

## Artigo

**Determinação de Metais em Espécies Florestais da Amazônia**

Neves, P. A. P. F. G.;\* Paula, M. T.; Amarante, C. B.; Carneiro, B. S.; Faial, K. C. F.; Mendes, L. C. S.; Botero, W. G.; Serrão, C. R. G.; Dantas Filho, H. A.

Rev. Virtual Quim., 2016, XX (XX), no prelo. Data de publicação na Web: 24 de agosto de 2016

<http://rvq.sbgq.org.br>

**Determination of Metals in Forest Species from Amazônia**

**Abstract:** The plants can be used as biological monitors, because they have relatively high sensitivity than animals, because they are strongly integrated into the environment that they live and therefore allow a more accurate assessment of a specific area. This study aimed to determine the content of metals (Al, Cr, Mn, Ni and Zn) in leaves of native species in the Amazon: Açai (*Euterpe oleracea* Mart.), Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) and Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), and correlate with the growth parameters (height and diameter) and Ca and Mg macronutrients by multivariate analysis (principal component analysis - PCA and hierarchical cluster analysis - HCA). The metal content was obtained by spectrometry optical emissions with plasma. The results were obtained from PCA and HCA allowed to view to high correlation between variables Ca – height, Mg – height, Ca - Mn, Zn - diameter and Al - Cr. From the results we evaluate important research of natives species in the Amazon region as there are not studies about with this approach to the studied species and by further studies, such species can be used as bio-indicators of metals, as that the Amazon region suffers environmental pressure of various economic activities and lacks the resources to monitor the air quality.

**Keywords:** *Euterpe oleracea* Mart.; *Carapa guianensis* Aubl.; *Hymenaea courbaril* L.; metals; multivariate analysis.

**Resumo**

As plantas podem ser utilizadas como monitores biológicos, pois apresentam uma sensibilidade relativamente maior em relação aos animais, pois estão fortemente integradas no ambiente em que vivem e consequentemente permitem uma avaliação mais precisa sobre uma área específica. O presente trabalho teve como objetivo determinar o teor de metais (Al, Cr, Mn, Ni e Zn) em folhas de espécies nativas da Amazônia: açai (*Euterpe oleracea* Mart.), andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), e correlacionar com os parâmetros de crescimento (altura e diâmetro) e os macronutrientes Ca e Mg por análise multivariada (análise de componentes principais - PCA e análise de agrupamento hierárquico - HCA). Os teores de metais foram obtidos por Espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado. Os resultados obtidos pela PCA e HCA permitiram a visualização de alta correlação entre as variáveis Ca – altura, Mg – altura, Ca – Mn, Zn – diâmetro e Al – Cr. A partir dos resultados obtidos, avalia-se importante a investigação de espécies vegetais nativas da região amazônica, visto que não há estudos com essa abordagem para as espécies estudadas e através de estudos mais aprofundados, tais espécies podem ser utilizadas como bioindicadoras de metais, visto que a região amazônica sofre pressão ambiental de várias atividades econômicas e carece de recursos para monitoramento da qualidade do ar.

**Palavras-chave:** *Euterpe oleracea* Mart.; *Carapa guianensis* Aubl.; *Hymenaea courbaril* L.; metais; análise multivariada.

\* Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, Avenida Perimetral, 1901, CEP 66077-830, Belém-PA, Brasil.

✉ [paulo.panarra@gmail.com](mailto:paulo.panarra@gmail.com)

DOI:

## Determinação de Metais em Espécies Florestais da Amazônia

Paulo Alexandre P. F. G. das Neves,<sup>a,\*</sup> Manoel T. de Paula,<sup>b</sup> Cristine B. do Amarante,<sup>a</sup> Bruno S. Carneiro,<sup>c</sup> Kelson C. F. Faial,<sup>c</sup> Lorena de Cássia S. Mendes,<sup>c</sup> Wander Gustavo Botero,<sup>d</sup> Caio Renan G. Serrão,<sup>b</sup> Heronides Adonias Dantas Filho<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, Avenida Perimetral, 1901, CEP 66077-830, Belém-PA, Brasil.

<sup>b</sup> Universidade do Estado do Pará, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Travessa Enéas Pinheiro, 2626, CEP 66095-100, Belém-PA, Brasil.

<sup>c</sup> Instituto Evandro Chagas, Seção de Meio Ambiente, Rodovia BR-316 km 7, s/n, CEP 67030-000, Ananindeua – PA, Brasil.

<sup>d</sup> Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Avenida Manoel Severino Barbosa, s/n, CEP 57309-005, Arapiraca-AL, Brasil.

<sup>e</sup> Universidade Federal do Pará, Faculdade de Química, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Rua Augusto Corrêa, 01, CEP 66075-110, Belém-PA, Brasil.

\* [paulo.panarra@gmail.com](mailto:paulo.panarra@gmail.com)

*Recebido em 3 de dezembro de 2015. Aceito para publicação em 15 de agosto de 2016*

### 1. Introdução

### 2. Material e Métodos

#### 2.1. Área de Estudo

#### 2.2. Equipamentos

#### 2.3. Reagentes e Soluções

#### 2.4. Amostras

#### 2.5. Procedimentos Analíticos

#### 2.6. Tratamento Estatístico dos Dados

### 3. Resultados

#### 3.1. Parâmetros Analíticos

#### 3.2. Teores dos metais em folhas

#### 3.3. Estudo Quimiométrico

### 4. Discussão

### 5. Conclusão

## 1. Introdução

O setor de mineração iniciou suas atividades no município de Barcarena na década de 80. As empresas que se instalaram neste município desenvolvem atividades de produção de alumínio e caulim.<sup>1</sup>

A partir do desenvolvimento dessas atividades, diversos problemas sociais e ambientais são gerados como: deslocamento compulsório dos habitantes locais e a retirada completa da vegetação na área de lavra, passando pela lavagem e secagem da bauxita, pelos rejeitos químicos da produção de alumina, até a emissão de poluentes na atmosfera, no processamento do alumínio.<sup>2</sup>

Os metais estão entre os contaminantes ambientais mais comuns e seu comportamento nos diferentes compartimentos ambientais merece destaque, principalmente por serem não degradáveis, permanecendo assim por longos períodos no ambiente, ciclando nos compartimentos ambientais.<sup>3</sup>

Esses metais são originários de processos litogênicos e antropogênicos, as origens litogênicas estão relacionadas às fontes geológicas, como resíduos de rochas e processo de intemperismo. As fontes antropogênicas estão relacionadas às atividades humanas, como na utilização de fertilizantes em zonas agrícolas e na atividade mineradora.<sup>4</sup>

Na produção do alumínio, por exemplo, as principais emissões de espécies metálicas para a atmosfera ocorrem nas etapas de calcinação da alumina e de redução desta a alumínio metálico, onde se utiliza cubas eletrolíticas com anodos Soderberg e de anodos pré-cozidos.<sup>5</sup>

Nas emissões são lançados gases da combustão, metais geralmente associados ao material particulado e fração de fluoretos residuais de banho eletrolítico, sendo tais poluentes prejudiciais a saúde humana e aos ecossistemas localizados próximos a indústrias de mineração.<sup>6,7</sup>

Diversos pesquisadores vêm desenvolvendo trabalhos que buscam quantificar metais no ar atmosférico. Pereira *et al.*<sup>8</sup> em três diferentes pontos na cidade de Salvador-BA, avaliaram a presença de metais em poeiras atmosféricas em diversas frações de tamanho e encontraram os metais Fe, Zn e Cu em maior quantidade, cujas fontes foram atribuídas às atividades de mineração e veicular.

Magalhães *et al.*,<sup>7</sup> determinaram metais traço no material particulado em suspensão na cidade de Ouro Preto-MG. Os resultados demonstraram que as maiores concentrações foram encontradas para Al e Fe, sendo o primeiro muito provavelmente originado das emissões de uma fábrica de alumínio e o segundo tem origem nas emissões de uma fábrica de ferro-ligas, além da ressuspensão do solo.

Ambos os trabalhos citados acima utilizaram amostradores para a coleta das amostras, porém tais metodologias são de alto custo para utilização.<sup>9</sup> Uma das alternativas de avaliação do impacto ambiental no lançamento de metais na atmosfera é utilizar o biomonitoramento, que consiste no uso de organismos para verificar e avaliar os efeitos das alterações na composição química, seja do ar, da água ou do solo, principalmente com espécies nativas da região do estudo.<sup>10</sup>

Dentre os organismos utilizados como bioindicadores, destacam-se os líquens, os musgos e certas plantas superiores, que podem apresentar alterações típicas nas folhas, perdas foliares, redução de crescimento, alterações nos padrões de floração, ou ainda, alterações na frequência e abundância de populações quando expostas a poluentes atmosféricos.<sup>11</sup>

Uma das vantagens da utilização de plantas superiores como bioindicadores é que essas plantas são fixas, permitindo assim, uma avaliação mais precisa sobre uma área específica, pois estão fortemente integradas no ambiente em que vivem, discriminando a distribuição espacial do impacto.<sup>12</sup>

A região amazônica abriga uma grande

diversidade de espécies vegetais, estima-se que a região abrigue cerca de quarenta mil espécies vasculares de plantas, das quais trinta mil são endêmicas à região.<sup>13</sup> Espécies florestais como o açaí (*Euterpe oleracea* Mart), andiroba (*Carapa guianensis* Aubl) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), são largamente utilizadas pela população local para fins nutricionais, medicinais, artesanais, além de grande importância econômica para a região Amazônica, pois possuem grande potencial para uso na indústria de alimentos, cosméticos e fármacos.<sup>14-16</sup>

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo determinar os metais (Al, Cr, Mn, Ni e Zn) em folhas de espécies nativas da Amazônia: açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), e correlacionar com

os parâmetros de crescimento (altura e diâmetro) e os macronutrientes Ca e Mg por análise multivariada.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de Estudo

A área utilizada para a realização do experimento no município de Barcarena (01°33'05,8" - W 48°44'00,9") está situada a 2,6 km de uma mineradora que produz alumínio, a partir da alumina que é obtida através do processo de refinamento da bauxita (Figura 1).

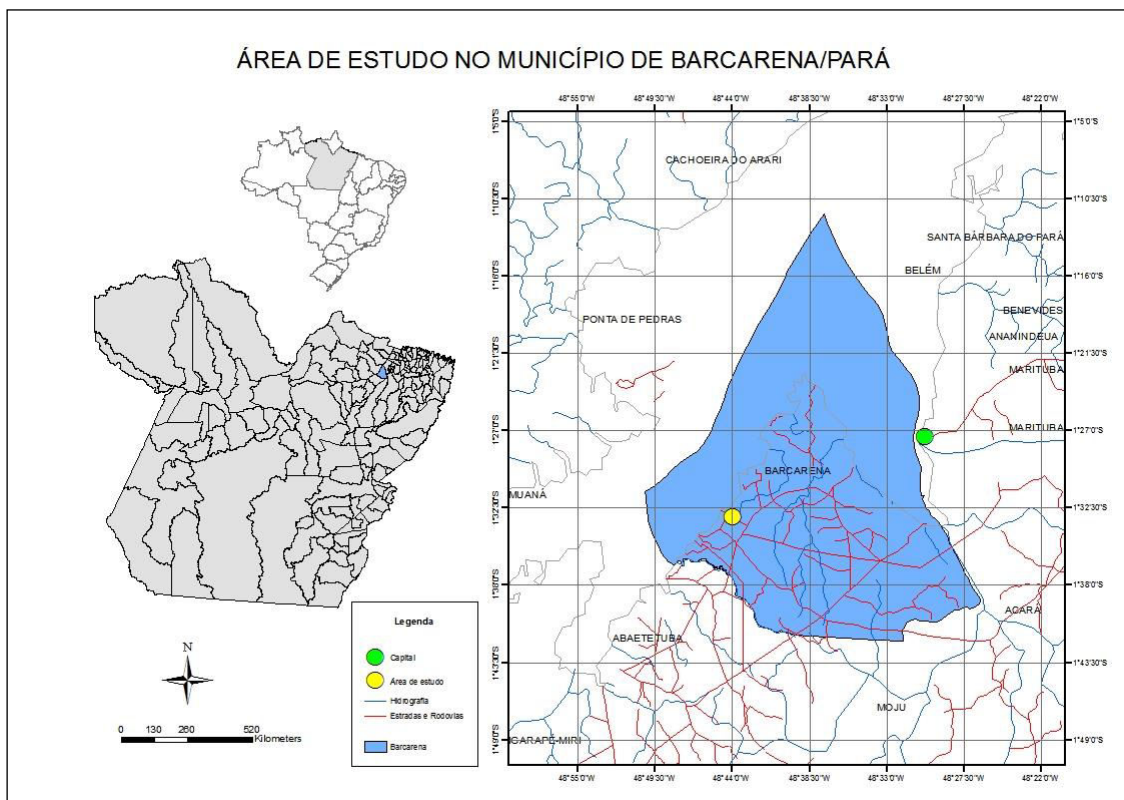


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo

O município de Barcarena possui população de 112.000 habitantes. Ao longo das margens dos rios e igarapés, preponderam as Florestas Ciliares e de

várzeas nos trechos sob influência de inundações, ocorrendo, também, o mangue e a siriúba, margeando os grandes rios e as Ilhas do Município.<sup>17</sup>

O Clima da mesorregião nordeste do Pará faz parte do clima quente equatorial úmido, sendo na classificação de Köppen, do tipo Am. A temperatura média anual é de 27 °C, com amplitude térmica mínima. Precipitações abundantes, acima de 2.500 mm ano, ocorrem mais nos seis primeiros meses e, menos intensamente, nos últimos seis meses do ano.<sup>17</sup>

## 2.2. Equipamentos

Uma estufa com circulação e renovação de ar modelo TE-394/2 (Tecnal, Brasil) foi utilizada para secagem das amostras de folha. Um moinho tipo facas modelo SL31 (Solab Científica, Brasil) foi utilizado para moer as amostras de folha. Um forno de micro-ondas fechado modelo MarXpress (CEM, Estados Unidos) foi utilizado no processo de digestão das amostras. Um espectrômetro de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado com configuração axial modelo iCAP 6000 series (Thermo Scientific, Inglaterra) e sistema de aquisição de dados em plataforma Windows foi usado na determinação dos metais. Foi utilizado gás argônio (99,999%) como gás principal e auxiliar com vazão de 0,5 L/min.

## 2.3. Reagentes e Soluções

Todos os reagentes utilizados são de grau analítico. Todas as diluições foram realizadas utilizando água deionizada. As soluções de referência de Al, Cr, Mn, Ni e Zn foram preparadas a partir da solução estoque de 1000 mg L<sup>-1</sup> (Merck, Alemanha). O ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) (Quimex, São Paulo, Brasil) sub-distilado e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (Vetec, Brasil) foram usados na digestão das amostras.

## 2.4. Amostras

Com o objetivo de eliminar qualquer tipo

de influência em relação ao tipo de solo, as mudas foram implantadas em sacos de polietileno contendo substrato do tipo terra preta, durante os experimentos os substratos não receberam nenhum tipo de adubação, sendo a irrigação realizada com água destilada em dias alternados, e uma análise prévia evidenciou níveis dos metais estudados menores que os limites de detecção. O período do experimento compreendeu de agosto/2012 a janeiro/2013 (6 meses), onde foram realizadas quatro coletas no intervalo de 45 dias.

As sementes *Euterpe oleracea* Mart. utilizadas para germinação das mudas eram procedentes do município de Belém-PA e as *Carapa guianensis* Aubl. e *Hymenaea courbaril* L. eram procedentes do município de Moju-PA, sendo a idade das mudas igual 1 ano, 6 meses e 3 meses, respectivamente.

Em cada área foram implantados 3 blocos, com 12 mudas de cada espécie totalizando 36 amostras. Para distribuição das mudas utilizou-se delineamento experimental em blocos ao acaso e analisados em arranjo fatorial 3 x 4 x 1, constando de três espécies florestais, quatro períodos de coleta (45, 90, 135, 180 dias) e um local, com três repetições.

As medições de crescimento foram efetuadas a cada 45 dias após a implantação do experimento durante 6 meses. As alturas foram medidas com auxílio de uma trena com resolução de 1,0 mm e o diâmetro do colo das mudas foi medido com o auxílio de um paquímetro com resolução de 0,1 mm.<sup>18</sup>

As mudas foram coletadas e separadas em folhas, caule e raízes, sendo que somente as folhas foram utilizadas neste trabalho. Em seguida, o material vegetal foi lavado com água deionizada e seco em estufa à 60 °C durante 72 h até obtenção de uma massa constante.

## 2.5. Procedimentos Analíticos

### *Digestão das amostras*

Para determinação dos metais, aproximadamente 0,2 g de cada amostra foram digeridas utilizando 3 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado e 2 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% (v/v) e

levado ao forno de micro-ondas.

O programa de digestão para as amostras usando forno de micro-ondas está apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Programa de aquecimento do forno de micro-ondas

Etapas	Tempo (min)	Potência (W)	Temperatura (°C)
1	5	400	120
2	10	800	170
3	10	1600	220
4	10	800	170
5	5	400	120
6	50*	0	Ambiente

\*Ventilação

Após a digestão, os frascos com os digeridos foram retirados do forno de micro-ondas, transferidos para tubos falcon e diluídos com água deionizada para 15 mL. A acidez residual do digerido foi de 1,3 mol/L. Os teores de carbono residual foi <10%.

As amostras foram digeridas em triplicata e os brancos analíticos foram preparados pelo mesmo procedimento sem a adição da amostra.

#### *Análise elementar*

A determinação dos metais (Al, Cr, Mn, Ni, Zn, Ca e Mg) foi realizado por Espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado com configuração axial. As curvas analíticas foram construídas com as seguintes concentrações de 0,1 a 3,2 mg/L para todos os metais estudados.

#### *Parâmetros de desempenho analítico*

Os limites de detecção (LOD) foram calculados seguindo a relação  $3 \times s/b$  ( $s$  = estimativa do desvio padrão do branco analítico e  $b$  = coeficiente angular da curva analítica).<sup>19</sup>

Para avaliar a exatidão do método de digestão da matéria seca foram utilizadas duas amostras certificadas, SRM 1515 (Apple Leaves) e SEM 1547 (PeachLeaves), ambas do National Institute of Standards e Technology (NIST, Gaithersburg, Estados Unidos), submetido ao mesmo processo de abertura das amostras.

## 2.6. Tratamento Estatístico dos Dados

Na interpretação dos dados obtidos a partir das análises nas plantas, as variáveis foram divididas em diâmetro e comprimento das plantas e as concentrações de alumínio, cromo, manganês, níquel, zinco, cálcio e magnésio em folhas, totalizando nove variáveis.

#### *Pearson*

A correlação de Pearson foi utilizada para estabelecer relações entre as variáveis estudadas neste trabalho. De acordo com Raposo Junior et al.,<sup>20</sup> é um teste paramétrico de correlação linear, no qual os valores das variáveis X e Y são mensurados em nível

intervalar ou de razões. O coeficiente de Pearson ( $r$ ) pode variar de  $-1$  a  $+1$  e quanto mais próximos desses valores, mais forte a associação das variáveis em estudo.

#### Análise multivariada

O autoescalamento e a normalização foram aplicados aos dados para que todas as variáveis pudessem exercer influências de igual importância nos resultados e os tornar adimensionais, utilizando como critério a média e desvio padrão. Para a extração de informação dos dados multivariados foi utilizado o software Statistica 8.0 (Statsoft, USA).

A análise hierárquica de agrupamentos (HCA) foi utilizada com o objetivo de verificar as semelhanças entre as amostras. Com base nos teores de íons metálicos determinados nas folhas das plantas, foi observada a similaridade a partir da distância Euclidiana entre as amostras. O resultado da HCA foi representado na forma de um gráfico

**Tabela 2.** Dados relativos às curvas de calibração, limite de detecção e limite de quantificação de Al, Co, Cr, Mn, Ni, Zn, Ca e Mg

Elemento	Faixa Linear (mg/L <sup>-1</sup> )	Comprimento de onda (nm)	$r$	LOD (µg/L <sup>-1</sup> )	LOQ (µg/L <sup>-1</sup> )
Al	0,1 – 3,2	167,0	0,9995	0,09	3,10
Cr	0,1 – 3,2	283,5	0,9990	0,55	1,84
Mn	0,1 – 3,2	260,5	0,9991	0,22	0,73
Ni	0,1 – 3,2	341,4	0,9991	5,18	17,3
Zn	0,1 – 3,2	206,2	0,9990	0,16	0,53
Ca	0,1 – 3,2	396,8	0,9452	0,02	0,08
Mg	0,1 – 3,2	279,5	0,9973	0,02	0,07

As recuperações nas amostras ficaram entre 80-100% e apresentaram os seguintes valores: 101,6% (Al), 101,1% (Cr), 100% (Mn),

bidimensional chamado dendrograma. Para a obtenção dos dados multivariados foi utilizado o software Statistica 8.0 (Statsoft, USA).

### 3. Resultados

#### 3.1. Parâmetros Analíticos

A partir dos valores de  $r$  (coeficiente de correlação) obtidos, as curvas analíticas apresentaram boa linearidade dentro das faixas de concentrações avaliadas. Os limites de detecção para os metais Al, Cr, Mn, Ni, Zn, Ca e Mg foram de 0,09; 0,55; 0,22; 5,18; 0,16; 0,02 e 0,02 µg/L<sup>-1</sup>, enquanto que os limites de quantificação para os mesmos elementos foram 3,10; 1,84; 0,73; 17,3; 0,53; 0,08 e 0,07 µg/L<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2).

102,4% (Ni), 93,3% (Zn), 101,7% (Ca) e 97,2% (Mg) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resultados analíticos obtidos para Al, Cr, Mn, Ni, Zn, Ca e Mg em amostras certificadas (Peach Leaves 1547 e Apple Leaves 1515)

Elemento	Amostra	Valor medido (mg/kg)	Valor certificado (mg/kg)	Recuperação (%)
Cr	Peach Leaves 1547	1,01 ± 0,04	1,00	101,1
Mn		98 ± 0,18	98	100,0
Al	Apple Leaves 1515	293,7 ± 11,5	286	101,6
Ni		0,93 ± 0,053	0,91	102,4
Zn		11,6 ± 0,22	12,5	93,3
Ca		1521,7 ± 44,8	15260	101,7
Mg		2784,4 ± 19,1	2710	97,2

### 3.2. Teores de metais em folhas

A Tabela 4 apresenta as concentrações médias (mg/kg) de Al, Cr, Mn, Ni, Zn, Ca e Mg em folhas de açai (*Euterpe oleracea* Mart.), andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) e os seus respectivos desvios padrão.

Para todas as espécies utilizadas neste trabalho, os metais que foram mais abundantes foram o Ca, Mg e Al. Em relação às folhas de *Euterpe oleracea* Mart., o Ca apresentou valor médio de 4618 mg/kg, sendo que este elemento apresentou um comportamento linear até a 3º período de coleta, onde foi encontrado o maior teor deste elemento (5041,3 mg/kg).

O elemento Mg apresentou concentração média igual a 2803 mg/kg, sendo maior teor encontrado no 4º período de coleta (6573,5 mg/kg). O Al atingiu média 414,2 mg/kg e o maior teor de Al foi encontrados no 3º período de coleta (639,4 mg/kg). Em relação ao Mn, o valor médio encontrado foi igual a 113,2 mg/kg, sendo que ao longo do experimento a concentração deste elemento foi diminuindo chegando a atingir o valor de 64,6 mg/kg no 4º período de coleta.

O Zn apresentou valor médio de 34,2 mg/kg, sendo que o maior valor foi

encontrado no 3º período de coleta (38,7 mg/kg). Para o elemento Ni, o mesmo apresentou média de 3,2 mg/kg, com maior valor no 4º período de coleta (6,8 mg/kg). O Cr foi o elemento metálico em menor quantidade, apresentando média de 1,2 mg/kg.

Nas folhas de *Carapa guianensis* Aubl. os elementos Ca e Mg não apresentaram um comportamento linear em relação aos períodos de coleta, o Ca foi maior no 3º período de coleta (5041,3 mg/kg) e o Mg no 4º período (6573,5 mg/kg).

O Al atingiu média de 190,3 mg/kg, sendo o maior valor encontrado no 3º período de coleta (273,0 mg/kg). Em relação aos elementos Mn e Zn, os valores médios encontrados foram 18,1 mg/kg e 16,9 mg/kg, ambos não apresentaram comportamento linear durante os períodos de coleta, pois no 3º período de coleta apresentaram o menor valor (13,4 mg/kg e 18,1 mg/kg, respectivamente).

Os metais Cr e Ni também foram os menos abundantes. O Cr apresentou valor médio igual a 0,71 mg/kg, já o Ni apresentou valor médio igual a 1,8 mg/kg.



**Tabela 4.** Concentrações médias (mg/kg) de Al, Cr, Mn, Ni, Zn, Ca e Mg em folhas de (*Euterpe oleracea* Mart.), andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) e valores médios da altura (cm) e diâmetro (mm) das mudas e os seus respectivos desvios padrão

Amostras	Al	Cr	Mn	Ni	Zn	Ca	Mg	Alt	Diam
ABA1	253,3 ± 21,9	0,67 ± 0,01	177,5 ± 19,0	1,36 ± 0,70	28,3 ± 2,2	3927,8 ± 188,8	1560,5 ± 17,7	18,0 ± 1,0	6,3 ± 0,6
ABA2	482,7 ± 20,2	1,15 ± 0,18	114,4 ± 11,0	2,77 ± 0,15	32,5 ± 3,7	4705,7 ± 77,4	1574,7 ± 142,1	36,7 ± 3,2	9,5 ± 1,3
ABA3	639,4 ± 46,5	1,73 ± 0,06	96,4 ± 0,5	1,86 ± 0,06	38,7 ± 0,6	5041,3 ± 250,0	1503,3 ± 13,9	35,7 ± 2,3	12,3 ± 0,6
ABA4	281,4 ± 23,3	1,34 ± 0,08	64,6 ± 5,5	6,83 ± 0,45	37,4 ± 1,6	4798,0 ± 231,9	6573,5 ± 522,5	44,0 ± 5,0	15,7 ± 0,6
ANBA1	74,2 ± 4,7	0,65 ± 0,17	17,2 ± 0,7	1,75 ± 0,7	24,2 ± 0,5	9566,8 ± 538,1	2710,0 ± 189,5	58,3 ± 4,0	6,3 ± 0,6
ANBA2	218,6 ± 17,1	0,80 ± 0,10	21,7 ± 0,3	1,95 ± 0,3	34,4 ± 1,9	11235,0 ± 558,6	2977,0 ± 238,8	59,3 ± 3,5	7,83 ± 0,3
ANBA3	273,0 ± 22,9	0,65 ± 0,20	13,4 ± 3,1	1,95 ± 0,3	16,9 ± 0,3	8578,5 ± 516,9	3870,5 ± 64,3	60,7 ± 4,9	8,0 ± 0,0
ANBA4	195,4 ± 11,9	0,73 ± 0,10	20,3 ± 0,3	1,44 ± 0,1	26,9 ± 1,2	8557,0 ± 410,1	3989,5 ± 180,3	61,3 ± 6,1	9,17 ± 0,3
JBA1	155,6 ± 1,3	0,92 ± 0,10	67,4 ± 2,2	3,24 ± 0,05	17,8 ± 0,9	2345,5 ± 147,8	1577,3 ± 110,0	29,0 ± 3,0	4,0 ± 0,0
JBA2	167,4 ± 7,4	0,64 ± 0,00	62,6 ± 0,7	1,52 ± 0,2	24,5 ± 0,6	2310,0 ± 173,9	1577,3 ± 97,1	31,0 ± 1,0	4,3 ± 0,6
JBA3	292,8 ± 3,5	1,15 ± 0,16	83,4 ± 2,1	3,63 ± 0,4	17,3 ± 0,1	1970,0 ± 29,7	1745,7 ± 105,0	33,0 ± 3,0	4,5 ± 0,5
JBA 4	48,6 ± 4,0	0,85 ± 0,00	44,6 ± 0,7	7,60 ± 0,5	22,4 ± 0,7	870,0 ± 51,1	1229,5 ± 46,0	34,0 ± 6,2	5,3 ± 0,6

\***Legenda:** A= Açai; AND = Andiroba; J = Jatobá; 1 = 1º Coleta; 2 = 2º Coleta; 3 = 3º Coleta; 4 = 4º Coleta; Alt = Altura; Diam = Diâmetro.

Para as folhas de *Hymenaea courbaril* L, os elementos Ca e Mg alcançaram valores médios iguais a 1831,3 mg/kg e 1548,5 mg/kg. Em relação aos períodos de coleta, estes elementos apresentaram valores decrescentes atingindo no 4º período de coleta (906 mg/kg e 1262 mg/kg).

Em relação ao Al, o mesmo atingiu concentração média de 166,1 mg/kg, sendo o maior valor encontrado no 3º período (292,8 mg/kg). Em relação aos teores de Mn e Zn, os valores médios encontrados foram 64,5 mg/kg e 20,5 mg/kg, respectivamente.

Os teores de Cr e Ni apresentaram valores médios igual a: 0,89 mg/kg e 4,0 mg/kg, sendo que o maior valor de Cr foi encontrado no 3º período de coleta (1,15 mg/kg) e o maior teor de Ni foi detectado no 4º período de coleta (7,6 mg/kg).

Os metais Ca, Mg, Al e Zn apresentaram maior concentração no 3º período de coleta. O período que compreendeu entre a 1º e 3º

coleta representou o período menos chuvoso, o que pode explicar a maior quantidade destes metais nas folhas das espécies estudadas. Em relação aos elementos Ca e Mg, os mesmos apresentaram comportamento similar ao encontrado por Amarante et al.<sup>21</sup> em folhas de *Montrichardia linifera*.

Em relação à altura das mudas, constatou-se que *Carapa guianensis* Aubl. atingiu maior média de crescimento ( $59,9 \pm 0,7$  cm), seguida pela *Euterpe oleracea* Mart. ( $33,6 \pm 5,5$  cm), e *Hymenaea courbaril* L. ( $31,8 \pm 1,1$  cm). Com relação ao diâmetro das mudas, constatou-se que *Euterpe oleracea* Mart. atingiu maior diâmetro ( $11,00 \pm 2,0$  mm), seguida pela *Carapa guianensis* Aubl. ( $7,8 \pm 0,6$  mm) e *Hymenaea courbaril* L. ( $4,5 \pm 0,3$  mm).

Com o objetivo de relacionar as variáveis estudadas, foi realizada a análise de correlação de Pearson (tabela 5).

**Tabela 5.** Valores dos coeficientes de correlação de Pearson (r)

	Al	Cr	Mn	Ni	Zn	Ca	Mg	Alt
Cr	0,780							
Mn	0,455	0,306						
Ni	-0,227	0,295	-0,073					
Zn	0,560	0,565	0,250	0,021				
Ca	-0,004	-0,253	-0,522	-0,487	0,255			
Mg	-0,069	0,053	-0,405	0,240	0,281	0,454		
Alt	-0,163	-0,237	-0,836	-0,183	0,039	0,861	0,577	
Diam	0,564	0,625	0,022	0,214	0,781	0,295	0,687	0,279

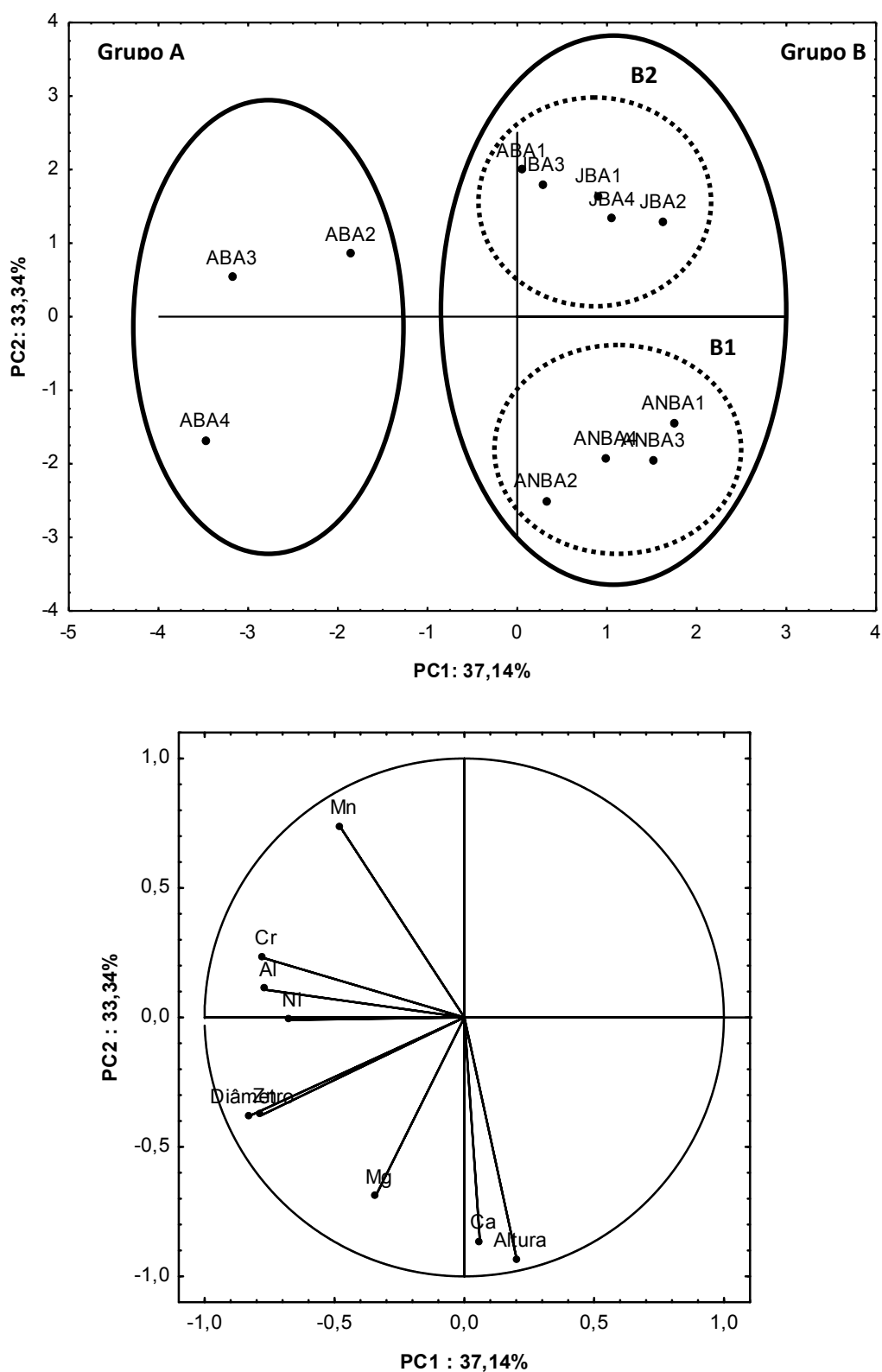
Observou-se uma correlação intermediária entre os metais Cr-Al ( $r = 0,780$ ), Zn-Al ( $r = 0,560$ ), Zn-Cr ( $r = 0,565$ ). Também verificou-se correlações negativas, sendo intermediária para os metais Ca-Mn ( $r = -0,522$ ) e alta para Alt-Mn ( $-0,836$ ).

Em relação ao parâmetro altura, verificou-se uma alta correlação com o Ca ( $r = 0,861$ ) e um correlação intermediária com o Mg ( $r = 0,577$ ). Com relação ao diâmetro, foi observado correlações intermediárias com o Al ( $r = 0,564$ ), Cr ( $r = 0,625$ ), Zn ( $r = 0,781$ ) e Mg ( $r = 0,687$ ).

### 3.3. Análise multivariada

A análise de componentes principais (PCA) foi aplicada aos resultados obtidos a partir da quantificação dos metais em folhas de plantas de diferentes espécies. Para tanto, utilizou-se uma matriz 12 x 9 (12 amostras de plantas e 9 variáveis). Foram escolhidas as primeiras componentes (PC1 e PC2), pois representam a combinação linear de maior variância e explicam mais de 70% da variação dos dados. A Figura 2 ilustra as similaridades

entre as amostras (Scores) [Figura 2a] e a [Figura 2b].  
similaridade entre as variáveis (Loadings)



**Figura 2.** Gráficos dos scores (a) e loadings (b) das 12 amostras de folhas das espécies estudadas (Açaí: ABA1, ABA2, ABA3, ABA4; Andiroba: ANBA1, ANBA2, ANBA3, ANBA4; Jatobá: JBA1, JBA2, JBA3, JBA4)

O gráfico dos *scores* obtido por meio da projeção da PC1 x PC2 ilustrado na figura 2a demonstra os pesos da 1ª (37,14%) e 2ª (33,34%) componentes em relação às variáveis o que totaliza 100% da amostragem. A partir da análise do gráfico dos *scores*, observa-se a formação de dois grupos principais (destacados na figura 2a), denominados de grupos A e B, que caracterizam as diferenças das espécies de plantas estudadas.

Os grupos A e B estão divididos de acordo com as semelhanças e diferenças apresentadas pelas amostras. O grupo A foi constituído pelas amostras ABA2, ABA3 e ABA4, enquanto que o grupo B foi subdividido em dois grupos, B1 (ANBA1, ANBA2, ANBA3 e ANBA4) e B2 (ABA1, JBA1, JBA2, JBA3, JBA4).

Através da distribuição das amostras no plano bidimensional verificaram-se semelhanças entre as amostras pertencentes ao grupo B, situado positivamente na PC1. As amostras contidas no grupo A estão localizadas positivamente na PC2, com exceção da amostra ABA4.

Os elementos Ca e Mg apresentaram uma correlação positiva em relação a altura. As amostras ANBA1, ANBA2, ANBA3 e ANBA4, localizadas positivamente na PC1 e pertencentes ao subgrupo B1, apresentaram os maiores teores de cálcio e altura, esta característica pode ser verificada na figura 2b e confirmada nas tabelas 5 e 6. De modo geral uma variação na relação Ca: Mg provoca alterações visíveis no crescimento da planta.<sup>22</sup> Desta forma, os resultados obtidos neste trabalho corroboram com a literatura, visto que já foram desenvolvidos vários trabalhos para estabelecer as relações ótimas de Ca:Mg para o crescimento das plantas.<sup>23</sup>

Os elementos Mn e Ca apresentaram uma correlação inversa. A amostra ANBA2, localizada positivamente na PC1 e pertencente ao subgrupo B1 confirma este comportamento (tabela 5). A nutrição de Ca

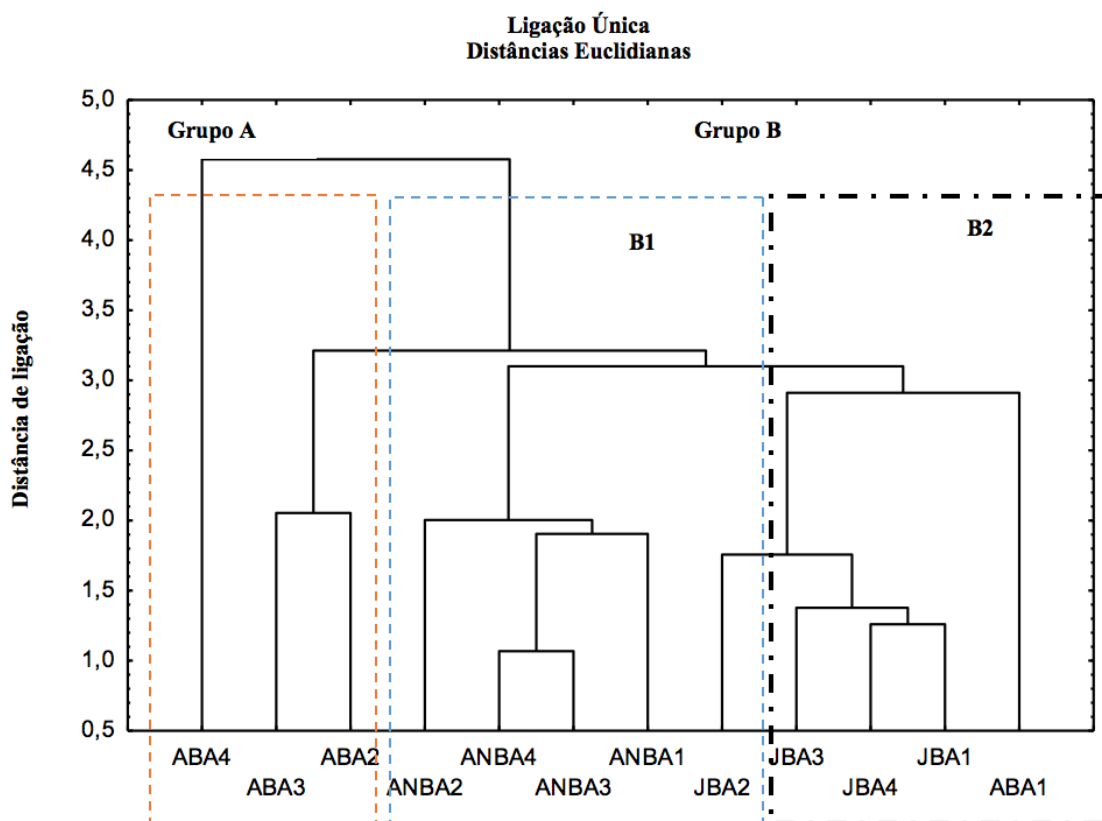
é afetada pela excessiva absorção de Mn pela planta, pois competem pelo mesmo sistema de absorção.<sup>24</sup> Tal relação entre os elementos Mn e Ca foram encontradas por Foy<sup>25</sup> e Foy; Fierning.<sup>26</sup>

O elemento Zn e a variável diâmetro apresentaram correlação positiva, sendo a amostra ABA4 (localizada negativamente na PC2, pertencente ao grupo A) a única que apresentou tal correlação, esta característica pode ser verificada na figura 1a e confirmada nas tabelas 5 e 6. O zinco é considerado um elemento de grande importância na nutrição da planta, sendo que suas funções básicas na planta estão relacionadas ao metabolismo de carboidratos, proteínas e fosfatos, e na formação de estruturas das auxinas, RNA e ribossomos.<sup>27</sup> Em trabalho realizado por Carmo et al.<sup>28</sup> também se verificou uma relação positiva entre o teor de Zn e o diâmetro.

As amostras JB1, JB2, JB3 e JB4 e ABA1 localizadas positivamente da PC1 e pertencentes ao subgrupo B1, apresentaram correlação inversa em relação às variáveis Zn e diâmetro conforme observado na figura 2b e confirmado nos dados da tabela 4.

Os elementos Cr e Al não são essenciais, porém são tóxicos acima de determinado limite.<sup>29</sup> As amostras ABA2 e ABA3 (pertencentes ao grupo A) estão localizadas positivamente na PC2 por apresentarem correlação com os elementos Cr e Al conforme observado na figura 1a e confirmado nos dados da tabela 4. O conhecimento sobre o comportamento concomitante de Al e Cr ainda é escasso, porém estudos realizados por Ali et al.,<sup>30</sup> verificaram que os metais Al e Cr influenciaram na redução nos parâmetros de crescimento e fotossintéticos.

As tendências de correlações observadas por meio das PCs foram confirmadas a partir do dendrograma obtido pela análise hierárquica de agrupamentos (HCA) (Figura 3).



**Figura 3.** Dendrograma obtido para as amostras de folhas estudadas a partir das distâncias Euclidianas normalizadas

#### 4. Discussão

O Ca e Mg são, entre os elementos maiores, os principais com efeito antagônico na absorção de vários elementos traços.<sup>31</sup> Trabalho realizado por Augusto *et al.*,<sup>32</sup> com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de Cd e Pb na cultura da mostarda (*Brassica juncea*) e sua relação com os macronutrientes, verificou que o teor de Ca e Mg diminuíram com a aplicação de Cd corroborando com os resultados obtidos por Gussarson<sup>33</sup> e Gussarson *et al.*<sup>34</sup>

Em relação ao Al, constatou-se que os valores encontrados para as três espécies estudadas foram superiores quando comparados aos valores obtidos por Santos *et al.*, (2012), para *Anacardium occidentale* (27,8 mg/kg) e *Byrsonima sericea* (63,2 mg/kg). Já em relação a *Miconia albicans*, a mesma apresentou valores mais expressivos (2646,4 mg/kg) do que encontrado neste

estudo. A presença do Al reduz o crescimento e o desenvolvimento das raízes e diminui a absorção de nutrientes, o que é desfavorável para o desenvolvimento de plantas sensíveis a esse elemento.<sup>35</sup>

Em trabalho desenvolvido por Pereira *et al.*,<sup>36</sup> utilizando quatro espécies arbóreas encontrou os seguintes teores de Mn nas folhas: 29,787 mg/kg para *Cordia africana* Lam, 26,397 mg/kg *Mimosa caesalpineafolia* Benth, 44,170 mg/kg para *Acacia angustissima* (Mill.) Ktze e 24,062 mg/kg para *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. Neste estudo os valores para esse metal foram superiores somente em relação a *Carapa guianensis* Aubl (18,1 mg/kg). O manganês tem importante papel no metabolismo das plantas, atuando em processos de ativação de diferentes enzimas, síntese de clorofila e fotossíntese.<sup>37</sup>

A deficiência de manganês afeta indiretamente as raízes, mediante dano provocado na parte aérea. Geralmente

ocorrem clorose marginal e franzimento das folhas, clorose nas folhas mais novas semelhantes à deficiência de ferro e manchas necróticas, principalmente nas folhas mais velhas.<sup>38</sup>

Os teores de Zn foram maiores quando comparados aos valores obtidos por Santos et al.,<sup>10</sup> para *Anacardium occidentale* (10,64 mg/kg), *Byrsonima sericea* (13,96 mg/kg) e *Miconia albicans* (11,54 mg/kg). Em relação ao trabalho desenvolvido por Pereira et al.,<sup>39</sup> os valores foram maiores somente em relação a espécie *Mimosa caesalpineafolia* Benth (23,362 mg/kg). O Zn interfere na utilização do Fe pelas folhas e talvez na produção de clorofila. O excesso de Zn causa distúrbios nutricionais graves em plantas, impedindo seu desenvolvimento, inclusive do sistema radicular.<sup>40</sup>

Os valores de Ni foram maiores, quando comparado ao estudo realizado por Lima et al.,<sup>41</sup> o qual utilizou *Coriandrum sativum* (0,69 mg/kg) como bioindicador de poluição atmosférica. Os sintomas de toxidez de Ni não estão bem definidos para os estádios iniciais de toxicidade, porém nos estádios moderados e agudos, a toxidez produz clorose, geralmente semelhante aos sintomas de deficiência de Fe.<sup>42</sup>

Em relação ao Cr os valores foram inferiores quando comparados com o obtido por Ramos; Geraldo,<sup>43</sup> o qual avaliou *Avicennia schauriana* (5,4 mg/kg), *Laguncularia racemosa* (3,19 mg/kg) e *Rhizophora mangle* (3,50 mg/kg), como bioindicador de poluição por metal pesado. O Cr tem a capacidade de atravessar membranas biológicas, agindo como oxidante, interferindo na absorção de nutrientes e na fotossíntese.<sup>39</sup>

## 5. Conclusão

No 3º período de coleta, verificou-se o maior teor de metais par as espécies estudadas: *Euterpe oleracea* Mart. (Al, Cr e Zn), *Carapa guianensis* Aubl. (Al) e *Hymenaea*

*courbaril* L. (Al, Cr e Mn), sendo Al o elemento metálico mais abundante para todas as espécies estudadas.

Em relação aos parâmetros de crescimento, as mudas de *Carapa guianensis* Aubl. apresentaram maior altura e as mudas de *Euterpe oleracea* Mart. apresentaram maior diâmetro. Através da correlação de Pearson foi possível identificar alta correlação da altura e o entre a altura e o elemento Ca ( $r = 0,861$ ) e uma correlação intermediária com o Mg ( $r = 0,577$ ). Com relação ao diâmetro, foi observado correlações intermediárias com o Al ( $r = 0,564$ ), Cr ( $r = 0,625$ ), Zn ( $r = 0,781$ ) e Mg ( $r = 0,687$ ).

Os resultados obtidos pela PCA e HCA permitiram a visualização de alta correlação entre as variáveis Ca – altura, Mg – altura, Ca – Mn, Zn – diâmetro e Al – Cr. A análise de componentes principais a partir da combinação da PC1 X PC2 separou as amostras em 2 grupos distintos e as variáveis que mais influenciaram na separação dos grupos foram Ca – altura, Mg – altura, Zn – diâmetro e Al – Cr.

A partir dos resultados obtidos, avalia-se a importância da investigação do teor de metais em espécies vegetais nativas da região amazônica, visto que não há estudos com essa abordagem para as espécies investigadas neste trabalho, logo estudos mais aprofundados são necessários para identificar se tais espécies podem ser utilizadas como bioindicadoras de metais, visto que a região amazônica sofre pressão ambiental de várias atividades econômicas e carece de recursos para monitoramento da qualidade do ar.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão bolsa de mestrado ao primeiro autor.

Ao Laboratório de Toxicologia da Seção de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas (IEC/SVS/MS) pela ajuda tecnológica na obtenção dos teores dos metais.

### Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> Monteiro, M. A. Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. *Estudos Avançados* 2005, 28, 187. [CrossRef]
- <sup>2</sup> Switkes, G. Impactos ambientais e sociais da cadeia produtiva de Alumínio na Amazônia – Ferramentas para os trabalhadores, as comunidades e os ativistas. Disponível em: <[https://www.internationalrivers.org/files/attached-files/foiling2005\\_po.pdf](https://www.internationalrivers.org/files/attached-files/foiling2005_po.pdf)>. Acesso em: 30 novembro 2015.
- <sup>3</sup> Oliveira, R. C. B.; Marins, R. V. Dinâmica de Metais-Traço em Solo e Ambiente Sedimentar Estuarino como um Fator Determinante no Aporte desses Contaminantes para o Ambiente Aquático: Revisão. *Revista Virtual de Química* 2011, 3, 88. [CrossRef]
- <sup>4</sup> Pereira, A. A.; Borges, J. D.; Leandro, W. L. Metais pesados e micronutrientes no solo e em folhas de *Brachiaria decumbens* às margens de rodovias. *Bioscience Journal* 2010, 26, 347. [Link]
- <sup>5</sup> Kvande, H.; Drabløs P. A. The Aluminum Smelting Process and Innovative Alternative Technologies. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2014, 56, S23. [CrossRef]
- <sup>6</sup> Arndt, U.; Weistein, L.; *Efeitos do flúor sobre as plantas: diagnose de danos na vegetação do Brasil*. Porto Alegre: UFRGS, 1995.
- <sup>7</sup> Magalhães, L. C.; Nalini Junior, H. A.; Lima, A. C.; Coutrim, M. X. Determinação de metais traço no material particulado em suspensão em ouro preto, minas gerais. *Revista Química Nova* 2010, 33, 519. [CrossRef]
- <sup>8</sup> Pereira, P. A. P.; Lopes, W. A.; Carvalho, L. S.; Rocha, G. O.; Bahia, N. C.; Loyola, J.; Quiterio, S. L.; Escaleira, V.; Arbilla, G.; Andrade, J. B. Atmospheric concentrations and dry deposition fluxes of particulate trace metals in Salvador, Bahia, Brazil. *Atmospheric Environment* 2007, 41, 7837. [CrossRef]
- <sup>9</sup> Santos, C. M.; Oliveira, R. C.; Roig, H. L.; Réquia Júnior, W. J. Biomonitoramento passivo com casca de aroeira vermelha (*Myracrodruon urundeuva* Lorenzi Harri) para verificar a variabilidade espacial da poluição atmosférica em uma região do Distrito Federal. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 2014, 19, 453. [CrossRef]
- <sup>10</sup> Santos, O. M.; Guedes, M. L. S.; Araújo, C. V. M. Potencial de espécies vegetais nativas do pólo industrial de Camaçari (BA, Brasil) como acumuladoras de elementos químicos contidos na poluição atmosférica. *Journal of the Brazilian Society Ecotoxicology* 2012, 7, 15. [CrossRef]
- <sup>11</sup> Gadzała-Kopciuch, R.; Berecka, B.; Bartoszewicz, J.; Buszewski, B. Some Considerations About Bioindicators in Environmental Monitoring. *Polish Journal of Environmental Studies* 2004, 13, 453. [Link]
- <sup>12</sup> Deepalakshmi, A. P.; Ramakrishnaiah, H.; Ramachandra, Y. L.; Naveen Kumar. Leaves of Higher Plants as Indicators of Heavy Metal Pollution along the Urban Roadways. *International Journal of Science and Technology* 2014, 3, 340. [Link]
- <sup>13</sup> Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; Brooks, T. M.; Pilgrim, J. D.; Konstant, W. R.; Fonseca, G. A. B.; Kormos, C. Wilderness and biodiversity conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2003, 100, 10309. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>14</sup> Nascimento, W. M. O.; Silva, W. R. Comportamento fisiológico de sementes de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) submetidas à desidratação. *Revista Brasileira de Fruticultura* 2005, 27, 349. [CrossRef]
- <sup>15</sup> Mendonça, A. P.; Ferraz, I. D. K. Óleo de andiroba: processo tradicional da extração, uso e aspectos sociais no estado do Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica* 2007, 37, 353. [CrossRef]
- <sup>16</sup> Souza, L. C. D.; Sá, M. E.; Moraes, S. M. B.; Carvalho, M. A. C.; Silva, M. P.; Abrante, F. L.

- Composição química e nutrientes em sementes das espécies florestais pente de macaco, flor de paca, itaúba, jatobá e murici manso. *Bioscience Journal* **2012**, *28*, 478. [[Link](#)]
- <sup>17</sup> Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará (IDESP). Estatística Municipal: Barcarena, 2014. [[Link](#)]
- <sup>18</sup> Magalhães, A. C. N.; *Em Análise quantitativa do crescimento in Fisiologia Vegetal*; Ferri, M. G. São Paulo: Editoras EPU; EDUSP, 1985, 331- 350.
- <sup>19</sup> Skoog, D. A.; Holler, F. J.; Nieman, T. A.; *Princípios de Análise Instrumental*, 5a. ed., Bookman: São Paulo, 2002.
- <sup>20</sup> Raposo Junior, J. L.; Ré-Poppi, N.; Honda, N. L. Avaliação da concentração de alguns íons metálicos em diferentes espécies de líquens do cerrado sul-mato-grossense *Química Nova* **2007**, *30*, 582. [[CrossRef](#)]
- <sup>21</sup> Amarante, C. B.; Silva, J. C. F.; Solano, F. A. R.; Nascimento, L. D.; Moraes, L. G.; Silva, G. F.; Uno, W. S. Estudo Espectrométrico Das Folhas Da Aninga (*Montrichardia linifera*) Coletadas à Margem do Rio Guamá no Campus da UFPA, Belém-PA. Uma Contribuição ao Estudo Químico da Família Araceae. *Revista Científica da UFPA* **2009**, *7*, 1 [[Link](#)]
- <sup>22</sup> Sena, J. S.; Tucci, C. A. F.; Lima, H. N.; Hara, F. A. S. Efeito da calagem e da correção dos teores de Ca e Mg do solo sobre o crescimento de mudas de angelimpedra (*Dinizia excelsa* Ducke) *Acta Amazonica* **2010**, *40*, 309. [[CrossRef](#)]
- <sup>23</sup> Silva, D. J.; Defelipo, B. V. Necessidade de calagem e diferentes relações Ca:Mg para a produção de mudas de eucalipto. *Revista Árvore* 1993, *17*, 303. [[Link](#)]
- <sup>24</sup> Pavan, M. A.; Bingham, F. T. Toxidez de metais em plantas: caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **1981**, *16*, 815. [[Link](#)]
- <sup>25</sup> Foy, C. D. *Em Manganese and plants in Manganese*; Foy, C. D. Washington: National Academy of Sciences, 1973. 51-76.
- <sup>26</sup> Foy, C. D.; Fleming, A. L. *Em The physiology of plant tolerance to excess available alummium and manganese in acid soils in Crop tolerance to Suboptimal conditions*; G. A. Jang: 1978. 301-328.
- <sup>27</sup> Borkert, C. M. *Em Micronutrientes na planta in Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação*; Büll, L. T.; Rosolem, C. A. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1986. 309-329.
- <sup>28</sup> Carmo, D. L.; Silva, B. V. N.; Dias, J. S.; Carvalho, J. G.; Pinho, P. J. Crescimento de cedro-australiano sob doses de boro e zinco em solução nutritiva. *Enciclopédia Biosfera* **2010**, *6*, 1. [[Link](#)]
- <sup>29</sup> Panda, S. K.; Choudhury, S. Chromium stress in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 2005, *17*, 95. [[CrossRef](#)]
- <sup>30</sup> Ali, S.; Zeng, F.; Qiu, L.; Zhang, G. The effect of chromium and aluminum on growth, root morphology, photosynthetic parameters and transpiration of the two barley cultivars. *Biologia Plantarum* **2011**, *55*, 291. [[CrossRef](#)]
- <sup>31</sup> Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. *Trace elements in soil and plants*. 3a ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.
- <sup>32</sup> Augusto, A. S.; Bertoli, A. C.; Cannata, M. G.; Carvalho, R.; Bastos, A. R. R. Bioacumulação de Metais Pesados em *Brassica juncea*: Relação de Toxicidade com Elementos Essenciais. *Revista Virtual de Química* **2014**, *6*, 1221. [[CrossRef](#)]
- <sup>33</sup> Gussarson, M. Cadmium-induced alterations in nutrient composition and growth of betula pendula seedlings: The significance of fine roots as a primary target for cadmium toxicity. *Journal of Plant Nutrition* **1994**, *17*, 2151. [[CrossRef](#)]
- <sup>34</sup> Gussarson, M.; Asp, H.; Adalsteinsson, S.; Jensén, P. Enhancement of cadmium effects on growth and nutrient composition of birch (*Betula pendula*) by buthionine sulphoximine (BSO). *Journal of Experimental Botany* 1996, *47*, 211. [[CrossRef](#)]



- <sup>35</sup> Miguel, P. S. B.; Gomes, F. T.; Rocha, W. S. D.; Martins, C. E.; Carvalho, C. A.; Oliveira, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. *Revista Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora* **2010**, *24*, 13. [[Link](#)]
- <sup>36</sup> Pereira, A. C. C.; Rodrigues, A. C. D.; Santos, F. S. S.; Guedes, J. N.; Sobrinho, N. M. B. A. Concentração de metais pesados em espécies arbóreas utilizadas para revegetação de área contaminada. *Revista Ciência Agronômica* **2012**, *43*, 641. [[CrossRef](#)]
- <sup>37</sup> Fageria, V. D. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition* **2001**, *24*, 1269. [[CrossRef](#)]
- <sup>38</sup> Soratto, R. P.; Silva, T. R. B.; Borghi, E.; Silva, L. M.; Rosolem, C. A. Resposta de quatro cultivares de feijão ao manganês em solução nutritiva. *Revista Brasileira Agrociência* **2005**, *11*, 235. [[CrossRef](#)]
- <sup>39</sup> Pereira, P. F.; Antunes, F.; Braga, V. F.; Resende, C. F.; Ribeiro, C.; Peixoto, P. H. P. Pigmentos lipossolúveis e hidrossolúveis em plantas de salvinia sob toxicidade por cromo. *Planta Daninha* **2012b**, *30*, 397. [[CrossRef](#)]
- <sup>40</sup> Costa, A. C. S.; D'Oliveira, L. F. L.; Sandir, P. Silva, M. A. G.; Gil, L. G.; Rocha, R. A. A. Acúmulo de Zn, Fe e Pb em plantas de crisântemo após cultivo em substrato contendo doses de resíduo industrial de galvanoplastia. *Acta Scientiarum Agronomy* **2004**, *26*, 407. [[CrossRef](#)]
- <sup>41</sup> Lima, J.S.; Carvalho Filho, D.M.; Couto, E.; Korn, M.G.A.; Melo, M. H.; Gomes, C.T. Capim-santo (*Cymbopogon citratus*) como bioindicador de poluição atmosférica no Polo Petroquímico de Camaçari – BA. *Revista Brasileira de Ecologia* **1997**, *1*, 95. [[Link](#)]
- <sup>42</sup> Berton, R. S.; Pires, A. M. M.; Andrade, S. A. L. Abreu, C. A. Ambrosano, E. J.; Silveira, A. P. D. Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **2006**, *41*, 1305. [[CrossRef](#)]
- <sup>43</sup> Ramos, M. G. M.; Geraldo, L. P. Avaliação das espécies de plantas *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* como bioindicadoras de poluição por metais pesados em ambientes de mangues. *Engenharia Sanitaria Ambiental* **2007**, *12*, 440. [[CrossRef](#)]