K. M.; JACQUES, R. J. S.; AVILA, L. A.; MACHADO, S. L. DE O.; ZANELLA, R.; REFATTI, J. P. (2013). **Biodegradação dos herbicidas Imazetapir e Imazapique em solo rizosférico de seis espécies vegetais**. Ciência rural, vol.43(10), pp.1790-1796.

SUNDARAMOORTHY, P.; CHIDAMBARAM, A.; GANESH, K. S.; UNNIKANNAN, P.; BASKARAN, L. (2010). **Cr stress in paddy: (i) Nutrient status of paddy under Cr stress; (ii) Phytoremediation of Cr by aquatic and terrestrial weeds**. C. R. Biologies, vol.333, pp.597–607.

WOLFF, G.; ASSIS, L. R.; PEREIRA, G. C.; CARVALHO, J. G.; CASTRO, E. M. (2009). **Efeitos da toxicidade do Zn em folhas de *Salvinia auriculata* cultivadas em solução nutritiva**. Planta daninha, vol.27(1), pp.133-137.

Anexos

Tabela 2 – Informações gerais sobre estudos de fitorremediação na Amazônia realizados pelo grupo/ de pesquisa Química Ambiental da UFAM

Autores	Poluente	Plantas/Família botânica	Locais de coleta das plantas	Porte/Partes das plantas
NETO, 2014	Cu, Cr, Pb, Zn	<i>Alocasia macrorrhiza</i> /Araceae	Solos/área preservada	Médio/raiz, caules e folhas
PIO, 2012	Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	<i>Lemna aequinoctialis</i> /Lemnaceae	Águas/igarapé poluído	Pequeno/toda a planta
PIO, 2012	Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb	<i>Alocasia macrorrhiza</i> /Araceae, <i>Pistia stratiotes</i> /Araceae	Solos/área preservada Águas/igarapé não poluído	Médio/raiz, caules, folhas Pequeno/folhas e raízes
SANTANA E JESUS, 2012	Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn	<i>Mauritia flexuosa</i> L./Arecaceae <i>Euterpe precatória</i> mart./Arecaceae	Solos/impacto por dejetos industriais	Grande/folhas e frutos
SILVA, 2012	Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	<i>Visnia guianensis</i> /Hypericaceae, <i>Diplasia karataefolia</i> /Cyperaciae, <i>Visnia japurensis</i> /Hypericaceae, <i>Annona exsucca</i> /Annonaceae, <i>Alibertia edulis</i> /Rubiaceae, <i>Panicum maximum</i> /Poaceae, <i>Lantana camara</i> /Verbenaceae, Não cita (apresenta fotos)/Araceae, <i>Diffenbachia picta schott</i> /Araceae	Solos/margens de igarapé poluído	Médio/folhas
CHAVES, 2008	Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	<i>Senna multijuga</i> /Leguminosae, <i>Caesalpinia echinata</i> /Leguminosae, <i>Shizolobium amazonicum</i> /Leguminosae	Não cita	Grande/parte aérea e radicular Estavam em forma de muda
CASTRO, 2007	Cr, Pb, Zn	<i>Commeliana erecta</i> /Commelinaceae, <i>Monotagma laxum</i> /Marantaceae, <i>Borrea capitata</i> /Rubiaceae, <i>Panicum maximum</i> /Poaceae, <i>Cyperus surinamensis</i> /Cyperaceae, <i>Nephrolepis biserrata</i> /Pytheridofitae	Solos/margens de igarapé poluído	Médio/raiz, caules e folhas Estavam em forma de muda
PIO, 2004	Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	<i>Lemna aequinoctialis</i> /Lemnaceae	Águas/igarapé poluído	Pequeno/toda a planta
ELIAS, 2003	Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	<i>Homopelis aturensis</i> /Poaceae	Solos/margens de igarapé poluído	Pequeno/raiz, caules e folhas
CASTRO, 2000	Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn	<i>Dichorisandra</i> sp./Commelinaceae, <i>Paspalum</i> sp./Poaceae	Solos/margens de igarapé poluído	Médio/raiz, caules e folhas
BARRONCAS, 1998	Co, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni, Zn	<i>Brachiaria plantaginea</i> /Poaceae, <i>Eichhornia crassipes</i> /Pontederiaceae	Águas/igarapé poluído	Pequeno/raiz, caules e folhas

Tabela 3 – Informações gerais sobre outros estudos de fitorremediação com espécies estudadas pelo grupo de pesquisa Química Ambiental.

Autores	Poluente	Planta	Informações gerais	Resultados
BATISTA, 2013	Pb	<i>Alocasia macrorrhiza</i>	Estudo hidropônico: gradiente de concentração de poluente	Potencial para fitoestabilização
AKUTAM <i>et al.</i> , 2014	Óleo de motor (hidrocarbonetos)	<i>Commelina erecta</i> L.	Solo artificialmente contaminado com gradiente de concentração	Potencial para fitorremediação
CAVALHEIRO <i>et al.</i> , 2014	Ag, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	<i>Cyperus surinamensis</i>	Chorume/ Sistema <i>Wetland</i>	Potencial para fitoextração, Fitoestimulação e rizofiltração
ESPINOZA-QUINONES <i>et al.</i> , 2013	Pb	<i>Eichhornia crassipes</i>	Estudo hidropônico: gradiente de concentração de poluente	Potencial para fitorremediação
FAWZY <i>et al.</i> , 2012	Cd, Cu, Pb, Zn	<i>Eichhornia crassipes</i>	Estudo de campo: águas fluviais poluídas	Potencial para fitorremediação
SUNDARAMOORTHY <i>et al.</i> , 2010	Cr	<i>Eichhornia crassipes</i>	Estudo hidropônico: condições controladas	Potencial para fitorremediação
ALARIBE & AGAMUTHU, 2015	Pb	<i>Lantana camara</i>	Solo artificialmente contaminado	Potencial para fitorremediação
OLOWOYO <i>et al.</i> , 2015	Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	<i>Lantana camara</i>	Estudo de campo: solo contaminado por fábrica de cimento	Potencial para bioacumulação para todos os metais
JUSSELME <i>et al.</i> , 2015	Pb	<i>Lantana camara</i>	Solo artificialmente contaminado e uso de minhocas	Potencial para fitoextração
OLOWOYO <i>et al.</i> , 2015	Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	<i>Panicum maximum</i>	Estudo de campo: solo contaminado por fábrica de cimento	Potencial para bioacumulação para todos os metais
OLATUNJI <i>et al.</i> , 2014	Cd, Cr e Pb	<i>Panicum maximum</i>	Solo artificialmente contaminado	Potencial para bioacumulação para todos os metais
JIAMJITRANICH <i>et al.</i> , 2013	Trinitrotolueno	<i>Panicum maximum</i>	Solo artificialmente contaminado em gradiente de concentração	Acúmulo do poluente nas raízes
JORDÃO <i>et al.</i> , 1997	Cr	<i>Paspalum sp.</i>	Águas fluviais contaminadas por resíduos de curtume	Bioacumulação
HANKS <i>et al.</i> , 2015	Nanopartículas de Ag e Ag ⁺	<i>Pistia stratiotes</i>	Águas residuárias	Potencial para fitorremediação
SANCHES-FILHO <i>et al.</i> , 2015	Cr, Cu, Pb, Zn	<i>Pistia stratiotes</i>	Águas fluviais	Potencial para bioacumulação, principalmente para Cu
SHAH <i>et al.</i> , 2015	Cd, Cr, Cu, Fe, Pb	<i>Pistia stratiotes</i>	Águas fluviais contaminadas	Potencial para bioacumulação para Cd

Tabela 4 – Informações gerais sobre estudos de fitorremediação realizados por grupos de pesquisa de instituições de ensino brasileiras.

Autores	Poluente	Planta	Informações gerais	Resultados
ALVES <i>et al.</i> , 2008	Pb	<i>Vetiveria zizanioides</i> (L.) <i>Desmanthus virgatus</i> <i>Prosopis juliflora</i>	Estudo hidropônico: gradiente de concentração de poluente	Potencial para bioacumulação nas raízes, com destaque <i>Vetiveria zizanioides</i> (L.)
ROMEIRO <i>et al.</i> , 2007	Pb	<i>Canavalia ensiformes</i> L.	Estudo hidropônico: gradiente de concentração de poluente	Potencial para Fitoextração
MELO <i>et al.</i> , 2006	Cu, Pb, Zn	<i>Zea mays</i> , <i>Stizolobium aterrimum</i>	Solo artificialmente contaminado em gradiente de concentração	Potencial para Fitoextração
NALON, 2008	Pb	<i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus saligna</i> , <i>Corymbia citriodora</i>	Estudo de campo: solo contaminado por resíduos de reciclagem de baterias.	Potencial para fitorremediação as espécies <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i>
WOLFF <i>et al.</i> , 2009	Zn	<i>Salvinia auriculata</i>	Estudo hidropônico: condições controladas	Potencial para fitorremediação
SOUTO <i>et al.</i> , 2013	Herbicidas	<i>Canavalia ensiformis</i> , <i>Glycine max</i> , <i>Lolium multiflorum</i> , <i>Lotus corniculatus</i> , <i>Shizolobium aterrimum</i> , <i>Vicia sativa</i>	Solo ambientalmente contaminado	Potencial para fitoestimulação da espécie <i>Shizolobium aterrimum</i>
SILVA <i>et al.</i> , 2015	Cu	<i>Anadenanthera macrocarpa</i> , <i>Mimosa scabrella</i> , <i>Apuleia leiocarpa</i>	Solo artificialmente contaminado em gradiente de concentração	A espécie <i>Apuleia leiocarpa</i> apresentou elevada tolerância e potencial fitorremediador
GONÇALVES <i>et al.</i> , 2014	Cd, Cr, Ni, Pb	<i>Vigna unguiculata</i> L	Solo artificialmente contaminado com resíduos de curtume compostado	A absorção de Cr foi otimizada com a adição de curtume ao solo
LINDINO <i>et al.</i> , 2012	Cd, Pb	<i>Crotalaria spectabilis</i>	Solo artificialmente contaminado em gradiente de concentração	Bioacumulação de Pb na parte aérea
MARQUES <i>et al.</i> , 2011	Cd	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Estudo hidropônico: gradiente de concentração de poluente	Potencial para tolerância a Cd
MARTINEZ <i>et al.</i> , 2012	Cd, Cr, Ni, Pb, Zn	<i>Braquiaria decumbens</i> , <i>Brassica juncea</i>	Solo ambientalmente contaminado	Potencial para fitorremediação das duas espécies aos 5 metais

Capítulo 2 – Artigo
**“Potencial fitorremediador de *Alocasia macrorrhiza* para os
metais Co, Cu, Ni e Zn**

Potencial fitorremediador 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 destes metais pela espécie *Alocasia macrorrhiza*. 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 e totais de Co, Cu, Ni e Zn presentes no solo e em quatro partes da *Alocasia macrorrhiza* (folhas, pecíolos, rizomas e raiz) foram determinadas por ICP-OES, respectivamente. Os resultados mostram que as concentrações, nos solos, de Co, Cu, Ni e Zn 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 da concentração 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

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.

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.

Abstract

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 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 concentrations Co, Cu, Ni and Zn, ranging, respectively, from 0.012 to 0.282, 2.423 to 11.743, 0.618 to 33.321 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; BATISTA, 2013, 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. Batista (2013), em estudos hidropônicos, verificou comportamento acumulador de Pb no sistema rizosférico na *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 (PIO *et al.*, 2014). Outro metal potencialmente tóxico relatado com valor acima do valor de referência da

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).



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).

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 de teores totais de Co, Cu, Ni e Zn.

Amostras de 5,0 g de solos foram digeridos com 25 ml de mistura de ácidos concentrados HCl:H₂SO₄ (Mehlich-1), para obtenção de teores 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 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 (BORIN, 2010; 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) (BATISTA, 2013; 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 do solo e concentração de 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, pobres em nutrientes e com baixa capacidade de troca de íons, sendo a manutenção da floresta garantida pela ciclagem de nutrientes (FERREIRA *et al.*, 2006).

Tabela 1 – Atributos físico-químicos dos solos amostrados nos quatro locais de coleta em Manaus (AM): CO – Bairro Coroadó; 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
ΔpH(CaCl ₂ -H ₂ O)	-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.

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.

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 de CONAMA e CETESB são idênticos) (Tabela 2). Para Co e Cu, os teores 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

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

*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 sugeriam 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 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 Concentrações de 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, seus teores nos solos devem ser considerados. 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) no entanto, as concentrações nas folhas são superiores aos dos pecíolos e rizomas, sugerindo então que o Co se distribua por toda a planta. 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).

Tabela 3 – Médias(DP) de concentrações (mg.kg⁻¹) de 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).

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.

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 (BORIN, 2010; 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 para tais metais, 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. (1989). **Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – Review of their distribution, ecology, and phytochemistry.** *Biorecovery*, vol.1, pp. 81-126.

BATISTA, A. A. (2013). **Seleção de espécies com potencial fitorremediador de chumbo.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

BORIN, A. L. D. C. (2010). **Fitorremediação de Cd e Zn por *Amaranthaceae*.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Lavras.

CETESB, SP (2005). **Decisão de Diretoria n° 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.

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

CONSELHO NACIONAL DO MEIO-AMBIENTE – CONAMA. (2015). **Resolução n° 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). (2009). **Embrapa. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 630p.

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

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

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

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

MANAHAN, S. E. (2013). **Química Ambiental**. 9° Edição. Bookman, 912p.

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

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

NETO, A. G. de S. (2014). **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.

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

PAYE, H. de S.; MELO, J. W. V. de; MELO, S. B. de. (2012). **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.

PEREIRA, A. A.; BORGES, J. D.; LEANDRO, W. M. (2010). **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.

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

PIO, M. C. da S. (2012). **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.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V.; V. H (Editor). (1999). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º aproximação.** Viçosa, MG: Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. 359p.

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.

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

TANHAN, P.; KRUATRACHUE, M.; POKETHITIYOOK, P.; CHAIYARAT, R. (2007). **Uptake and Accumulation of Cd, Pb and Zn by Siam weed (*Chromolaena odorata* (L.) king & Robinson)**. *Chemosphere*, vol. 6, pp. 323- 329.

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

TAVARES, S. R. de L. (2009). **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

TIWARI, K. K.; SINGH, N. K.; PATEL, M. P.; TIWARI, M. R.; RAI, U. N. (2011). **Metal contamination of soil and translocation in vegetables growing under industrial wastewater irrigated agricultural field of Vadodara, Gujarat, India**. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 74, pp. 1670–1677.

YOON, J.; CAO, X.; ZHOU, Q.; MA, L. Q. (2006). **Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site**. *Science of the Total Environment*, vol. 368, pp. 456–464.

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

Capítulo 3 – Artículo

**“Phytoremediation potential of *Alocasia macrorrhiza* for Cd, Cr and
Pb**

Phytoremediation potential of *Alocasia macrorrhiza* for Cd, Cr and Pb

Fábio Alexandre Costa Mota, Ézio Sargentini Júnior, Genilson Pereira Santana

Abstract

The phytoremediation is a biotechnology that reached world importance in the contaminated-soil remediation by organic and/or inorganic substances. Its success is directly linked to the capacity of the plants to degrade, extract, immobilize and contain contaminants of the soils. Particularly in case of the contaminated soils by heavy metal the using of plants with high capacity of uptake these substances are fundamental to the remediation process. Although Amazonia has a recognized wide plant diversity, there are few studies in this field developed with natives species or well adapted to the region. The objective of this study is assess the absorption capacity of heavy metals no physiological function in plants, such as Cd, Cr and Pb by the *Alocasia macrorrhiza* which makes up the ciliate diversity rain forest located in Manaus - Amazonas (AM), Brazil, increasing the knowledge about the potential phytoremediator of the *Alocasia macrorrhiza* in Terra Firme contaminated by heavy metal. To find the TF and BCF, the Cd, Cr and Pb bioavailable and totals concentrations in the soil and four parts of *Alocasia macrorrhiza* (leaves, stems, rhizomes and root) were determined by ICP-OES. The results show that the concentrations, in the soil, of Cd, Cr and Pb ranged from 0.123 ± 0.484 , 0.294 ± 3.464 and 0.239 ± 1.719 mg kg⁻¹, respectively. The metal distribution varies extensively according to sampling sites. In parts of *Alocasia macrorrhiza* gave high variation in the concentrations Cd, Cr and Pb ranging, respectively, from 0.03 to 0.38, 0.20 to 6.55 and 0.04 to 2.63 mg kg⁻¹. The highest concentrations of three metals were found in the root parts of *Alocasia macrorrhiza*. The TF < 1 values show that the *Alocasia macrorrhiza* prioritizes the rhizosphere system for accumulation of these metals, indicating low mobility throughout by *Alocasia macrorrhiza* tissues. The results show that the *Alocasia macrorrhiza* has accumulator potential for Cr (BCF > 1 and TF < 1), otherwise is tolerant to Cd and Pb. This study may be part of a series of works that may contribute to the knowledge and subsequent establishment of phytoremediator species in the Amazon.

Key-words: hyperaccumulator; degraded areas; Cr accumulation

1.Introduction

Environmental impacts are common in metropolitan areas, such as Manaus city (Brazil). Several sources are responsible by pollution existent in great cities such as industrial parks and population explosion, and others. Commonly, large extension areas have used for household waste disposal causing serious environmental problems. Industrial waste and domestic nature cause environmental problems because of the high level of heavy metal interchangeably released in soils (Manahan, 2013). Because of the high solubility in the environments, heavy metals, such as Cd, Cr and Pb, have absorbed by living organisms. Once they the food chain, large concentration of heavy metal has accumulated in the human body. As a result, heavy metal has ingested by human causing serious health disorders as well as affecting the economy in the worldwide (Yoon *et al.*, 2006).

Mostly, the contaminated-metal soil remediation has used several chemical and physical methods, such as electrokinetic, chemical treatment involving oxidative and reductive processes, pyrometallurgical separation. However, these methods are expensive and involve the transport of high content of contaminated soil (Santana & Chaves, 2009). Alternatively, the phytoremediation that use plants to absorb and to remove metal-contaminated soils has broadly recommended as a cleanup strategy in soil remediation. The principal phytoremediation advantage is the reduced cost as well as be directly used in metal-contaminated area (Manahan, 2013).

According to the strategy used by the plant, chemical nature or physical properties of the pollutant the phytoremediation shows a remediation strategy divided in phytoextraction, phytostabilization, phytostimulation, fitovolatilization and phytodegradation (Rocha *et al.*, 2009). The plants suitable for phytoremediation have been tolerating the inorganic and organic contaminants and absorbing, shifting and concentrating high level of contaminants (Baird & Cann, 2011; Andrade *et al.*, 2007). The phytoremediation efficiency depends of plants that absorb high levels of contaminants, called hyperaccumulators.

The phytoremediation potential of a species depends on values of Factors of bioaccumulation (BCF) and Translocation (TF), calculating by equations 1 and 2. BCF is defined as the ratio of metal concentration in the roots or shoots to that in soil and TF is defined as the ratio of metal concentration in the shoots to the roots (Borin, 2010; Cluis, 2004; Marques *et al.*, 2000). BCF obeys the following classification: $BCF > 1$ accumulator plant; $BCF = 1$ indicator plant and $BCF < 1$ exclusor plant. TF obeys the

following classification: $TF > 1$ efficient plant and $TF < 1$ inefficient plant (Batista, 2013; Tiwari *et al.*, 2011; Tanhan *et al.*, 2007, Zhang *et al.*, 2002).

$$BCF = \frac{\text{Metal concentration into aerial or ground part of the plant}}{\text{Available metal concentration into soil}} \quad (1)$$

$$TF = \frac{\text{Metal concentration into aerial part of the plant}}{\text{Metal concentration of ground part of the plant}} \quad (2)$$

Phytoremediation success depends on the number of known plants that are able to remedy a soil contaminated by heavy metals. Consequently, studies that check the phytoremediation potential of plants from contaminated areas contributing to help the improving the remediation strategy of metal-contaminated soil. Strategically, the phytoremediation starts in metal-contaminated site, a place where a future phytoremediator plant is growing.

The *Alocasia macrorrhiza* growing in several contaminated sites in Manaus city being issue of study in flooded areas. Additionally, Hei *et al.* (2016), Wu *et al.* (2002) and Shu *et al.* (2003) point out the *Alocasia macrorrhiza* with high tolerance to contaminated wastewater and mining waste with high concentration of Pb, Zn, Cd, Mn and Cu. Neto (2014) and Pio (2012) showed its potential phytoremediation to Cr, Zn and Cu in a consortium formed by electrochemical reactor and constructed wetland, respectively. *Alocasia macrorrhiza* trends to accumulate Pb into the rhizosphere (Batista, 2013); Cu and Zn into the shoot (Wu *et al.*, 2002). In soil, only Mahmud *et al.* (2006) studied the *Alocasia macrorrhiza* potential phytoremediation to As. They showed using to TF and BCF that *Alocasia macrorrhiza* uses rhizosphere to absorb the As.

The objective this work is increasing the knowledge about the potential phytoremediator of the *Alocasia macrorrhiza* in Terra Firme contaminated by heavy metal.

2. Materials and Methods

2.1 Sampling sites

We collected *Alocasia macrorrhiza* and soil samples at four in the Manaus urban area with different levels of contamination (Figure 1). 1. Coroado (CO) is a site with high level of domestic organic wastes. 2. Igarapé do Quarenta (IG) is a site severely contaminated by industrial and domestic wastes. 3. Petro (PE) is a site contaminated by domestic waste. 4. UF is a site preserved from the campus of the Universidade Federal

do Amazonas. At each site, we delimited an area of 1 m² formed only by healthy and mature plants with height \geq 100 cm to collect *Alocasia macrorrhiza* and soil samples (depth at 0-20 cm).



Figure 1 - Location of collecting soil and plants. Source - Google Maps, adapted.

2.2 Physical and chemical property analysis

The soil sample preparation consisted in drying at room temperature for two weeks and sieved to 2 mm. According to Embrapa (2009) analyzed the physical and chemical properties of soil (Table 1).

2.3 Heavy metal analysis

To heavy metal analysis, we partitioned the *Alocasia macrorrhiza* washed with deionized water into four parts: leaf, stems, rhizomes and root and dried in an oven at 65-70 °C for two weeks. The plant part digestion consisted in using 5 ml of HNO₃ (Merck) to 0.5 g plant samples and a microwave (Mars Model 230/60, CEM). The condition used for digestion were 15 minutes at a constant temperature of 170 °C, after 10 minutes ramp heating (10-170 °C), a pressure of 20-25 bar. On the other hand, the analysis of Cd, Cr and Pb bioavailable from soil consisted in using 5.0 g of soil fraction (<2.00 mm) extraction with 25 ml of concentrated HCl mixture acids: H₂SO₄ (Mehlich 1) under agitation in a horizontal shaker at 5 minutes and decanting overnight. To analysis of the Cd, Cr and Pb concentration, we separated the supernatant from plant and soil extracts by centrifugation (model NT-810 Novatecnica) at 2200 rpm for 15 minutes. In ICP-OES (iCAP7600 Duo, Thermo), operating conditions in ICP-OES for plants and soil: Cd (Axial, 228.802 nm); Cr (Axial, 283.563 nm) and Pb (Axial, 220, 353 nm), we analyzed

the concentration of Cd, Cr and Pb. The assumed procedure is according to recommendation by EMBRAPA (2009) and Pereira (2010).

3. Results and discussion

3.1 Soil metal concentration

Table 1 shows the soil attributes where copies of *Alocasia macrorrhiza* were collected:

Table 1 – Physical and chemical attributes of soils sampled in the four sampling sites in Manaus (AM): CO – Coroado; IG – Igarapé do Quarenta; PE – Petro; UF – Universidade Federal do Amazonas.

Attributes	Sampling sites				*Average(SD)	*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
ΔpH(CaCl ₂ -H ₂ O)	-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
Organic matter (g kg ⁻¹)	1.4	5.39	6.67	3.7	4.29±2,28	53,1
EEC (cmolc dm ⁻³)	4.4	5.23	13.88	8.6	8.03±4,30	53,6
CEC (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
Base saturation (%)	77.2	60.6	87.96	86.0	77.9±12,5	16,0
Sand (%)	83.49	32.11	54.79	57.66	57.01±21,03	36.9
Silt (%)	4.01	22.89	20.21	9.84	14.24±8,84	62.1
Clay (%)	12.50	45.00	25.00	32.50	28.7±13,6	47.4

*SD values (standard deviation) and CV (coeficiente of variation) refer to four local data

The Table 2 shows the Cd, Cr and Pb concentrations available in soil samples. According to recommendation of CONAMA (Resolution 420/09) and CETESB (2005), reference values used by Brazilian government, the Cd, Cr and Pb concentration are under level of metal contamination. The Coefficient of variation to Cd ranges from 2.0-15.6% in each sampling site, Cr of 10.7-28.3 and Pb of 2.2-26.7 in sampling site. However, the four sampling site coefficient of variation is relatively high, indicating that the *Alocasia macrorrhiza* had submitted the different contamination level.

Table 2 – Average (n=3) of available metal concentration (mg kg⁻¹) in soil samples and permitted recommended by CETESB (2005)

Sampling site	Cd	Cr	Pb
CO	0.131(21)	0.413(117)	1.675(353)
IG	0.484(10)	3.464(373)	1.719(38)
PE	0.358(24)	0.294(34)	0.384(76)
UF	0.123(7)	0.357(99)	0.239(64)
Average*	0.274(161)	1.132(1,418)	1.004(742)
Coefficient of Variation (%)	58.9	125.2	73.9
CONAMA	1,3	75	72

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

Table 3 – Metal concentrations (mg kg⁻¹) analyzed into the *Alocasia macrorrhiza* tissues

Metal	Plant part	Sampling site			
		CO	IG	PE	UF
Cd	Leaf	0.09(2)	0.18(1)	0.12(0)	0.04(0)
	Stems	0.04(1)	0.24(1)	0.17(1)	0.11(0)
	Rhizomes	0.06(1)	0.14(1)	0.13(2)	0.03(1)
	Root	0.15(2)	0.15(1)	0.38(7)	0.13(1)
	BCF	1.58	0.60	1.40	1.32
	TF	0.65	1.45	0.57	0.89
Cr	Leaf	0.58(35)	0.38(3)	3.05(39)	0.37(1)
	Stems	0.54(4)	0.31(5)	0.54(36)	0.36(1)
	Rhizomes	0.42(4)	0.67(8)	0.43(2)	0.20(2)
	Root	1.85(38)	6.55(52)	1.54(31)	3.70(24)
	BCF	5.49	2.08	6.70	10.92
	TF	0.49	0.10	1.83	0.19
Pb	Leaf	0.11(2)	0.07(3)	0.34(9)	0.12(6)
	Stems	0.04(5)	0.13(4)	0.09(0)	0.08(7)
	Rhizomes	0.50(4)	0.63(10)	0.36(8)	0.06(3)
	Root	0.58(6)	2.63(34)	0.79(12)	1.42(10)
	BCF	0.64	1.90	4.80	3.84
	TF	0.14	0.06	0.38	0.13

Table 3 presents the Cd, Cr and Pb concentrations analyzed into the plant parts. The results point out Cd, Cr and Pb with higher concentration in the root indicating low mobility throughout by *Alocasia macrorrhiza* tissues. The metal distribution varies extensively according to sampling sites.

The $TF > 1$ values show that the *Alocasia macrorrhiza* prioritizes the rhizosphere system for accumulation of metals Cd, Cr and Pb (Table 3). However, $BCF > 1$ values only for Cr permits classify the *Alocasia macrorrhiza* as accumulator this heavy metal. The *Alocasia macrorrhiza* preference by rhizosphere system indicates the low mobility of Cd, Cr and Pb throughout plant tissue. This affirmation corroborates with the results obtained by Albuquerque (2013), Cannata (2011) and Roongtanakiat and Sanoh (2011). According to Kabata-Pendias (2011) and Malavolta *et al.* (1997), our finding shows that the *Alocasia macrorrhiza* has an efficient protect against the Cd, Cr and Pb contamination. Otherwise, according to Liu *et al.* (2010) Cd and Pb affect several cellular function in the leaves.

Our findings add more a specie with phytoremediation potential from *Araceae* family. Previous works have showed the use of species from *Araceae*, such as *Epipremnum aureum*, *Pistia stratiotes*, *Dieffenbachia picta* and *Lemna gibba* in metal phytoremediation potential. *Epipremnum aureum* has a rhizofiltration potential accumulating radionuclides, such as ^{60}Co and ^{137}Cs (Kamel *et al.*, 2007). *Pistia stratiotes* is with Pb, Cd and Cr phytoremediation potential, accumulating about 6 to 10 times of the metal concentration (Vesely *et al.*, 2011). The accumulation Cd (100 times) and Pb (125 times) in aerial lead Silva (2012) recommends the *Dieffenbachia picta* as a phytoremediation specie. Finally, the *Lemna gibba* showed being phytoremediator to Co recommended remediating contaminated aquatic ecosystem (Halaimi *et al.*, 2014).

4. Conclusion

The results show that the *Alocasia macrorrhiza* has accumulator potential for Cr ($BCF > 1$ and $TF < 1$), otherwise is tolerant to Cd and Pb. *Alocasia macrorrhiza* prefers accumulating Cd, Cr and Pb in its rhizosphere system indicating that the three metals have low mobility throughout the plant tissues.

References

ALBUQUERQUE, C. D. L. (2013). **Avaliação dos efeitos da contaminação por Cd e Pb na alface (*Lactuca sativa* L.) hidropônica empregando métodos de reconhecimento de padrões não supervisionados: PCA e HCA**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras.

ANDRADE, J. C. M; TAVARES, S. R. L; MAHLER, C. F. (2007). **Fitorremediação - O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos. 175p.

BAIRD, C.; CANN, M. (2011). **Química ambiental**. Bookman. 4º Edição, 855p.

BATISTA, A. A. (2013). **Seleção de espécies com potencial fitorremediador de chumbo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

BORIN, A. L. D. C. (2010). **Fitorremediação de Cd e Zn por *Amaranthaceae***. Tese de doutorado. Universidade Federal de Lavras.

CANNATA, M. G. (2011). **Efeitos do Cd e Pb no desenvolvimento de rúcula (*Eruca sativa* L.), rabanete (*Raphanus sativus* L.) e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solução nutritiva**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras.

CETESB, SP (2005). **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.

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

CONSELHO NACIONAL DO MEIO-AMBIENTE – CONAMA. (2015). **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). (2009). **Embrapa. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 630p.

HALAIMI, F. Z.; KELLALI, Y.; COUDERCHET, M.; SEMSARI, S. (2014). **Comparison of biosorption and phytoremediation of cadmium and methyl parathion, a case-study with live *Lemna gibba* and *Lemna gibba* powder**. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 105, pp. 112–120.

HEI, L.; LEE, C. C. C.; WANG, H.; LIN, X.; CHEN, X.; WU, Q. (2016). **Using a high biomass plant *Pennisetum hybridum* to phyto-treat fresh municipal sewage sludge**. *Biosource Technology* (Article in Press).

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

KAMEL, H. A.; ESKANDER, S. B.; ALY, M. A. S. (2007). **Physiological response of *Epipremnum aureum* for ⁶⁰Co and ¹³⁷Cs translocation and rhizofiltration**. *International Journal of Phytoremediation*, vol.9, pp.403-417.

LIU, N.; LIN, Z.; LIN, G.; SONG, L.; CHEN, S.; MO, H.; PENG, C. (2010). **Lead and cádmium induced alterations of cellular functions in leaves of *Alocasia macrorrhiza* L. Schott**. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 73, pp. 1238–1245.

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

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

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

MAHMUD, R.; INOUE, N.; KASAJIMA, S.; KATO, M.; SHAHEEN, R. (2006). **Assessment of potential indigenous plant species for the phytoremediation of severe arsenic contaminated areas of Bangladesh.** Available in <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcsproc/222/0/222_0_206/_pdf>.

NETO, A. G. de S. (2014). **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.

PEREIRA, A. A.; BORGES, J. D.; LEANDRO, W. M. (2010). **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.

PIO, M. C. da S. (2012). **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.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. CARDOSO, A. A. (2009). **Introdução a Química Ambiental.** Bookman. 2º Edição.

ROONGTANAKIAT, N.; SANO, S. (2011). **Phytoextraction of zinc, cadmium and lead from contaminated soil by *Vetiver grass*.** Kasetsart Journal, v.45, pp.603-612.

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

SHU, W. (2003). **Exploring the potencial utilization of *Vetiver* in treating acid mine drainage (AMD).** Available in <http://www.vetiver.com/ICV3-Proceedings/CHN_AMD.pdf>.

SILVA, J. F. DA. (2012). **Prospecção de plantas fitorremediadoras em solos contaminados por metais pesados**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Amazonas.

TANHAN, P.; KRUATRACHUE, M.; POKETHITIYOOK, P.; CHAIYARAT, R. (2007). **Uptake and Accumulation of Cd, Pb and Zn by Siam weed (*Chromolaena odorata* (L.) king & Robinson)**. Chemosphere, vol. 6, pp. 323- 329.

TIWARI, K. K.; SINGH, N. K.; PATEL, M. P.; TIWARI, M. R.; RAI, U. N. (2011). **Metal contamination of soil and translocation in vegetables growing under industrial wastewater irrigated agricultural field of Vadodara, Gujarat, India**. Ecotoxicology and Environmental Safety, vol. 74, pp. 1670–1677.

VESELY, T.; TLUSTOS, P.; SZAKOVA, S. (2011). **The use of water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) for rhizofiltration of a highly polluted solution by cadmium and lead**. International Journal of Phytoremediation, vol.13, pp.859-872.

WU, Q.; SAMAKE, M.; MO, C.; MOREL, J. (2002). **Simultaneous sludge stabilization and metal removal by metal hyper-accumulator plants**. 17th WCSS (World Congress of Soil Science). Symposium, v.24, paper 355. Oral Aparentation.

YOON, J.; CAO, X.; ZHOU, Q.; MA, L. Q. (2006). **Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site**. Science of the Total Environment, vol. 368, pp. 456–464.

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