

QUANTIFICAÇÃO DE METAIS PESADOS EM FOLHAS DE MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA* CRANTZ) COMO POTENCIAL INDICADOR DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL

Vinicius Ribeiro Flores^{1,2}

Lidiane Coelho Berbert²

Cristiane Pimentel Victório²

Ida Carolina Neves Direito²

Alexander Machado Cardoso^{1,2}

Resumo

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é um alimento de baixo custo que possui diversas propriedades benéficas, por isto está no cardápio de populações de países em desenvolvimento. O cultivo deste vegetal próximo a fontes de contaminação ambiental pode causar danos ao seu desenvolvimento, e, indiretamente, à saúde humana. O grupo dos metais pesados tem diferentes elementos contaminantes que não são degradados, e normalmente se acumulam em diferentes níveis tróficos das cadeias alimentares nos ecossistemas. Este trabalho teve como objetivo analisar o solo de cultivo e das folhas de *M. esculenta* com a finalidade de verificar a presença de metais pesados, e se a mandioca pode ser utilizada como indicadora de contaminação por metais pesados. Então foram coletadas amostras de solo e folhas de mandioca cultivados próximo ao Distrito Industrial de Santa Cruz (Rio de Janeiro/RJ - Brasil) para detecção e quantificação de metais pesados por ICP-OES. As análises indicaram a presença de manganês e molibdênio biodisponível (Mn – Fase 1: $8,23 \pm 1,45$ ppm e Fase 2: $2,66 \pm 0,71$ ppm; Mo – Fase 1: $1,16 \pm 1,61$ ppm e Fase 2: $12,52 \pm 3,03$ ppm) no solo. Nas folhas de mandioca foram identificados os metais pesados manganês ($509,60 \pm 187,70$ ppm), chumbo ($3,09 \pm 2,61$ ppm), zinco ($124,30 \pm 22,88$ ppm), cobalto ($0,98 \pm 0,48$ ppm), molibdênio ($1,12 \pm 0,21$ ppm) e cádmio ($0,31 \pm 0,14$ ppm). Esse resultado sugere que folhas de mandioca podem ser utilizadas na detecção de metais pesados no ambiente, indicando a contaminação gerada por fontes antropogênicas.

Palavras-chave: Bioindicador. Fitorremediação. Mandioca. Poluição ambiental.

1 – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia/INMETRO

2 – Laboratório de Pesquisa em Biotecnologia Ambiental no UEZO

QUANTIFICATION OF HEAVY METALS IN CASSAVA LEAVES (*MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*) AS A POTENTIAL INDICATOR OF ENVIRONMENTAL CONTAMINATION

Abstract

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) has many beneficial properties and for this is present in the menu of many people in developed countries. The cultivation presence nearby industrial activity may, indirectly, affect the human and vegetable health. One that contaminants are the heavy metals that are not degraded and may be carried in the food chain through the bioaccumulation. This work aims to identify the soil and cassava leaves contamination with the objective that be used as indicator of environment contamination. For this was collected soil and leaves of cassava samples from a farmland nearby at Distrito Industrial de Santa Cruz (Rio de Janeiro/RJ Brazil) and forwarded to chemical analyses through ICP-OES to heavy metal concentration identification in the samples. The analyze indicated the manganese and molybdenum presence bioavailable (Mn – Phase 1: $8,23 \pm 1,45$ ppm; Phase 2: $2,66 \pm 0,71$ ppm) in soil, however in the cassava leaves was possible to identify manganese ($509,60 \pm 187,70$ ppm), lead ($3,09 \pm 2,61$ ppm), zinc ($124,30 \pm 22,88$ ppm), cobalt ($0,98 \pm 0,48$ ppm), molybdenum ($1,12 \pm 0,21$ ppm) e cadmium ($0,31 \pm 0,14$ ppm). This result suggests that cassava may be used as environmental contamination indicator through the analysis of cassava leaves, being able to indicate a more representative environmental contamination generated for anthropogenic sources.

Keyword: Bioindicator. Phytoremediation. Cassava. Environmental pollution.

Introdução

Mandioca, aipim ou macaxeira (*Manihot esculenta* Crantz), Euphorbiaceae, é um alimento vegetal amplamente encontrado no cardápio da população de países em desenvolvimento, principalmente por ser uma fonte rica em carboidratos e de alto valor nutritivo (DIAS et al., 2009; AREGHEORE, 2012). E estima-se que o uso alimentício está em ascensão em países da América Latina, África e Ásia (LATIF & MILLER, 2015). As raízes tuberosas são mais comumente utilizadas na alimentação, mas também as folhas cozidas ou

fermentadas. No Brasil, registros indicam que comunidades indígenas da região Norte e Nordeste preparavam o prato chamado “maniçoba”, feito com folhas de mandioca que ficavam por uma semana cozinhando ou fermentando para degradação do ácido cianídrico (HCN) bastante tóxico para os seres vivos (OLIVEIRA et al., 2012; SANTOS et al., 2020). A receita passou por adaptações, e permanece até os dias de hoje como um destaque gastronômico do Pará, Brasil. A mandioca contém quantidade alta de vitaminas B1, B2 e C, proteínas, carotenoides e minerais (K, Mg, Ca) (DIAS et al., 2009; AREGHEORE, 2012; LATIF & MILLER, 2015). Esse uso em países em desenvolvimento também é relacionado com a capacidade deste vegetal de ser cultivado em regiões tropicais e subtropicais, com baixas condições de fertilidade, onde solos pobres de nutrientes podem gerar alimentos (LATIF & MILLER, 2015).

Algumas regiões com produções agrícolas podem ser vizinhas de fontes contaminadoras do ambiente por metais pesados. Uma destas fontes são as indústrias, uma vez que em todas as regiões que ocorrem esses processos industriais, que trazem benefícios, não é possível evitar o surgimento de substâncias químicas tóxicas e metais pesados que acabam por poluir o ambiente da área industrializada/urbanizada e as áreas vizinhas (SARWAR et al., 2017). Este despejo industrial quando manuseado inapropriadamente pode atingir a saúde humana causando diversas injúrias que variam desde dores de cabeça, náuseas, irritações na pele e pulmões, até sérias reduções das funções neurológicas e hepáticas (HOUK, 1992).

Todos os metais que possuem densidade cinco vezes maior do que a densidade da água são denominados metais pesados (ROYCHOWDHURY; DATTA; SARKAR, 2018). Os metais pesados são constituintes naturais da crosta terrestre através de atividades vulcânicas e intemperismo das rochas; entretanto, atividades antrópicas podem aumentar os níveis presentes no ambiente que são identificados como traço (<1000 mg.kg⁻¹) e raramente tóxico (WUANA & OKIEIMEN, 2011; ROYCHOWDHURY; DATTA ; SARKAR, 2018; EDELSTEIN; BEM-HUR, 2019). Os metais pesados encontrados normalmente em sítios contaminados são: Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Arsênio (As), Zinco (Zn), Cádmio (Cd), Cobre (Cu) e Mercúrio (Hg). O comportamento destes metais no solo é

diretamente afetado por algumas características do sistema biogeoquímico do solo: i) distribuição heterogênea de substâncias e componentes; ii) alteração sazonal e espacial das principais variáveis do solo; iii) transferência entre fases; e iv) bioacumulação (KABATA-PENDIAS, 1993). Essa bioacumulação é geralmente realizada por microrganismos e vegetais.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi analisar o solo de cultivo e as folhas da mandioca com a finalidade de verificar a presença de metais pesados e se este vegetal pode ser utilizado como remediador e indicador de contaminação ambiental por metais pesados.

Materiais e Métodos

Área de Coleta

Foi selecionada para o estudo uma região de cultivo de mandioca localizada próximo ao Distrito Industrial de Santa Cruz (Rio de Janeiro/RJ - Brasil) com as seguintes coordenadas geográficas: 22°54'57"S 43°42'33"W. Foram coletadas 20 amostras de solo, distantes entre si, na profundidade de 0 – 20 cm. Estas amostras foram utilizadas para a formação de uma amostra composta, da qual foram retiradas 5 frações para a detecção e quantificação de metais pesados por ICP-OES. O solo coletado apresenta textura muito argilosa, pH 4,4, 1,72% de carbono orgânico. Foram coletadas também de 5 amostras de folhas de mandioca para a identificação dos metais pesados. As folhas foram coletadas aleatoriamente nos vegetais. As amostras dos vegetais foram limpas para retirada de resquícios de terra. Após a limpeza das amostras vegetais, as folhas foram armazenadas em sacos de papel e secas a 30°C.

Análise de Metais Pesados em Amostra de Solo por Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Quanto à Biodisponibilidade

As amostras de solos em quintuplicata foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm foram submetidas ao procedimento de digestão ácida sequencial. A extração sequencial de amostras de solo se deu seguindo o

protocolo estabelecido por Pueyo e colaboradores (2008) e Nemati e colaboradores (2011), que podem ser definidos por duas etapas principais que se repetem: i) extração, onde o material é incubado por 16 h em temperatura ambiente sob agitação de 30 rpm juntamente com o extrator; e, ii) a lavagem que consiste em adicionar 20 mL de água ultra pura ao resíduo, centrifugar e descartar o sobrenadante. Sendo assim, obtivemos 4 frações de biodisponibilidade sendo: Fase1 – Fração trocável; Fase 2- Fração ligada a óxidos; Fase 3 – Fração ligada a matéria orgânica e Fase 4 – Fração ligada a Rocha Matriz. Em seguida, a análise foi realizada, com cada fração coletada, no equipamento ICP-OES Optima 8300 (Perkin Elmer) utilizando o autosampler S10 (Perkin Elmer). A introdução das amostras foi realizada através da câmara de nebulização tipo “Scott” e do nebulizador cross-flow sob as seguintes condições do plasma: vazões de 15 mL.min⁻¹ de argônio; 0,5 mL.min⁻¹ de gás auxiliar; 0,8 mL.min⁻¹ de nebulização e 1,5 mL.min⁻¹ da bomba peristáltica. A técnica foi realizada utilizando a potência de 1.300 W. O sinal foi adquirido através da área de pico por integração automática de 5 a 7 pontos. Para cada elemento utilizou-se um comprimento de onda específico: Cd – 228,802 nm; Co – 228,616 nm; Cr – 267,716 nm; Cu – 324,752 nm; Mn – 259,372 nm; Mo – 203,845 nm; Pb – 224,688 nm; Zn – 213,857 nm. Após as análises químicas, os gráficos foram montados utilizando o software GraphPad Prism, onde foram realizados o teste estatístico ANOVA two-away com medidas repetidas.

Análise de Metais Pesados nas Amostras de Folhas de Mandioca por Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma

Foi realizada a digestão ácida das folhas de mandioca. Para a digestão ácida foram selecionadas 5 amostras simples de folhas secas. Este material foi cortado em pequenos pedaços, a fim de facilitar a digestão ácida, e submetido ao processo de digestão ácida para a extração de metais seguindo o método de Raposo e colaboradores (2007) com adaptações. Após o processo de digestão ácida, as amostras de cada ponto foram submetidas à análise dos seguintes

elementos químicos: Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Zn, Cd, Pb, em quintuplicata, na técnica de ICP-OES (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma). Para os elementos Al, Ba, Fe, Zn, Mg, Mn e Sr, as curvas de calibração foram montadas com concentrações de 0,010 mg.L⁻¹ a 1,000 mg.L⁻¹ e para o preparo da curva, foi utilizado um padrão multielementar de concentração 100mg.L⁻¹ com os mesmos elementos da SpexCertiPrep. Para os elementos Co, Cr, Cu, Ti, V, Li, Mo e Ni, as curvas de calibração foram montadas com concentrações de 0,005 a 0,200 mg.L⁻¹, utilizando-se um padrão multielementar de concentração de 100 mg.L⁻¹ com os mesmos elementos da SpexCertiPrep. Para os elementos B, Ca, Na e K, as curvas de calibração foram montadas com as concentrações de 0,100 a 1,000 mg.L⁻¹ e para o preparo da curva foi utilizado um padrão multielementar de concentração 100 mg.L⁻¹ com os mesmos elementos da SpexCertiPrep. Para os elementos K, Ca, Na e Mg, as curvas de calibração foram montadas de 1 a 50 mg.L⁻¹ e para o preparo da curva foi utilizado um padrão multielementar de concentração de 1000mg.L⁻¹ com os mesmos elementos da SpexCertiPrep. Para os elementos Se, As, Pb, Be, Cd e Sb, as curvas de calibração foram montadas de 0,002 a 0,025 mg.L⁻¹ e para o preparo da curva foi utilizado um padrão multielementar de concentração 100 mg.L⁻¹ com os mesmos elementos da SpexCertiPrep. Para o elemento Sn a curva de calibração foi montada de 0,010 a 0,100 mg.L⁻¹ e para o preparo da curva foi utilizado um padrão unielementar de concentração 1000 mg.L⁻¹ da Fluka. Para o elemento Si, a curva de calibração foi montada de 1 a 50 mg.L⁻¹ e para o preparo da curva foi utilizado um padrão unielementar de concentração de 1000 mg.L⁻¹ da Fluka. Após as análises os gráficos foram montados utilizando o software GraphPad Prism, onde foram realizados o teste estatístico ANOVA One-away.

Resultados e Discussão

A análise de metais pesados no solo de cultivo foi realizada com o procedimento de extração sequencial destes metais. Sendo assim, foi possível observar o grau de biodisponibilidade dos metais pesados no solo com a

finalidade de observar o potencial de mobilidade destes metais no ambiente. A análise por ICP-OES indicou que apenas os metais manganês e molibdênio apresentaram valores biodisponíveis (Mn – Fase 1: $8,23 \pm 1,45$ ppm; Fase 2: $2,66 \pm 0,71$ ppm) (Mo – Fase 1: $1,16 \pm 1,61$ ppm; Fase 2: $12,52 \pm 3,03$ ppm) (Tabela 1). Para esse estudo foram utilizados a fase 1 e 2 como elementos biodisponíveis, pois são respectivamente os metais presentes na fração trocável e metais ligados aos óxidos, sendo mais acessíveis aos organismos.

A fase 3 e 4 são os metais ligados a matéria orgânica e a rocha matriz, respectivamente. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), a concentração permitida, em solo, de Manganês é de 900 ppm, onde em nosso estudo foi identificado um valor bem menor do que o limite permitido (GERBER; A LÉONARD; HANTSON, 2002; TÓTH et al., 2016). Em contrapartida, o limite permitido de Molibdênio em solos é de 2 ppm, onde no presente estudo identificamos 51,49 ppm deste metal quando somado as médias de todas as fases de biodisponibilidade.

Vale ressaltar que na fase 2 foram identificados $12,52 \pm 3,03$ ppm (Tabela 1), valor seis vezes acima do limite estipulado pela ONU (GERBER; A LÉONARD; HANTSON, 2002; TÓTH et al., 2016). Os demais metais não apresentaram valores na fase 1 ou 2 de biodisponibilidade, representando uma falta de disponibilidade destes metais no solo de cultivo de mandioca avaliado.

Tabela 1. Quantificação (ppm) de metais pesados detectados no solo sob cultivo de mandioca (*Manihot esculenta*).

	Fase 1				Fase 2				Fase 3			Fase 4				
	Valor Max.	Valor Min.	Média	Desv. Pad.	Valor Max.	Valor Min.	Média	Desv. Pad.	Valor Max.	Valor Min.	Média	Desv. Pad.	Valor Max.	Valor Min.	Média	Desv. Pad.
Cobre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Manganês	9,75	6,30	8,23	1,45	3,34	1,67	2,66	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zinco	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cromo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,27	5,60	7,43	1,09	1,15	0,00	0,25	0,51
Cobalto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Molibdênio	3,31	0,00	1,16	1,61	16,07	9,33	12,52	3,03	11,57	0,00	5,47	5,24	37,76	28,16	32,34	3,47
Chumbo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cádmio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Legenda: Fase1 – Fração trocável; Fase 2- Fração ligada a óxidos; Fase 3 – Fração ligada a matéria orgânica e Fase 4 – Fração ligada a Rocha Matriz. Max. – Máximo; Min. – Mínimo; Desv. Pad. – Desvio Padrão; ppm – Partes por Milhão.
Fonte: Pesquisa dos Autores

Abah e Petja (2016) identificaram valores de molibdênio abaixo do encontrado em nosso estudo (1,09 - 2,29 ppm), porém essa diferença pode estar relacionada a textura do solo e pH dos dois estudos. Abah e Petja utilizaram um solo com pH variando entre 5.1 e 6.1, e com alta concentração de areia. Em nosso estudo, o solo era mais ácido (pH 4.4) e com maior concentração de argila. Entretanto, a presença de molibdênio em valores acima do esperado é interessante, uma vez que solos mais ácidos apresentam uma menor disponibilidade de molibdênio, onde o presente trabalho contraria este dado.

Para compreender a capacidade da mandioca de absorver metais pesados do solo, foi realizada a análise da presença dos metais pesados nas folhas de mandioca. A análise por ICP-OES indicou uma alta concentração de manganês ($509,60 \pm 187,70$ ppm), chumbo ($3,09 \pm 2,61$ ppm), zinco ($124,30 \pm 22,88$ ppm), cobalto ($0,98 \pm 0,48$ ppm), molibdênio ($1,12 \pm 0,21$ ppm) e cádmio ($0,31 \pm 0,14$ ppm) quando comparado com o encontrado em planta de referência (Mn – 200 ppm; Pb – 1 ppm; Zn – 50 ppm; Co – 0,2 ppm; Mo – 0,5 ppm; Cd – 0,05 ppm) (MARKERT, 1992) (Tabela 2). Apenas cromo e cobre obtiveram valores abaixo do esperado, que seriam de $0,39 \pm 0,06$ ppm e $7,41 \pm 0,85$ ppm, respectivamente, na planta de referência (MARKERT, 1992) (Tabela 2). Harrison, Osu e Ekanem (2018) identificaram a presença de metais pesados em folhas de mandioca localizadas em uma terra agrícola impactada por contaminação de petróleo bruto, porém estes autores encontraram valores abaixo do observado no presente estudo (Cd – $0,08 \pm 0,02$ ppm; Pb – $0,1 \pm 0,1$ ppm; Cr – $0,02 \pm 0,01$ ppm; Zn – $7,0 \pm 0,12$ ppm) o que indica que a cultivar do nosso estudo possui uma variabilidade genética que permite o acúmulo de metais pesados sem afetar o desenvolvimento desta planta, uma vez que as amostras possuíam aspecto saudável. Navarrete e colaboradores (2017) identificaram valores de cádmio abaixo do encontrado neste estudo (Tabela 2) em folhas de mandioca cultivada em área urbana ($0,08 \pm 0,02$ ppm) indicando

que a proximidade com uma área industrial com produção siderúrgica e metalúrgica pode estar acarretando o aumento da concentração de cádmio nas folhas deste vegetal.

Tabela 2. Quantificação (ppm) de metais pesados em folhas de mandioca (*Manihot esculenta*).

	<i>Valor Max.</i>	<i>Valor Min.</i>	<i>Média</i>	<i>Desv. Pad.</i>
<i>Cobre</i>	8,34	6,12	7,41	0,85
<i>Manganês</i>	714,60	286,90	509,60	187,70
<i>Zinco</i>	163,20	105,60	124,30	22,88
<i>Cromo</i>	0,49	0,34	0,39	0,06
<i>Cobalto</i>	1,79	0,63	0,98	0,48
<i>Molibdênio</i>	1,35	0,81	1,12	0,21
<i>Chumbo</i>	6,77	0,85	3,09	2,61
<i>Cádmio</i>	0,47	0,15	0,31	0,14

Legenda: Max. – Máximo; Min. – Mínimo; Desv. Pad. – Desvio Padrão; ppm – Partes por Milhão.

Fonte: Pesquisa dos Autores

Nosso estudo apresenta valores dos metais pesados cobre, zinco, cromo, cobalto, chumbo e cádmio acima do esperado como referência em vegetais; entretanto, o solo do cultivo em questão não apresenta estes metais na fração biodisponível. Essa presença nas folhas pode sugerir que a cultivar utilizada neste estudo tem a capacidade de absorver estes metais com maior facilidade, o que pode indicar uma capacidade deste vegetal de remediar e indicar metais pesados no ambiente. A mandioca tem sido referida em estudos de remediação de metais pesados como Hg, Au, Cu, Zn e As e como bioindicadora (KŘÍBEKA et al., 2014; HANNAH et al., 2017).

Outra sugestão, é que para as análises de solo foi utilizada uma amostra composta gerada a partir de 20 pontos aleatórios, na qual se admite a representatividade do ambiente amostrado; entretanto, os vegetais através das suas raízes são capazes de criar uma rede no solo para absorção de nutrientes,

onde podemos considerar que cada vegetal localizado no sítio amostral exerce a função de uma amostra composta, onde podemos obter uma maior representatividade do ambiente que se pretende estudar. Nossos resultados sugerem que existe uma liberação destes metais pela atividade industrial localizada próxima ao sítio amostral que não é possível identificar apenas pela análise de metais pesados no solo.

Considerações Finais

No presente estudo foi possível concluir que a mandioca possui um potencial de indicador de contaminação ambiental por metais pesados através da análise do teor de metais pesados presentes na sua folha, obtendo assim uma representatividade mais fidedigna da contaminação ambiental gerada por atividades industriais.

Agradecimentos

Este estudo teve o apoio financeiro pelo CNPq, FAPERJ, AGEVAP e PRONAMETRO. Agradecemos também ao Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) pelo apoio dado pelas análises de metais pesados por ICP-OES.

Referências

ABAH, R C; PETJA, B M. Analysis of soils from cassava farms in floodplain terrain. **Journal of Soil Science and Environmental Management**, [s.l.], v. 7, n. 3, p.23-31, 31 mar. 2016. Academic Journals. <http://dx.doi.org/10.5897/jssem15.0541>.

ALCANTARA, Hannah Joy P.; DORONILA, Augustine I.; KOLEV, Spas D.. Phytoextraction potential of *Manihot esculenta* Crantz. (cassava) grown in mercury- and gold-containing biosolids and mine tailings. **Minerals Engineering**, [s.l.], v. 114, p.57-63, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2017.09.010>. HOUK, Virginia Stewart. The genotoxicity of industrial wastes and effluents. **Mutation Research/reviews In Genetic Toxicology**, [s.l.], v. 277, n. 2, p.91-138, ago. 1992. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0165-1110\(92\)90001-p](http://dx.doi.org/10.1016/0165-1110(92)90001-p).

AREGHEORE, Eroarome Martin. Nutritive Value and Inherent Anti-nutritive Factors in Four Indigenous Edible Leafy Vegetables in Human Nutrition in Nigeria: A Review. **Journal Of Food Resource Science**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.1-14, 1 jan. 2012. Science Alert. <http://dx.doi.org/10.3923/jfrs.2012.1.14>.

DIAS, Fábio de Souza et al. Determination of Manganese in Cassava Leaves by Slurry Sampling Flame Atomic Absorption Spectrometry. **Analytical Letters**, [s.l.], v. 42, n. 14, p.2206-2213, 23 set. 2009. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00032710903137368>.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.

GERBER, G.b.; A LÉONARD,; HANTSON, Ph. Carcinogenicity, mutagenicity and teratogenicity of manganese compounds. **Critical Reviews In Oncology/hematology**, [s.l.], v. 42, n. 1, p.25-34, abr. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1040-8428\(01\)00178-0](http://dx.doi.org/10.1016/s1040-8428(01)00178-0).

HARRISON, U.e.; OSU, S.r.; EKANEM, J.o.. Heavy metals accumulation in leaves and tubers of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) grown in crude oil contaminated soil at Ikot Ada Udo, Nigeria. **Journal Of Applied Sciences And Environmental Management**, [s.l.], v. 22, n. 6, p.845-851, 13 jul. 2018. African Journals Online (AJOL). <http://dx.doi.org/10.4314/jasem.v22i6.1>.

KABATA-PENDIAS, A. AND PENDIAS, H., (1993) **Biochemistry of trace elements**. PWN Warsaw, Polish Kiehl, E. J. Manual de edafologia. São Paulo: Agrônômica Ceres, 1979. 262p.

LATIF, Sajid; MÜLLER, Joachim. Potential of cassava leaves in human nutrition: A review. **Trends In Food Science & Technology**, [s.l.], v. 44, n. 2, p.147-158,

ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.006>. KŘÍBEK, B. et al. Concentrations of arsenic, copper, cobalt, lead and zinc in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) growing on uncontaminated and contaminated soils of the Zambian Copperbelt. **Journal Of African Earth Sciences**, [s.l.], v. 99, p.713-723, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.02.009>. LEMOS, R. C. de,

SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas, SBSC/SNLCS, 46p. 1982.

MARKERT, Bernd. Establishing of Reference Plant for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting. **Water, Air, & Soil Pollution**, [s.l.], v. 64, n. 3-4, p.533-538, set. 1992. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00483363>

NAVARRETE, Ian A. et al. Heavy metal concentrations in soils and vegetation in urban areas of Quezon City, Philippines. **Environmental Monitoring And Assessment**, [s.l.], v. 189, n. 4, p.1-15, 7 mar. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-017-5849-y>.

NEMATİ, Keivan et al. Speciation of heavy metals by modified BCR sequential extraction procedure in different depths of sediments from Sungai Buloh, Selangor, Malaysia. **Journal Of Hazardous Materials**, [s.l.], p.402-410, maio 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.05.039>.

OLIVEIRA, Natália Trajano de et al. Ácido cianídrico em tecidos de mandioca em função da idade da planta e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 47, n. 10, p.1436-1442, out. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2012001000004>. PUEYO, M. et al. Use of the modified BCR three-step sequential extraction procedure for the study of trace element dynamics in contaminated soils. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 152, n. 2, p.330-341, mar. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.020>.

ROYCHOWDHURY, A.; DATTA, R.; SARKAR, D. Heavy Metal Pollution and Remediation. **Green Chemistry**, [s.l.], p.359-373, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-809270-5.00015-7>.

SANTOS, Bruna Rosa da Silva et al. Evaluation of the nutritional composition in effect of processing cassava leaves (*Manihot esculenta*) using multivariate analysis techniques. **Microchemical Journal**, [s.l.], v. 152, p.1-29, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2019.104271>. SARWAR, Nadeem et al. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. **Chemosphere**, [s.l.], v. 171, p.710-721, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116>.

TÓTH, G. et al. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. **Environment International**, [s.l.], v. 88, p.299-309, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.017>.

WUANA, R. A.; OKIEIMEN, F. E. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. **Isrn Ecology**, [s.l.], v. 2011, p.1-20, 2011. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.5402/2011/402647>.