



SOLOS CONTAMINADOS COM CHUMBO E SEUS EFEITOS EM PLANTAS DE FEIJÃO

Rayner Hugo Cassa Louzada dos Reis – rayner15@gmail.com
Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo
Campus da UFLA
37200-000 – Lavras – Minas Gerais

Rômulo Cesar Soares Alexandrino – romuloalexandrino@yahoo.com.br
Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM
Rodovia Prefeito Américo Gianetti, Cidade Administrativa do Estado de Minas Gerais, 1º andar
31630-900 – Belo Horizonte – Minas Gerais

Francielle Roberta Dias de Lima – frandislim@gmail.com
Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo
Campus da UFLA
37200-000 – Lavras – Minas Gerais

Adélia Aziz Alexandre Pozza – adeliapozza@gmail.com
Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo
Campus da UFLA
37200-000 – Lavras – Minas Gerais

João José Granate de Sá e Melo Marques – jmarques@dcs.ufla.br
Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo
Campus da UFLA
37200-000 – Lavras – Minas Gerais

Resumo: Os solos brasileiros podem ser contaminados com elementos químicos potencialmente prejudiciais à saúde humana e animal. Estes são conhecidos como elementos-traço, por apresentarem baixas concentrações no ambiente. Para o entendimento acerca do comportamento de plantas cultivadas em solos contendo estes elementos, são realizados testes de fitotoxicidade com culturas agrícolas de interesse da região. Com isso, o objetivo deste estudo foi analisar os efeitos do Pb em plantas de feijão (*Phaseolus aureus* L.) cultivadas em duas classes de solo através de testes de fitotoxicidade e análises estatísticas que resultaram em valores de EC₅₀. No experimento as classes de solo escolhidas foram: Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) e em Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd). Foram analisadas a produção de massa seca da parte aérea e da raiz e altura das plantas. O LVAd apresentou maior sensibilidade ao metal pesado que o CXbd quando analisados os valores de EC₅₀.

Palavras-chave: contaminação, elementos-traço, EC₅₀, qualidade do solo.

LEAD CONTAMINATED SOILS AND THEIR EFFECTS ON BEANS PLANTS



Abstract: *Brazilian soils may be eventually be found contaminated with chemical elements that can cause injuries to human and animal health. These elements are known as trace elements because they are present in low concentrations in the environment. To understand the behavior of plants growth in soils containing these elements, phytotoxicity tests are made with crops of economical interest. The objective of this study was to analyze the effects of Pb on bean plants (*Phaseolus aureus* L.), that were grown in two soil classes, using phytotoxicity tests and statistical analysis resulting in EC_{50} values. In the experiment, the soil classes were: dystrophic Red-Yellow Latosol (LVAd) and dystrophic Tb Haplic Cambisol (CXbd). The shoot and root dry matter production and plant height were analyzed. The LVAd showed greater sensitivity to heavy metal in relation to CXbd when analyzed EC_{50} values.*

Keywords: Contamination, trace element, EC_{50} , soil quality.

1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural de extrema importância e desenvolve um papel muito importante no controle do ciclo hidrológico, ciclo do carbono, ciclagem de nutrientes, entre outros. Contudo, o solo está sujeito a diversos impactos e sua recuperação ocorre de forma lenta, se considerarmos o tempo em escala geológica (CALIJURI & CUNHA, 2013).

Em algumas situações, os efeitos dos impactos ambientais sobre o solo são impossíveis de serem revertidos e a legislação ambiental tardou a perceber o tamanho do impacto que estava sendo causado a estes solos, o que resultou em um acúmulo de áreas degradadas com problemas de contaminação. Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) em 2002 foram identificadas 255 áreas contaminadas, já em 2010 esse número aumentou para 3.675 áreas, o que demonstra que o impacto sobre o solo é uma realidade concreta (CALIJURI & CUNHA, 2013). Em Minas Gerais de 2007 a 2015 o número de reconhecimento de áreas contaminadas cresceu de 56 para 617 (FEAM 2015).

A Cetesb define que uma área é contaminada, quando comprovadamente essa apresenta poluição ou contaminação causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural (Cetesb, 2010). O Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) classifica uma área contaminada aquela que por ações antrópicas e verificadas através de relatórios científicos, tem suas características alteradas, principalmente devido ao aumento da concentração de substâncias químicas danosas ao meio ambiente, solo, ser humano, água, entre outros (MINAS GERAIS, 2008). Contaminação do solo é definida como a inserção de elementos químicos, substâncias tóxicas, patógenos em elevadas concentrações no ambiente, de maneira a causar danos ao ser humano ou a outros organismos (MINAS GERAIS, 2008).

A contaminação do solo contribui para o aumento da quantidade de metais pesados no solo. A concentração natural na qual esses metais são encontrados no solo depende principalmente do material de origem sobre o qual aquele solo foi formado. Algumas atividades humanas fazem com que ocorra aumento dos teores de metais pesados nos solos agrícolas como, por exemplo, a deposição atmosférica, aplicação de defensivos agrícolas, fertilizantes e corretivos, irrigação com água contaminada, uso de fungicidas, herbicidas e inseticidas, dentre outras (MELO & ALLEONI, 2009).

Os produtos citados acima contêm metais pesados em sua composição, dentre estes o Pb. Raramente o Pb é encontrado na natureza em seu estado elementar, estando em geral, associado a outros elementos. Pode ser encontrados naturalmente em rochas ígneas e sedimentares, com elevadas concentrações variando entre 3 a 320 mg kg⁻¹ (Guilherme et. al., 2005). A concentração de Pb na crosta terrestre é de aproximadamente 15-20 mg kg⁻¹, ocupando a segunda posição na lista de substâncias prioritárias da *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, considerando a frequência, toxicidade e potencial de exposição humana (ATSDR, 2015). Em 2014, a produção global de minério de Pb foi de 5,46 Mt (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015). A exposição ao Pb pode causar efeitos adversos sobre várias partes do corpo, uma vez que ele se acumula no organismo humano. As partes mais afetadas são o cérebro e todo o sistema nervoso, rins, sangue e o sistema

reprodutor de ambos os sexos. Mesmos níveis de Pb relativamente baixos podem afetar o desenvolvimento do feto e de crianças jovens, prejudicando o seu desenvolvimento mental e causando uma diminuição pequena, mas mensurável, no QI (LI & THORNTON 2001).

O Pb não é essencial ou benéfico às plantas uma vez que não participa de processos metabólicos vitais destas (QUADRO, 2008). Ele pode perturbar o balanço hídrico e a absorção de macro e micronutrientes, o que pode causar desequilíbrio de nutrientes e também alterar as atividades enzimáticas da planta. Além disso, algumas plantas podem apresentar concentrações elevadas desse metal em suas partes comestíveis. Assim, culturas cultivadas em solos poluídos ou contaminados com este ou outros metais pesados apresentam risco à saúde humana e animal (KABATA-PENDIAS, 2001).

De acordo com a Resolução 420/2009 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, existem três divisões em escala crescente de rigor para o estabelecimento dos padrões: os valores de referência de qualidade (VRQ), de prevenção (VP) e de investigação (VI). O VP indica a concentração que, quando excedida, gera alterações na qualidade do solo, capazes de interferir em sua capacidade de suprir suas funções primárias. Segundo Conama (2009) e Cetesb (2005), o VP para chumbo é de 72 mg kg⁻¹.

Para estabelecimento dos VPs, são realizados experimentos com plantas e demais organismos dos solos, seguindo o protocolo da ISO 11.269-2, que define os critérios para execução. Os ensaios duram entre 14 e 21 dias, utilizando no mínimo duas espécies e cinco concentrações diferentes para obter análises de regressão. São avaliadas variáveis como emergência, sintomas de fitotoxicidade e biomassa. A análise de regressão de cada variável resulta nos índices EC₅₀ (concentração que causa redução de 50% na variável avaliada em relação ao controle) (COMPANHIA AMBIENTAL DE SÃO PAULO, 2005).

O objetivo deste trabalho consiste em determinar o valor de EC₅₀ para Pb e sua influência nas plantas de feijão.

2. METODOLOGIA

2.1 Tratamento dos solos

Os solos selecionados para este experimento foram o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVAd) e o Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd), por serem classes de solos representativas no Estado de Minas Gerais (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2011).

Para fornecer às plantas condições para que estas se desenvolvessem, foi elevada a saturação de base a 50% e o pH do solo foi estabilizado em torno de 6. De acordo com Alvarez e Ribeiro (1999), antes do plantio foram adicionados aos solos CaCO₃ e MgCO₃ na relação 3:1 e esta mistura permaneceu incubada por 20 dias. Após 20 dias, foi realizada a adubação, respeitando o nível crítico requerido para solos de Minas Gerais (CFSEMG, 1999) e os níveis mínimos requeridos para adubação em vasos (MALAVOLTA, 1980).

Foram fornecidos aos solos, via solução nutritiva, 150 mg kg⁻¹ dos nutrientes K e P respectivamente e 200 mg kg⁻¹ de Zn, Cu, B e Mn via KCl, NH₄H₂PO₄, ZnSO₄, CuSO₄, HB e MnSO₄. Após a germinação de 50% das plantas, foram adicionadas doses parceladas (7 e 14 dias) de N e K. Foi aplicado 300 mg kg⁻¹ de N sob a forma de ureia.

As concentrações de Pb foram determinadas pelo método USEPA 3051A (UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1999), com digestão em forno micro-ondas, determinação em espectrofotômetro de absorção atômica em chama de ar acetileno.

2.2. Seleção da espécie utilizada

O ensaio foi realizado utilizando a dicotiledônea Feijão *Phaseolus aureus* cultivar Carioquinha. A seleção das espécies utilizadas foi orientada pela lista de espécies sensíveis da ISO

11.269-2 (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, 2013) e OECD (ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2006).

2.3. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento foi inteiramente ao acaso em esquema fatorial $8 \times 2 \times 4$, ou seja, oito concentrações do metal foram aplicadas às duas classes de solo, com quatro repetições para cada tratamento. As oito concentrações de Pb aplicadas foram 0, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 mg kg^{-1} de solo. A fonte de Pb utilizada foi o $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$. Após 24 horas da incorporação do metal em forma de solução nos recipientes, é que se fez a semeadura. A irrigação foi feita com água destilada e controlada pelo processo de capilaridade por uma corda de seda trançada inserida no fundo dos vasos. A capacidade de retenção de água foi determinada de acordo com a ISO 11269-2 (2012).

O experimento foi realizado em câmara de crescimento. Cada vaso conteve 750 dm^3 de solo e nele foram semeadas 10 sementes. Após a emergência de pelo menos 50% das plântulas, o número de indivíduos foi reduzido para cinco. O experimento teve duração de 21 dias após a emergência de 50% do controle, conforme as recomendações da OECD-208. As variáveis avaliadas foram: massa seca da parte aérea e altura das plantas, além de sintomas visuais nas plantas. A altura (APA) foi medida com régua e a massa seca da parte aérea (MSPA) foi obtida após as plantas serem secas em estufa a 75°C durante 72 horas, momento no qual obteve-se peso constante.

Os valores de EC₅₀ foram calculados utilizando o programa Statistica Stat Scott 7.0 através dos modelos log exponencial, modelo Gompertz, Hormesis e Logistic, sendo válido o modelo em que o valor de R² foi melhor e significância de 95%.

3. RESULTADOS

Na Tabela 1 e 2, são apresentadas as variáveis avaliadas, os valores de EC₅₀ e os modelos matemáticos que apresentaram melhor resultado para os solos estudados, com isso foi possível observar que as variáveis não tiveram comportamento estatístico linear.

Tabela 1 – Valores de EC₅₀ para LVAd.

Espécie	Parâmetro	EC ₅₀ (mg kg^{-1})	Modelo Estatístico
Feijão	APA	2197	Gompertz
	MSPA	357,4	Logistic

Tabela 2 – Valores de EC₅₀ para CXbd.

Espécie	Parâmetro	EC ₅₀ (mg kg^{-1})	Modelo Estatístico
Feijão	APA	3192,9	Exponencial
	MSPA	511	Logistic

Pelos valores de EC₅₀ calculados e mostrados na Tabela 1 e na Tabela 2, é notável a maior sensibilidade das plantas de feijão no LVAd se comparada ao CXbd. Essa sensibilidade é demonstrada nos altos valores de EC₅₀. Os menores valores de EC₅₀ encontrados no CXbd podem ser justificados pelos fatores que interferem na disponibilidade do Pb no solo.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 3, o LVAd é mais arenoso e possui menor teor de matéria orgânica se comparado ao CXbd o que justifica os baixos valores de EC₅₀ encontrados para este.

Tabela 3 – Textura e teor de matéria orgânica dos solos retirados na camada de 0 a 20 cm de profundidade.

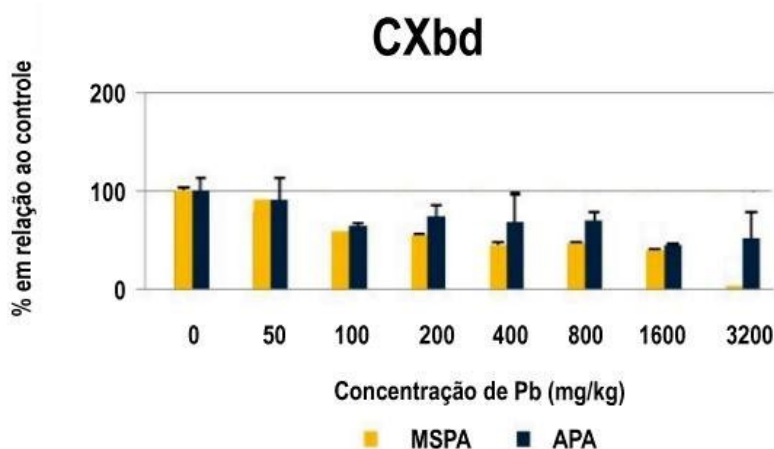
Variáveis físicas do solo	LVAd	CXbd
Argila (%)	23	46
Areia (%)	74	35
Silte (%)	3	19
Matéria Orgânica - (dag kg ⁻¹)	1,6	2,9

Solos com maior teor de matéria orgânica possuem baixa disponibilidade de Pb e altos valores de EC₅₀. Neste estudo, o LVAd mostrou menor teor de matéria orgânica e maior porcentagem de areia em sua composição se comparado ao CXbd. A maior superfície específica contribui para maior fixação e baixa disponibilidade do Pb no solo, logo espera-se encontrar menores valores de EC₅₀ para o LVAd.

Segundo Beutler et al. (2002), solos que apresentam maior capacidade de retenção de água têm elevado potencial para crescimento radicular, reações químicas, movimento e absorção de nutrientes. A retenção de água do CXbd deve-se ao maior teor de argila neste solo.

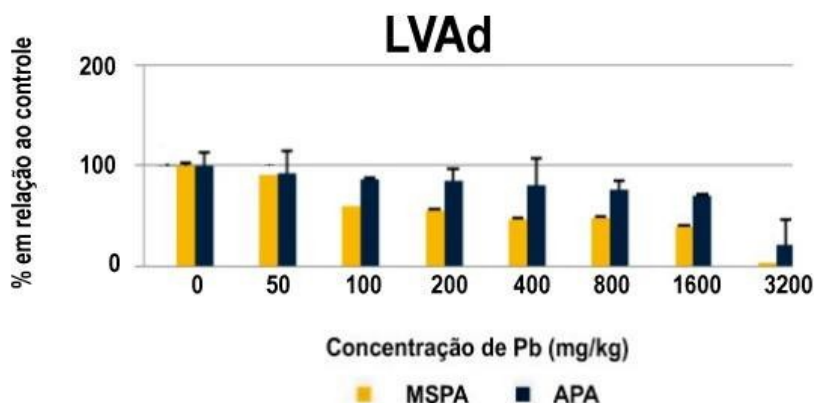
No Gráfico 1 é possível verificar que a partir da concentração 100 mg kg⁻¹ houve redução na altura e massa seca da parte aérea das plantas de feijão. Alloway (1990) afirma que o valor crítico de fitotoxidez é de 100 a 400 mg kg⁻¹.

Gráfico 1 – Efeito na MSPA e APA de plantas de feijão submetidas a diferentes doses de Pb em CXbd.



No Gráfico 2, pode-se observar que a partir da concentração 50 mg kg⁻¹ houve uma redução da massa seca da parte aérea. Para a altura da parte aérea, o efeito dos tratamentos foi significativo só na concentração de 3200 mg kg⁻¹.

Gráfico 2 – Efeito na MSPA e APA de plantas de feijão submetidas a diferentes doses de Pb em LVAd.



A emergência das plantas nos vasos que não continham Pb foi de 80% para CXbd e 70% para LVAd, atendendo a exigência de que a emergência deveria ser suficiente a ponto de fornecer cinco plantas saudáveis por vaso (ISSO, 2012). Na concentração 3200 mg kg⁻¹ aplicada ao LVAd, algumas plantas de feijão sobreviveram. Na mesma concentração no CXbd, proporcionou a sobrevivência de 30 % das plantas, mas o crescimento destas foi afetado porque apresentaram crescimento retorcido.

Ao utilizar o EC₅₀, estima-se a concentração na qual 50 % da variável sofre redução em relação ao controle. No Gráfico 1, foi possível observar que em todas as concentrações o Pb inibiu o crescimento da planta afetando a altura da planta e massa seca da parte aérea.

4. CONCLUSÃO

A massa seca da parte aérea, comprimento de raiz e altura de plantas apresentaram sensibilidade às concentrações de Pb utilizadas. O LVAd se mostrou mais sensível que o CXbd refletindo negativamente nas plantas de feijão. As plantas que sobreviveram não foram suficientes para calcular o EC₅₀ nesta primeira classe de solo.

Agradecimentos

FAPEMIG e FEAM pelo apoio financeiro, Departamento de Ciência do Solo (DCS) e de Agricultura (DAG) da Universidade Federal de Lavras onde foram realizadas as análises em estudo.

5. REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **The Priority List of Hazardous Substances**. 2015. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/spl/>>. Acesso em 13 de Jun. 2016.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 2nd ed. Colchester: University of Essex, 1990. 363 p.

BEUTLER, A. N. et al. Retenção de água em dois tipos de Latossolo sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.26, p.829-834, maio 2002.



CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de Diretoria de nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e de outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, v.1115, n. 227, p. 22-23, 2005. Seção 1.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de Diretoria de nº 397/2010/P, de 20 de dezembro de 2010. Dispõe sobre os procedimentos para licenciamento de fábricas de baterias de chumbo ácido elaborado na câmara ambiental do setor de processamento de chumbo. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, v.120, n. 243, p. 47, 2010. Seção 1. Disponível em:
<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/institucional/do/2010/DD_387_DO.pdf>. Acesso em: 10 de Jun. 2016

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 420**, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias decorrência de atividades antrópicas. Brasília, 2009. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>>. Acesso em: 07 de Jun. 2016

EMERSON, W. W.; MCGARRY, D. Organic carbon and soil porosity. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.41, n.1, p. 107-118, Jan. 2003.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/950-feam-publica-mapa-dos-solos-do-estado>>. Acesso em: 14 Jun. 2016.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Inventário de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2015. Disponível em:
<<http://www.feam.br/>>. Acesso em: 07 de Jun. 2016.

GUILHERME, L. R. G. et al. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E.J. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.4. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.345-390, 2005.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 11.269-2**: Determination of the effects of pollutants on soil flora, part 2: effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants. Geneve: ISO, 2013. p. 28.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. 3rded. Boca Raton: CRC, 2001. 413 p.

LI, X.; THORNTON, I. Chemical partitioning of trace and major elements in soils contaminated by mining and smelting activities. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 16, n. 15, p. 1693-1706, Dec. 2001.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 215 p.



MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. **Química e Mineralogia do Solo: Parte II: Aplicações**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa: Minas Gerais, 2009. 695 p.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa COPAM nº 116, de 27 de junho de 2008**. Dispõe sobre a declaração de informações relativas à identificação de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas por substâncias químicas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008. Disponível em:
<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7974>>. Acesso em: 07 Jun. 2016.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Guidelines for testing of chemicals nº 208: terrestrial plant test: seedling emergence and seedling growth test**. Paris, 2006. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/11/31/33653757.pdf>>. Acesso em: 07 Jun. 2016.

QUADRO, M. S. **Alterações no solo causados por aplicações sucessivas de resíduos de curtume e carbonífero e a degradabilidade dos resíduos de curtume**. 2008. 197 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Microwave assisted acid digestion of sediments sludges, soils, and oils**: EPA SW 846 3051a. Washington, 1999. 24 p.