

METAIS PESADOS EM SOLOS DA BAHIA

Teores naturais no distrito de
Santiago do Iguape, Cachoeira-BA

André Santos de Oliveira | Francisco de Souza Fadigas
Thomas Vincent Gloaguen | Júlio César Azevedo Nóbrega



Pantanal Editora

2020

André Santos de Oliveira
Francisco de Souza Fadigas
Thomas Vincent Gloaguen
Júlio César Azevedo Nóbrega

METAIS PESADOS EM SOLOS DA BAHIA
TEORES NATURAIS NO DISTRITO DE
SANTIAGO DO IGUAPE, CACHOEIRA-BA



Pantanal Editora

2020

Copyright© Pantanal Editora
Copyright do Texto© 2020 Os Autores
Copyright da Edição© 2020 Pantanal Editora
Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo
Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera
Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora
Edição de Arte: A editora
Revisão: Os autor(es), organizador(es) e a editora

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – OAB/PB
- Profa. Msc. Adriana Flávia Neu – Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
- Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – IF SUDESTE MG
- Profa. Msc. Aris Verdecia Peña – Facultad de Medicina (Cuba)
- Profa. Arisleidis Chapman Verdecia – ISCM (Cuba)
- Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo - UEA
- Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu – UNEMAT
- Prof. Dr. Carlos Nick – UFV
- Prof. Dr. Claudio Silveira Maia – AJES
- Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – UFGD
- Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva – UEMS
- Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos – IFPA
- Prof. Msc. David Chacon Alvarez – UNICENTRO
- Prof. Dr. Denis Silva Nogueira – IFMT
- Profa. Dra. Denise Silva Nogueira – UFMG
- Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão – URCA
- Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves – ISEPAM-FAETEC
- Prof. Dr. Fábio Steiner – UEMS
- Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez (Colômbia)
- Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles – UNAM (Peru)
- Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira – IFRR
- Prof. Msc. Javier Revilla Armesto – UCG (México)
- Prof. Msc. João Camilo Sevilla – Mun. Rio de Janeiro
- Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales – UNMSM (Peru)
- Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski – UFMT
- Prof. Msc. Lucas R. Oliveira – Mun. de Chap. do Sul
- Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez – ITSON (México)
- Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan – Consultório em Santa Maria
- Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior – UEG
- Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla – UNAM (Peru)
- Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira – SEDUC/PA
- Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira – IFPA
- Profa. Msc. Queila Pahim da Silva – IFB
- Prof. Dr. Rafael Chapman Auty – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Raphael Reis da Silva – UFPI
- Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo – UEMA
- Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca – UFPI

- Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira – FURG
- Profa. Dra. Yilan Fung Boix – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – UFT

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
M587	Metais pesados em solos da Bahia [recurso eletrônico] : teores naturais no distrito de Santiago do Iguape, Cachoeira-BA / Organizadores André Santos de Oliveira... [et al.]. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2020. 50p. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-991208-4-8 DOI https://doi.org/10.46420/9786599120848 1. Solos. 2. Metais pesados – Aspectos ambientais – Cachoeira (BA). I. Oliveira, André Santos de. II. Fadigas, Francisco de Souza. III. Gloaguen, Thomas Vincent. IV. Nóbrega, Júlio César Azevedo CDD 363.738
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo dos livros e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do(s) autor (es). O download da obra é permitido e o compartilhamento desde que sejam citadas as referências dos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000. Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

APRESENTAÇÃO

Este texto foi inicialmente apresentado como uma Dissertação no Curso de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, sob orientação do Professor Dr. Francisco de Souza Fadigas e Coorientação do Professor Dr. Thomas Vincent Gloaguen.

O trabalho de pesquisa para determinar as concentrações naturais de metais pesados em solos, teve como centralidade a sustentabilidade e proteção dos recursos naturais. Neste sentido, este trabalho está dividido em dois capítulos, sendo o objetivo do primeiro determinar as concentrações naturais de metais pesados para solos do distrito de Santiago do Iguape e o segundo capítulo, a relação entre atributos do solo e os teores pseudo-totais de metais em Cachoeira-BA. As extrações dos metais foram realizadas com base nos métodos EPA 3050b e 3051a, as leituras em ICP-OES e as análises granulométricas e de fertilidade através dos métodos adotados pela Embrapa. As análises estatísticas foram realizadas com base em medianas, valor máximo e mínimo das concentrações de metais, correlações de Spearman, análise de correlações canônicas (ACC), análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamentos (AA). No capítulo 1, conclui-se que os valores das concentrações de metais pesados, obtidos pelo agrupamento de amostras similares, podem ser considerados como o teor que o solo teria naturalmente e poderiam ser comparados aos valores obtidos pela análise de uma nova amostra. No capítulo 2, conclui-se que o conhecimento dos teores de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em solos, a partir dos teores de areia, silte, Corg e CTCefetiva, poderá ser bastante útil em estudos, levantamentos e monitoramento de áreas de configurações similares aos deste estudo e sob condições de intensivo uso antrópico.

DEDICATÓRIA

À,

Romilda Ramos do Santos, por acreditar que a educação transforma a vida de um ser humano e me passar isso a “ferro e fogo”. Obrigado Mãe.

Karina Maiane Nascimento de Oliveira Santos,

Levy de Oliveira Santos,

Olga de Oliveira Santos,

Pelo apoio e sacrifícios. Com vocês na minha vida, os dias tornam-se agradáveis para serem vividos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida.

À minha família, pela motivação e carinho.

Ao orientador professor Francisco de Souza Fadigas, pela paciência e importantes observações na construção desta etapa do aprendizado.

Ao coorientador professor Thomas Vincent Gloaguen, pela ajuda na determinação dos teores de Fe e Al, sem a qual não haveria terminado as análises restantes.

À Maria do laboratório de Metais Traços, pela ajuda e atenção.

Aos colegas da Turma 2015.1 pelos momentos marcantes no processo de troca e socialização do conhecimento, mesmo sendo curto e corrido.

Aos Doutores Júlio, Thomas, Euzelina e Luciano do Programa do Mestrado em Solos e Qualidades de Ecossistemas, que de forma sábia souberam passar o conhecimento nas disciplinas ministradas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado sem a qual não haveria condições para existência dessa obra.

Ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da UFRB, pelas extrações de metais realizadas no laboratório de solos e plantas.

Ao programa de Pós-graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da UFRB, pelas análises granulométricas realizadas no laboratório de física do solo.

Ao Projeto valores de referência para metais nos solos do Semi-Árido, região Sisaleira, Bahia, pela viabilização da leitura dos metais (Fe) Ferro e (Al) Alumínio no IAC.

Ao Instituto de Química da UFBA, pela condução dos procedimentos analíticos e leitura dos metais Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn), no laboratório da instituição.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	5
DEDICATÓRIA	6
AGRADECIMENTOS	7
PRÓLOGO	9
INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS.....	11
CAPÍTULO 1	12
CONCENTRAÇÕES NATURAIS DE METAIS PESADOS PARA SOLOS DO DISTRITO DE SANTIAGO DO IGUAPE, CACHOEIRA-BA	13
INTRODUÇÃO.....	13
MATERIAL E MÉTODOS.....	14
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
DISTRIBUIÇÃO DOS METAIS PESADOS E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	19
CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS EM GRUPOS	23
TEORES DE METAIS PESADOS	25
CONCLUSÕES.....	27
REFERÊNCIAS.....	27
CAPÍTULO 2	30
RELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS DO SOLO E OS TEORES PSEUDO-TOTAIS DE METAIS EM CACHOEIRA-BA.....	31
INTRODUÇÃO.....	31
MATERIAL E MÉTODOS.....	32
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
ESTUDO DE CORRELAÇÕES.....	34
ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP).....	38
CONCLUSÕES.....	40

REFERÊNCIAS.....	40
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
ANEXO.....	44
ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES.....	45
ÍNDICE DE TABELAS.....	46
ÍNDICE REMISSIVO.....	47
SOBRE OS AUTORES.....	49

PRÓLOGO

O trabalho de pesquisa para determinar as concentrações naturais de metais pesados em solos, teve como centralidade a sustentabilidade e proteção dos recursos naturais. Neste sentido, este trabalho está dividido em dois capítulos, sendo o objetivo do primeiro determinar as concentrações naturais de metais pesados para solos do distrito de Santiago do Iguape e o segundo capítulo, a relação entre atributos do solo e os teores pseudo-totais de metais em Cachoeira-BA. As extrações dos metais foram realizadas com base nos métodos EPA 3050b e 3051a, as leituras em ICP-OES e as análises granulométricas e de fertilidade através dos métodos adotados pela Embrapa. As análises estatísticas foram realizadas com base em medianas, valor máximo e mínimo das concentrações de metais, correlações de Spearman, análise de correlações canônicas (ACC), análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamentos (AA). No capítulo 1, conclui-se que os valores das concentrações de metais pesados, obtidos pelo agrupamento de amostras similares, podem ser considerados como o teor que o solo teria naturalmente e poderiam ser comparados aos valores obtidos pela análise de uma nova amostra. No capítulo 2, conclui-se que o conhecimento dos teores de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em solos, a partir dos teores de areia, silte, Corg e CTCefetiva, poderá ser bastante útil em estudos, levantamentos e monitoramento de áreas de configurações similares aos deste estudo e sob condições de intensivo uso antrópico.

INTRODUÇÃO GERAL

O presente estudo foi realizado em solos cobertos com vegetação natural. A abrangência da área foi de aproximadamente 600 ha localizada próxima à Reserva Extrativista Marinha de Santiago do Iguape (S 12°41'05" e W 38°51'35"), em Cachoeira-BA. A pluviosidade média anual é de 1268 mm e a temperatura média é de 24,3 °C. A classificação do clima é Af (clima tropical úmido) (Koppen; Geiger, 1928). As coletas foram realizadas em áreas com pouca intervenção humana e estão sendo utilizadas como referência em estudos de contaminação de solos para as áreas próximas as deste estudo.

O Recôncavo Baiano está sendo cenário de diversos projetos de desenvolvimento implantados na Bahia. Um destes é a construção do novo Pólo Naval da Bahia, que será instalado nos municípios de Maragogipe e Saubara e outro é a expansão do Pólo Industrial do Recôncavo, onde funcionarão diversas indústrias de beneficiamento de diversos tipos de produtos, inclusive de petróleo. Em decorrência dessas atividades, diversos produtos e subprodutos contaminantes serão trazidos ou produzidos nesta região, e é possível que no futuro ocorram impactos ambientais, incluindo o aumento nos teores de metais potencialmente poluentes do solo, tais como Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn).

Os teores de metais pesados em condições naturais para metais pesados em solos, em âmbito mundial, são bastante heterogêneos. Isto porque há diferença nos materiais de origem e nas características dos diferentes atributos físicos e químicos que formam os solos. Além destes, fatores como o clima e relevo influenciam diretamente na diferenciação dos constituintes do solo (Embrapa, 2013).

Ao longo dos anos, diversos países buscam estabelecer os teores de metais pesados nas diferentes áreas dos territórios nacionais. Segundo Paye et al. (2010), a Holanda foi pioneira em determinar estes valores, seguida de outros países como China, Polônia, Estados Unidos e Inglaterra. Hoje, com o discurso da preocupação ambiental, a ONU pressiona para que todos os países avancem no sentido de estabelecer VRQ para os diversos solos existentes ao longo do globo terrestre.

No Brasil, diversos estudos estão sendo desenvolvidos no intuito de se determinar VRQs para todos os Estados da Federação. Fadigas et al. (2002), determinaram teores naturais para algumas classes de solos no Brasil. Alguns trabalhos já concluídos trazem VRQs específicos para alguns estados: Paye et al. (2010) para o Espírito Santo, Santos et al. (2012) para Mato Grosso e Rondônia, Biondi et al. (2011) para Pernambuco, Preston et al (2014) para o Rio Grande do Norte, Cetesb (2014) para São Paulo, dentre outros.

Neste sentido, pretende-se neste trabalho no primeiro capítulo discutir as concentrações naturais de metais pesados para solos do distrito de Santiago do Iguape e no segundo capítulo, a relação entre atributos do solo e os teores pseudo-totais de metais em Cachoeira-BA.

REFERÊNCIAS

- Biondi CM, Nascimento CWA, Fabricio Neta AB, Ribeiro MR (2011). Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni E Co em solos de referência de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(3): 1057-1066.
- Cetesb (2014). *Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental*. Decisão da Diretoria n. 045 de 2014 que dispõe sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas do Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos valores orientadores de 2005. São Paulo, 2014.
- Embrapa (2013). Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed., Brasília. 353 p.
- Fadigas FS, Amaral-Sobrinho NMBrasil, Mazur N, Anjos LHC, Freixo AA (2002). Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. *Bragantia*, 61(2): 151-159.
- Köppen W, Geiger R (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: VerlagJustus Perthes.
- Paye HS, Mello JWV, Abrahão WAP, Fernandes Filho EI, Dias LCP, Castro MLO, Melo SB, França MM (2010). Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(6): 2041-2051.
- Preston W, Nascimento CWA, Biondi CM, Souza Junior VS, Silva WR, Ferreira HA (2014). Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(3): 1028-1037.
- Santos SN, Alleoni LRF (2012). Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 185(7): 5737-5748.

CAPÍTULO 1

O objetivo deste trabalho foi determinar os teores naturais para os metais Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) para solos do Distrito de Santiago do Iguape, no município de Cachoeira, Bahia, Brasil, tendo como área de abrangência do estudo a Reserva Extrativista Marinha de Santiago do Iguape, área com pouca atividade antrópica. As amostras de solos foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm em seis áreas, sendo cinco pontos de coleta em cada área; em cada ponto foram retiradas três amostras distanciadas de 25 cm, totalizando 90 amostras. A extração e determinação dos teores dos metais foram realizadas com base nos métodos EPA 3051a e 3050b, as leituras feitas em ICP-OES e as análises granulométricas e de fertilidade pelos métodos adotados pela Embrapa. O tratamento estatístico dos dados foi realizado com base na análise de agrupamento (AA), sendo selecionadas variáveis preditoras e os teores de areia, silte, CTCefetiva e Corg. Para avaliar as variações nos teores de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn foram calculadas as medianas e os intervalos de valores mínimo e máximo das concentrações de metais pesados dentro de cada grupo formado. Verificou-se também que a análise de agrupamentos das amostras de solos permitiu obter uma aproximação dos teores naturais dos metais pesados para amostras com características semelhantes. Através da formação de grupos por semelhanças, com uso de alguns atributos físicos e químicos do solo para estudos com metais pesados, foi possível verificar que as relações com os atributos físicos e químicos dos solos são mais expressivas que as classificações pedológicas.

Concentrações naturais de metais pesados para solos do distrito de Santiago do Iguape, Cachoeira-BA

Introdução

O presente estudo foi realizado em solos cobertos com Mata Atlântica. A abrangência da área foi de aproximadamente 600 ha localizada próxima à Reserva Extrativista Marinha de Santiago do Iguape (S 12°41'05" e W 38°51'35"), em Cachoeira-BA. A pluviosidade média anual é de 1268 mm e a temperatura média é de 24,3 °C. A classificação do clima é Af (clima tropical úmido) (Koppen; Geiger, 1928). As coletas foram realizadas em áreas com pouca intervenção humana e estão sendo utilizadas como referência em estudos de contaminação de solos para as áreas próximas as deste estudo.

De modo geral, para ser considerado como metal pesado, o elemento deverá apresentar densidade maior que 6 g cm⁻³ (Hooda, 2010). Estudos apontam que, do grupo dos metais pesados, mais de 20 elementos já são largamente estudados pela sua participação no ciclo da vida, principalmente como micronutrientes essenciais às plantas e aos animais (Kabata-Pendias, 2011). No entanto, elevados teores de metais pesados no solo representam um risco potencial ao meio ambiente, com possibilidades de depreciar a saúde humana pela ingestão direta de alimentos cultivados em áreas contaminadas, contato com a pele, e pelas relações existentes nos diferentes níveis da cadeia alimentar (Lu et al., 2010; Khan et al., 2013).

Devido essa grande preocupação, ao longo dos anos diversos países buscaram estabelecer os teores de metais pesados nas diferentes áreas dos territórios nacionais. Segundo Paye et al. (2010), a Holanda foi pioneira na determinação destes valores, seguida de outros países como China, Polônia, Estados Unidos e Inglaterra.

No Brasil, vem sendo realizados diversos levantamentos nas diferentes unidades da federação, a fim de determinar os teores de metais pesados, porém, ainda não foi possível acumular dados suficientes para se estabelecer os valores de referência de qualidade do solo a nível nacional, devido à extensa área territorial brasileira e baixos investimentos nesse ramo de pesquisa (Preston et al., 2014). A importância de se estabelecer as concentrações naturais gira em torno da possibilidade de servir como suporte para definição de padrões de referência e balizar as ações e políticas sobre as contaminações ambientais (Fadigas et al., 2010).

É importante salientar que os metais pesados existem naturalmente nos solos, porém, nas últimas décadas, atividades antropogênicas têm elevado, substancialmente, a concentração de alguns destes elementos em diversos ecossistemas (Kabata-Pendias, 2011). Dentre essas atividades,

a agricultura com adoção cada vez mais intensiva de insumos agrícolas, utilizados como corretivos da fertilidade dos solos a fim de maximizar a produtividade das plantas, representam fonte potencial de contaminação de extensas faixas de solo, além das diversas fontes de água. Trabalhos desenvolvidos ao longo do tempo destacam alterações na presença de elementos como cádmio (Cd), cobre (Cu) e chumbo (Pb), no decorrer dos anos, em áreas em que antes existiam em baixas concentrações (Freitas et al, 2009; Lima; Santos, 2012).

Outra atividade de impacto são as indústrias, que geram centenas de toneladas de resíduos por ano. Estes materiais, às vezes, são reaproveitados, mas, na maioria dos casos, são destinados ao ambiente, resultando em contaminações de diversos recursos naturais, como os solos e também mananciais, lençóis freáticos e reservatórios de abastecimento humano de água.

Nesse contexto, o Recôncavo Baiano, local deste estudo, está sendo cenário de diversos projetos de desenvolvimento implantados na Bahia; um deles é a construção do novo Pólo Naval da Bahia, que será instalado nos municípios de Maragogipe e Saubara. Além deste, a aproximadamente treze quilômetros dessa área, está em expansão o Pólo Industrial do Recôncavo, onde funcionarão diversas indústrias de beneficiamento, de diversos tipos de produtos, inclusive de petróleo. Como decorrência dessas atividades, diversos produtos e subprodutos contaminantes serão trazidos e ou produzidos nesta região. É possível que nesse processo ocorram diversos impactos ambientais, incluindo o aumento nos teores dos principais metais presentes no solo, tais como Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn).

Neste foco, o objetivo deste trabalho foi determinar os teores naturais para os metais Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Co, Cr e Zn para solos do Distrito de Santiago do Iguape no município de Cachoeira, Bahia, Brasil, tendo como abrangência a área do entorno da baía do Iguape.

Material e Métodos

Os solos da área em estudo foram identificados como sendo formados a partir dos grupos geológicos Santo Amaro (áreas 1, 2 e 5) e Formação Barreiras (áreas 4, 6 e 7) (Figura 1). Em relação à classificação pedológica (Figura 2), na formação Santo Amaro predominam os Argissolos Vermelho–Amarelos (áreas 1, 2, 5 e 7) e na Formação Barreiras predominam os Neossolos Quartzarênicos (áreas 4 e 6), classificados pela Embrapa (2013). Na Tabela 1 apresenta-se um resumo das classificações geológicas e pedológicas dos solos de estudo bem como a identificação das áreas de coleta por município.

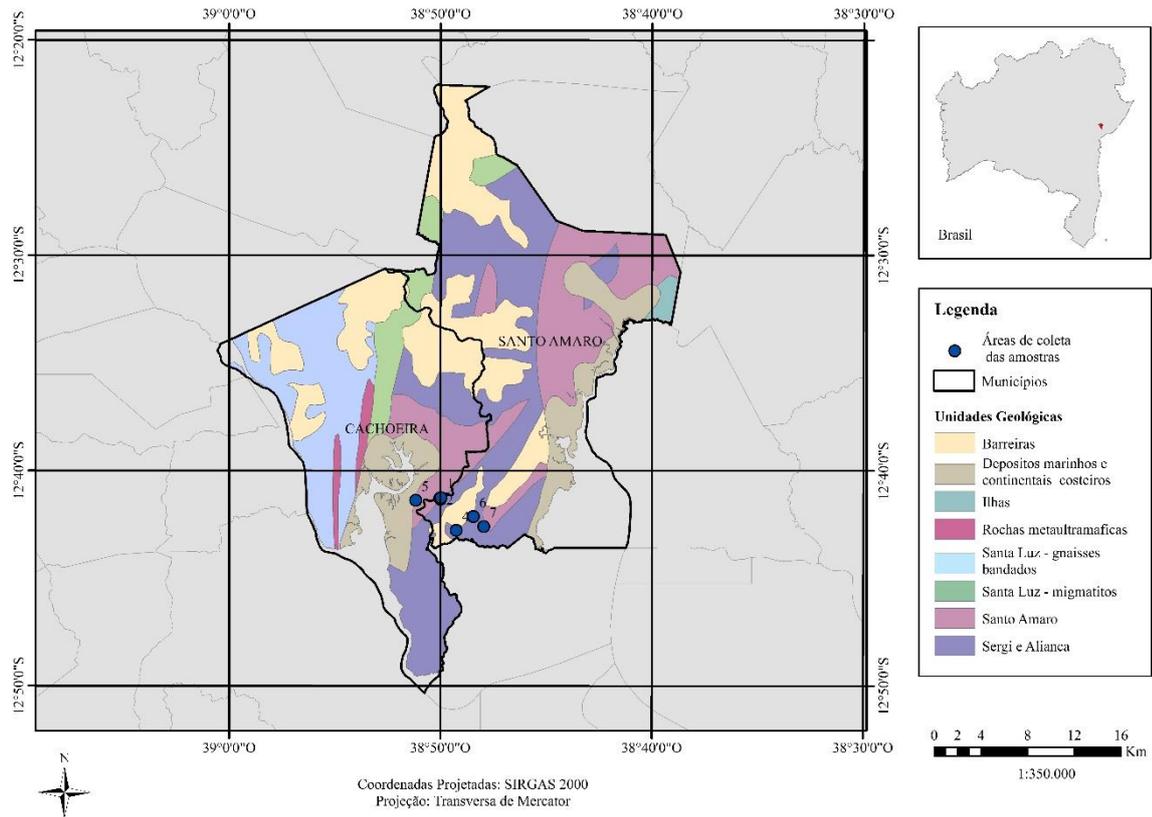


Figura 1. Classificação geológica da área de abrangência do estudo – Distrito de Santiago do Iguape, Cachoeira - BA. Fonte: Os autores.

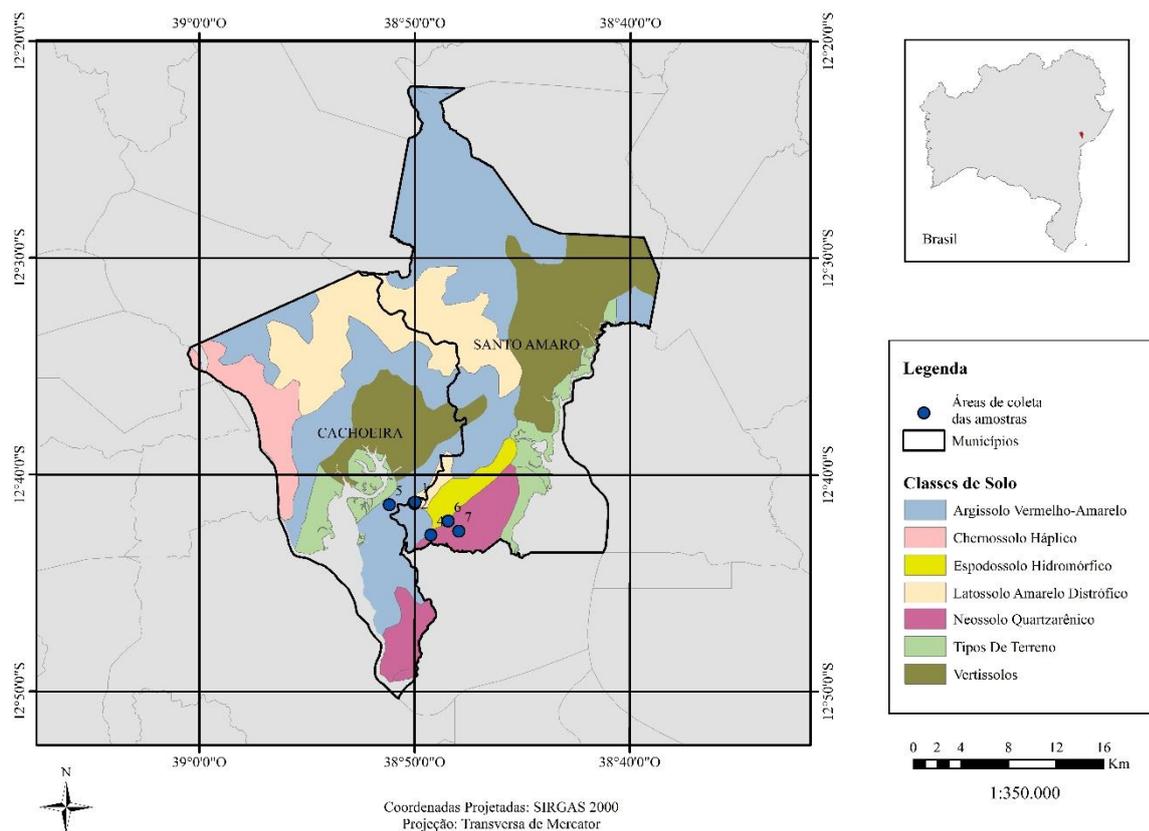


Figura 2. Classificação pedológica dos solos encontrados na área de abrangência do estudo – Distrito de Santiago do Iguape, Cachoeira - BA. Fonte: Os autores.

Tabela 1. Identificação das áreas de estudo, municípios de coleta, formação geológica e classificação dos solos até o 2º nível categórico. Fonte: Os autores.

Áreas de estudo	Município	Formação geológica	Classificação pedológica
1	Cachoeira	Santo Amaro	Argissolo Vermelho-Amarelo
2	Cachoeira	Santo Amaro	Argissolo Vermelho-Amarelo
4	Santo Amaro	Barreiras	Neossolo Quartzarênico
5	Cachoeira	Santo Amaro	Argissolo Vermelho-Amarelo
6	Santo Amaro	Barreiras	Neossolo Quartzarênico
7	Santo Amaro	Santo Amaro	Neossolo Quartzarênico

As amostras foram coletadas a uma profundidade de 0 a 20 cm, em seis áreas com mínima atividade antrópica, sob vegetação natural; cada área teve cinco pontos de coleta, sendo retiradas três amostras de cada ponto, distanciadas a 25 cm por ponto, totalizando 90 amostras (Figura 3).



Figura 3. Área sob vegetação natural, amostras sendo retiradas e ponto de coleta com três amostras retiradas, imagens respectivas. Fonte: Os autores.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno, previamente lavados com ácido nítrico a 5 % e água deionizada e conduzidas ao laboratório de solos da UFRB. O material foi submetido à secagem, à temperatura ambiente (25 a 30° C), e quarteadado, sendo duas partes separadas para análises químicas, uma parte para análises granulométricas e a outra estocada como contraprova (Figura 4).

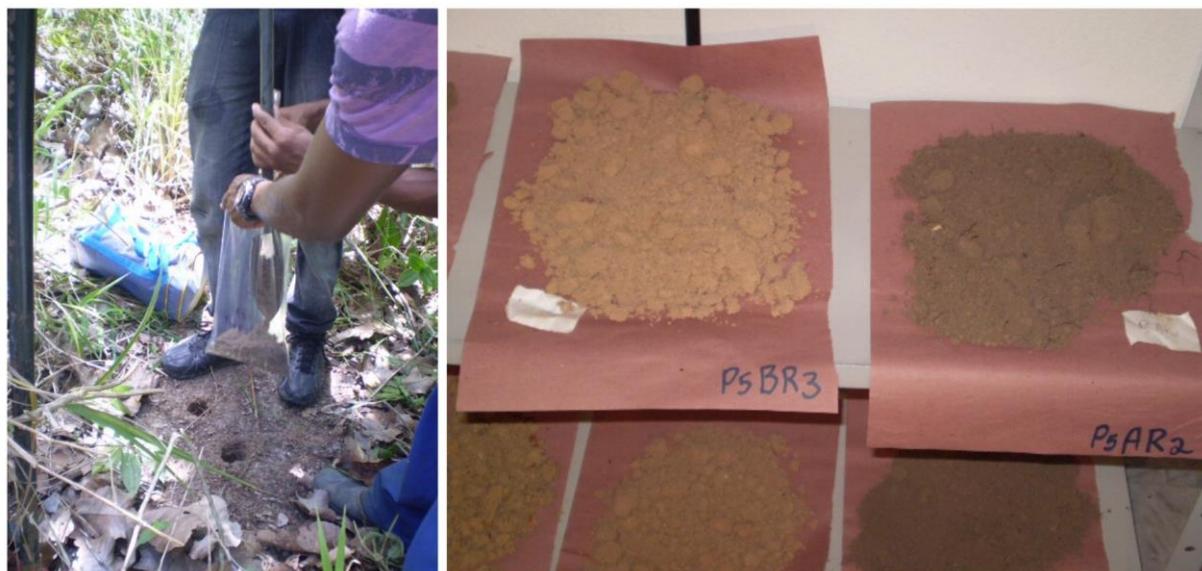


Figura 4. Amostras sendo acondicionadas em sacos de polietileno e posterior secagem em laboratório em temperatura ambiente, respectivamente. Fonte: Os autores.

Os procedimentos analíticos para extração foram realizados no laboratório de solos da UFRB (Figura 5) e as determinação das concentrações dos valores pseudo-totais de Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn), foram realizados nos laboratórios do Instituto de Química da UFBA e para Alumínio (Al) e Ferro (Fe), no Instituto Agrônomo de Campinas – IAC.



Figura 5. Amostras sendo pesadas para processo de extração dos metais. Fonte: Os autores.

As análises granulométricas foram realizadas no laboratório de física do solo, do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas – CCAAB, da UFRB, sendo o teor de areia obtido por peneiramento, argila, pelo método da pipeta e silte, por diferença, conforme o método da Embrapa (1997).

As análises de fertilidade foram realizadas no laboratório central da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agropecuário - EBDA, em Salvador - BA, sendo determinados pH, H + Al, Al³⁺, teor de carbono (C_{org}), a capacidade de troca catiônica (CTC_{efetiva}), a soma de bases (SB) e a percentagem de saturação de bases (V), também conforme o método da Embrapa (1997).

Os teores pseudo-totais de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, foram obtidos pela abertura em HNO₃ + HCl, em forno micro-ondas, de acordo com o método EPA 3051a (Agência de Proteção Ambiental dos EUA), e os de Al e Fe pela extração em HNO₃ + H₂O₂, pelo método EPA 3050b, ambos recomendados na resolução 420/2009 do Conama (2009), sendo a determinação dos metais feita em ICP-OES.

Para realizar as análises estatísticas foi utilizada a média das três repetições de cada ponto amostrado, reduzindo o conjunto de dados de 90 para 30. Isto foi realizado com o objetivo de

diminuir a sobreposição de dados, haja vista que as repetições dos pontos foram tiradas muito próximas uma das outras, não havendo muita variabilidade nos resultados com as repetições dos pontos. Em seguida, foi realizada a análise de correlação. Pelo fato dos dados não terem apresentado distribuição normal, utilizou-se a análise estatística de correlação não paramétrica (correlação ordinal de Spearman), entre os valores dos atributos (químicos e físicos) e metais pesados do solo (capítulo 1). Posteriormente, para o estudo das relações entre os atributos do solo, entre si e com os teores dos metais, foi realizada a análise de componentes principais (ACP) (capítulo 1). Para a análise e formação dos grupos, utilizou-se a análise de agrupamento (AA) (Corrar, 2007). Com base nos resultados da análise de correlação estatística foram selecionadas como variáveis preditoras para discussão neste trabalho, os teores de areia, silte, CTC_{efetiva} e C_{org}. A partir do dendograma (árvore de cluster), em uma inspeção visual dos dados, foram classificados os cinco grupos formados.

Com objetivo de avaliar as variações nos teores de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn nos solos estudados, com base nos atributos físicos e químicos de maior relevância, foram calculadas as medianas e desvio padrão das concentrações de metais pesados das amostras (Conama, 2009). Os teores de metais abaixo do limite de quantificação do método foram substituídos pelo próprio limite de cada elemento.

Resultados e Discussão

Distribuição dos metais pesados e caracterização das amostras

A fim de classificar a distribuição das concentrações dos metais Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn, as amostras foram agrupadas por faixa de concentração (Tabela 1). Em relação ao Cd, as concentrações encontradas nas amostras desse estudo estão abaixo de 1 mg kg⁻¹. Resultados mais baixos foram encontrados por Abdala (2016) em solos do Litoral Norte da Bahia, utilizando o mesmo método de extração, onde os teores de Cd ficaram predominantemente abaixo do limite de detecção. Em outros estudos para solos do Recôncavo, Carvalho et al. (2013), usando como extrator água régia, encontraram concentrações médias de Cd que variam de 28,2 a 61,1 mg kg⁻¹, Fadigas et al. (2002) também extraiu com água régia e, para algumas classes de solos brasileiros, encontraram valores médios de Cd entre 10 a 100 mg kg⁻¹. É possível que o fato de terem utilizado um extrator mais forte e agressivo (água régia), em relação ao extrator que foi utilizado nesse estudo (ácido nítrico e ácido clorídrico), tenha influenciado na obtenção de maiores concentrações em

relação aos teores de Cd encontrados nesse estudo. Outro fator relevante que pode ter influenciado nesta diferença é o fato da área de coleta estar localizada nas proximidades do mar, ambiente de maior lixiviação de metais.

Nas amostras desse estudo, para os metais Co, Cu e Ni, as concentrações determinadas foram abaixo de 10 mg kg^{-1} . Carvalho et al. (2013) para o Co e Cu determinaram concentrações médias entre 1 a $14,5 \text{ mg kg}^{-1}$, estando relativamente próximo aos valores encontrados neste estudo. Para o Cu, Abdala (2016) encontrou para solos do litoral norte teores na faixa de 2,23 a $55,53 \text{ mg kg}^{-1}$, porém, predominaram as concentrações na faixa de 2,3 a $7,3 \text{ mg kg}^{-1}$ bem próximas às encontradas nesse estudo. O Ni nos estudos de Carvalho et al. (2013), apresentou concentrações pouco acima, na faixa de 12,2 a $23,7 \text{ mg kg}^{-1}$. Em comparação com os resultados encontrados por Fadigas et al. (2002), as concentrações de Co e Ni enquadraram-se na faixa de 2 a 35 mg kg^{-1} e o Cu entre 2 a 119 mg kg^{-1} .

Em relação ao Pb, neste trabalho foram encontradas concentrações na faixa de 1 a 20 mg kg^{-1} e o Zn entre 1 a 25 mg kg^{-1} . Abdala (2016) encontrou para os teores de Pb valores até $23,68 \text{ mg kg}^{-1}$, sendo alguns inclusive abaixo do limite de detecção e para o Zn predominaram concentrações na faixa de 0,25 a $19,48 \text{ mg kg}^{-1}$ evidenciando similaridade nas faixas de concentração de Pb e Zn quando comparado com os teores desse estudo. Nos solos estudados por Carvalho et al. (2013), a faixa de concentração do Pb foi de 12,1 a $23,1 \text{ mg kg}^{-1}$, estando também relativamente próxima dos resultados encontrados neste estudo, e o Zn de 26,4 a $43,4 \text{ mg kg}^{-1}$, enquadrando-se em uma faixa relativamente maior à encontrada neste trabalho. Comparando com os resultados encontrado por Fadigas et al. (2002), em que os teores de Pb ficaram entre 3 a 25 mg kg^{-1} e os de Zn na faixa de 6 a 79 mg kg^{-1} , percebe-se que, as concentrações de Pb ficaram próximas da faixa desse estudo, enquadrando entre os teores encontrados. Mas, para o Zn a faixa encontrada nos estudos de Fadigas et al. (2002) é superior.

No presente estudo, os elementos com maiores concentrações foram o Cr e o Mn. A faixa de concentração do Cr foi de 1 a 50 mg kg^{-1} e do Mn entre 1 a 140 mg kg^{-1} . Nos demais solos do Recôncavo, estudados por Carvalho et al. (2013), o Cr variou de 28,2 a $61,1 \text{ mg kg}^{-1}$. No trabalho de Fadigas et al. (2002), o Cr variou de 19 a 65 mg kg^{-1} , ficando os resultados deste estudo, próximos das faixas encontradas por estes autores.

De modo geral, é possível afirmar que as concentrações dos elementos estudados foram inferiores aos valores médios encontrados na literatura internacional: Co – 8 mg kg^{-1} ; Cr – 100 mg kg^{-1} ; Cu – 30 mg kg^{-1} ; Mn – 600 mg kg^{-1} ; Ni – 40 mg kg^{-1} ; Zn – 50 mg kg^{-1} e o Cd – $0,06 \text{ mg kg}^{-1}$ (Ross, 1994).

Tabela 2. Distribuição das amostras por classes de concentração (mg kg⁻¹) de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn e Mn. ¹Computado em intervalos de 5 mg kg⁻¹, ²computado em intervalos de 20 mg kg⁻¹. Fonte: Os autores.

	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	
Intervalo ¹ mg kg ⁻¹	% de casos							Intervalo ² mg kg ⁻¹	% de caso
≤ 1	100	37			3			≤ 20	20
≤ 5	-	94	13	77	63	60	27	≤ 40	67
≤ 10	-	100	30	100	100	97	50	≤ 60	83
≤ 20	-	-	50	-	-	100	97	≤ 80	90
≤ 25	-	-	63	-	-	-	100	≤ 100	96
≤ 30	-	-	67	-	-	-	-	≤ 120	96
≤ 35	-	-	73	-	-	-	-	≤ 140	100
≤ 40	-	-	83	-	-	-	-		
≤ 45	-	-	87	-	-	-	-		
≤ 50	-	-	100	-	-	-	-		

Na Tabela 2, apresenta-se a distribuição das amostras em função dos teores de areia, silte e argila na camada de 0 a 0,20 m. Cerca de 57% das amostras possuem entre 600 e 800 g kg⁻¹ de areia e 43% entre 400 a 600 g kg⁻¹. Em relação ao silte, a maior faixa de concentração foi de 0 a 100 g kg⁻¹, onde estão enquadradas 83% das amostras; 17% ficaram entre 100 a 200 g kg⁻¹. Em geral, as amostras apresentaram baixo teor de silte. 33% apresentam teor de argila entre 100 a 200 g kg⁻¹, 30% entre 400 a 600 g kg⁻¹, 20% entre 200 a 00 g kg⁻¹ e 17% entre 0 a 100 g kg⁻¹. Em síntese, pode-se afirmar que 83% das amostras apresentaram teores de argila na faixa de 100 a 600 mg kg⁻¹.

Fadigas et al. (2002), identificaram que cerca de 57% das suas amostras apresentaram teores de argila entre 200 e 600 g.kg⁻¹, 72% teores de areia entre 200 e 800 g.kg⁻¹ e 56% os teores de silte abaixo de 100 g.kg⁻¹.

Segundo Oliveira et al., (2010) nos solos com maiores concentrações de argila, principalmente da caulinita, observou-se maior propensão, no que se refere à sorção dos metais no solo do que com os solos com maiores concentrações de areia.

Tabela 3. Distribuição das percentagens de amostras de solo em função das faixas de concentração de areia, silte e argila (Percentagens de concentração por faixa). Fonte: Os autores.

Concentração	Areia	Silte	Argila
———— g kg ⁻¹ ————	———— % de casos ————		
0–100	-	83	17
100–200	-	17	33
200–400	-	-	20
400–600	43	-	30
600–800	57	-	-

Na Tabela 3 apresenta-se a distribuição das amostras em função dos intervalos de CTC efetiva e C_{org} dos solos. A concentração de carbono orgânico ficou na faixa de 10 a 40 g kg⁻¹, sendo 93% das amostras com menos de 30 g kg⁻¹, 77% abaixo de 20 g kg⁻¹ e 27% abaixo de 10 g kg⁻¹. A faixa de 5 a 40 g kg⁻¹ representa uma condição de muito baixo teor de C_{org} . Os valores da CTC_{efetiva} ficaram todos abaixo de 10 cmolc dm⁻³, sendo que 47% dos casos ficaram abaixo de 5 cmolc dm⁻³ e 53% entre 5 e 10 cmolc dm⁻³, nestas faixas, a CTC_{efetiva} enquadra-se em uma classificação que vai de bom a muito bom (Ribeiro et al. 1999).

A adsorção representa um processo chave para se determinar o destino dos poluentes no solo. Esta habilidade que o solo possui na retenção de solutos retarda seu transporte no perfil do solo. Características e propriedades como teor de matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (CTC), entre outras, têm sido avaliadas como possíveis indicadores da capacidade de adsorção dos solutos pelo solo (Koskinen; Harper, 1990).

Tabela 4. Distribuição das amostras de solo em função dos intervalos de Capacidade de Troca Catiônica efetiva (CTC efetiva) e Carbôno orgânico (Corg) (Percentagens de concentração por intervalo). Fonte: Os autores.

C _{org}		CTC _{efetiva}	
Concentração em g.kg ⁻¹	% de casos	Concentração cmolc dm ⁻³	% de casos
≤ 5	-	≤ 5	47
≤ 10	27	≤ 10	100
≤ 20	77	≤ 20	-
≤ 30	93	≤ 30	-
≤ 40	100	≤ 40	-

Classificação das amostras em grupos

O agrupamento das amostras no presente estudo foi realizado com base no seu grau de semelhança, com o objetivo de organizá-las em grupos mais ou menos homogêneos (Figura 3). A análise foi processada em modo Q, ou seja, com o uso de um coeficiente de distância para medir a similaridade entre as amostras, após a padronização dos dados. Foram utilizadas como variáveis os conteúdos de areia, silte, C_{org}, CTC_{efetiva} e Fe. Para agrupar as amostras foi utilizada a distância Euclidiana quadrada, que representa a distância geométrica entre dois objetos no espaço multidimensional como medida de similaridade, e os casos foram ligados entre si pelo método de Ward (Statsoft, 2008).

Considerando um valor de trezentos para o coeficiente de distância (Figura 1), foi possível identificar cinco grupos (G1, G2, G3, G4 e G5) de amostras mais próximas entre si, levando-se em conta a contribuição conjunta das variáveis. As delimitações foram estabelecidas com base na análise visual do dendograma, na qual foram avaliados os pontos de alta mudança de nível (Fadigas et al, 2002; Aquino, 2015).

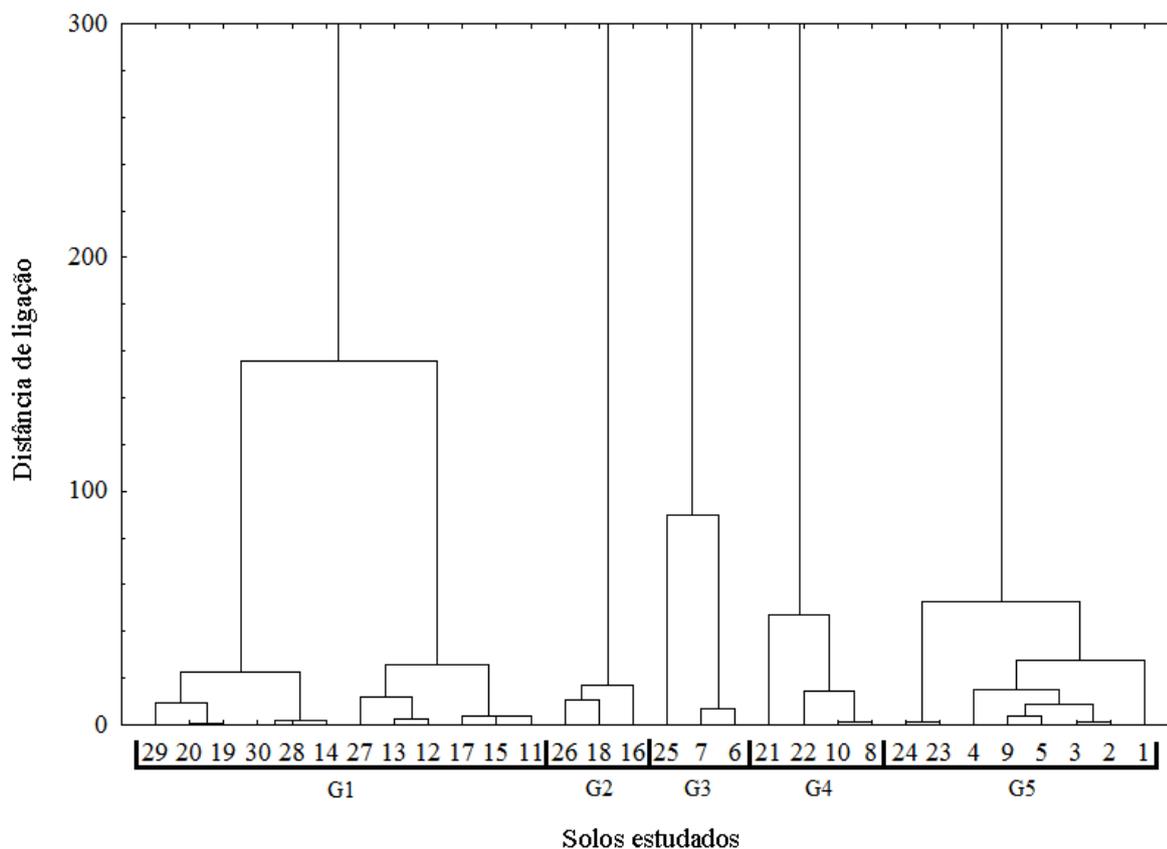


Figura 6. Dendograma de classificação das amostras de solos em 5 grupos, em função do teor de Areia, Corg, CTCefetiva e Fe. Grupos formados pelo método de ligação de Ward e distância Euclidiana quadrada. Fonte: Os autores.

Os grupos 1 e 2 são compostos de amostras das áreas de coletas onde predominam os Neossolos Quartzarênicos. Estes grupos apresentam similaridades nos altos teores de areia. Diferenciam um do outro pelo teor de silte, em que as amostras do G2 chegam a ter quase o dobro do teor de silte das amostras do G1. Este último é bastante homogêneo e formado quase exclusivamente por amostras de Neossolos Quartzarênicos.

Pela análise das medianas das variáveis, observa-se que o G4 reúne os Argissolos Vermelho-Amarelo, em que predominam a textura argilosa com os mais elevados teores de silte, C_{org} e $CTC_{efetiva}$. Já o G3 e G5, embora apresentem amostras das áreas onde predominam os Neossolos Quartzarênicos, tem neste grupo amostras de áreas onde predominam os Argissolos Vermelho-amarelo, com classificação textural que variam de média a argilosa. Em estudos realizados por Carvalho et al. (2011), verifica-se que, ao agrupar amostras obtidas em superfície, classificou-se sete grupos, sendo que dois refletiam a procedência das amostras, havendo um maior número daquelas oriundas de um mesmo local amostrado, e os outros cinco grupos reuniam as amostras de dois ou três locais diferentes. Estes resultados reforçam a tese levantada por Fadigas, et al. (2006) que afirmam que para determinação de valores de referência de qualidade de solos é coerente se utilizar

os atributos do solo, por apresentarem maior relação com os metais pesados do que as classificações pedológicas.

Teores de metais pesados

Na Tabela 5 são apresentados os teores pseudo-totais de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni e Zn. É possível observar que, de modo geral, os valores das concentrações dos metais encontrados nos solos em estudo foram inferiores aos valores médios citados na literatura internacional (Ross, 1994).

Tabela 5. Grupos formados pelas amostras de solo e seus respectivos teores de Areia, Silte, Corg e CTCefetiva. ¹Número de amostras por grupo. ²Valor mínimo e máximo. Fonte: Os autores.

Grupos	Casos ¹	Variáveis				
		Areia	Silte	C _{org}	CTC _{efetiva}	
		———— g kg ⁻¹ ————			cmolc.dm ⁻³	
1	12	Mediana	853,56	46,73	9,82	8,32
		Intervalo ²	81,26 - 89,10	2,42 - 8,16	0,61 - 1,47	6,72 - 10,40
2	3	Mediana	756,02	74,8	12,17	12,04
		Intervalo	74,54 - 77,40	5,06 - 7,97	0,97 - 1,28	10,70 - 13,80
3	3	Mediana	665,07	85,55	18,27	11,8
		Intervalo	58,83 - 67,45	8,45 - 8,96	1,42 - 1,93	9,78 - 12,04
4	4	Mediana	446,58	104,82	28,12	13,92
		Intervalo	39,68 - 45,40	10,19 - 10,63	1,90 - 3,35	12,29 - 15,49
5	8	Mediana	512,51	82,18	20,15	10,81
		Intervalo	49,23 - 53,19	5,98 - 10,90	1,57 - 2,49	9,94 - 14,10

Passe (2015), realizando estudos com metais na bacia do Recôncavo Sul, também encontrou resultados semelhantes aos deste trabalho. Segundo o autor os resultados obtidos no estudo indicam que os valores inferiores devem-se, provavelmente, à natureza do material de origem, composta essencialmente por sedimentos arenosos inconsolidados. Destaca também o alto índice pluviométrico da região da bacia do Recôncavo, possui papel imprescindível na distribuição dos metais nos solos, visto que, favorece a perda por lixiviação desses elementos no ambiente. De modo geral, para os metais Pb, Cd, Cu e Cr, em solos do Litoral Norte da Bahia, Abdala (2016) também encontrou teores médios próximos dos que foram encontrados nesse estudo. Enquanto Aquino (2015), em seus estudos com solos do Território do Sisal na Bahia, encontrou valores médios de Ni e Zn superiores aos desse estudo, no entanto, a maioria das concentrações médias estavam dentro dos intervalos encontrados nesse estudo.

Tabela 6. Concentrações naturais dos metais Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em função dos grupos. ¹Número de amostras por grupo. ²Valor mínimo e máximo. Fonte: Os autores

Grupos	Casos ¹		Elementos							
			Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
			mg kg ⁻¹							
1	12	Mediana	0,09	0,55	6,81	2,53	19,98	1,82	3,59	4,95
		Intervalo ²	0,06-0,21	0,32-1,38	2,92-15,64	1,28-3,48	9,78-29,92	0,95-2,89	1,78-5,64	2,12-7,46
2	3	Mediana	0,26	0,9	11,37	4,14	29,13	3,15	5,55	7,76
		Intervalo	0,19-0,43	0,33-36,96	0,82-36,63	0,26-8,72	4,06-122,76	0,28-9,10	1,34-22,10	0,67-18,45
3	3	Mediana	0,65	4,85	34,72	7,04	86,97	5,96	7,91	12,37
		Intervalo	0,58-0,68	0,92-5,52	33,07-36,63	5,85-8,72	27,04-122,76	4,06-6,53	5,27-13,09	10,37-18,45
4	4	Mediana	0,55	3,16	45,2	6,41	57,04	8,72	5,07	19,04
		Intervalo	0,41-0,78	1,37-5,57	40,09-45,91	4,49-8,68	36,93-97,92	7,65-9,33	3,80-6,22	16,79-20,96
5	8	Mediana	0,34	1,32	26,54	3,59	46,22	5,3	5,62	13,2
		Intervalo	0,08-0,78	1,06-4,47	22,95-45,35	3,26-8,95	29,86-74-32	3,84-8,42	2,61-9,58	11,39-19,19

CONCLUSÕES

Os teores naturais encontrados para as amostras enquadradas no grupo 1 foram; Cd - 0,09 mg kg⁻¹, Co - 0,55 mg kg⁻¹, Cr - 6,81 mg kg⁻¹, Cu - 2,53 mg kg⁻¹, Mn - 19,98 mg kg⁻¹, Ni - 1,82 mg kg⁻¹, Pb - 3,59 mg kg⁻¹, Zn - 4,95 mg kg⁻¹.

Os teores naturais encontrados para as amostras enquadradas no para o grupo 2 foram; Cd - 0,26 mg kg⁻¹, Co - 0,90 mg kg⁻¹, Cr - 11,37 mg kg⁻¹, Cu - 4,14 mg kg⁻¹, Mn - 29,13 mg kg⁻¹, Ni - 3,15 mg kg⁻¹, Pb - 5,55 mg kg⁻¹, Zn - 7,76 mg kg⁻¹.

Os teores naturais encontrados para as amostras enquadradas no para o grupo 3 foram; Cd - 0,65 mg kg⁻¹, Co - 4,85 mg kg⁻¹, Cr - 34,72 mg kg⁻¹, Cu - 7,04 mg kg⁻¹, Mn - 86,97 mg kg⁻¹, Ni - 5,96 mg kg⁻¹, Pb - 7,91 mg kg⁻¹, Zn - 12,37 mg kg⁻¹.

Os teores naturais encontrados para as amostras enquadradas no para o grupo 4 foram; Cd - 0,55 mg kg⁻¹, Co - 3,16 mg kg⁻¹, Cr - 45,20 mg kg⁻¹, Cu - 6,41 mg kg⁻¹, Mn - 57,04 mg kg⁻¹, Ni - 8,72 mg kg⁻¹, Pb - 5,07 mg kg⁻¹, Zn - 19,04 mg kg⁻¹.

Os teores naturais encontrados para as amostras enquadradas no para o grupo 5 foram; Cd - 0,34 mg kg⁻¹, Co - 1,32 mg kg⁻¹, Cr - 26,54 mg kg⁻¹, Cu - 3,59 mg kg⁻¹, Mn - 46,22 mg kg⁻¹, Ni - 5,30 mg kg⁻¹, Pb - 5,62 mg kg⁻¹, Zn - 13,20 mg kg⁻¹.

Para os solos estudados, as variáveis areia, silte, C_{org} e CTC_{efetiva} possibilitaram organizar as amostras em grupos mais ou menos homogêneos, podendo ser utilizadas como variáveis preditoras em estudos de áreas próximas das que foram estudadas.

A análise de agrupamento das amostras de solos permitiu identificar a distribuição das faixas de concentração das variáveis de solos nos grupos identificados e também obter uma aproximação dos teores naturais dos metais pesados para amostras de cada grupo.

Através da formação de grupos por semelhanças, com uso de alguns atributos físicos e químicos do solo para estudos com metais pesados, foi possível verificar que as relações com os atributos físicos e químicos dos solos são mais expressivas que as classificações pedológicas.

REFERÊNCIAS

Abdala SD (2016). *Valores de referência de metais pesados em solos do litoral norte da Bahia*. 2016. 61 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas, Cruz das Almas-BA.

- Aquino EL (2015). *Teores naturais de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em solos derivados de rochas ígneas e metamórficas do Território do Sisal, Bahia*. 2015. 61 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas, Cruz das Almas-BA.
- Carvalho SRL, Vilas Boas GS, Fadigas FS (2011). Análise da estrutura de dados e agrupamento de variáveis de solo relacionadas com a concentração de alguns metais pesados. *Cadernos de Geociências*, 8(1): 33-41.
- Carvalho SRL, Vilas Bôa GS, Fadigas FS (2013). Concentrações naturais de metais pesados em solos derivados de sedimentos do grupo Barreiras. *Cadernos de Geociências*, 10(2): 97-107.
- Conama (2009). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Diário Oficial da União, Brasília, 30 dez. 2009/ Ministério do Meio Ambiente/Seção 1, p. 81-84.
- Corrar LJ, Dias Filho JM (2007). *Análise multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia*. São Paulo: Atlas. 541p.
- Embrapa (2013). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3ª ed., Brasília. 353 p.
- Embrapa (1997). *Manual de Métodos de análise de solo*. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212 p.
- Fadigas FS, Sobrinho Nelson MBA, Mazur N, Anjos LHC, Freixo AA (2006). Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(3): 699-705.
- Fadigas FS, Amaral Sobrinho NMB, Mazur N, Anjos LHC, Freixo AA (2002). Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. *Bragantia*, 2: 151-159.
- Fadigas FS, Amaral Sobrinho NMB, Anjos LHC, Mazur N (2010). Background levels of some trace elements in weathered soils from the Brazilian Northern region. *Scientia Agricola*, 67(1): 53-59.
- Freitas EVS, Nascimento CWA, Goulart DF, Silva JPS (2009). Disponibilidade de cádmio e chumbo para milho em solo adubado com fertilizantes fosfatados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(6): 1899-1907.
- Hooda PS (2010). *Trace elements in soils*. 1. ed. Wiley. 618p.
- Kabata-Pendias A (2011). *Trace elements in soils and plants*. 4.ed. Boca Raton: CRC. 534 p.
- Khan K, Lu Y, Khan H, Ishtiaq M, Khan S, Waqas M, Wei L, Wang T (2013). Heavy metals in agricultural soils and crops and their health risks in Swat District, northern Pakistan. *Food and Chemical Toxicology*, 58: 449– 458.
- Köppen W, Geiger R (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes.

- Koskinen WC, Harper SS (1990). The retention process: mechanisms. In: Cheng HH, Bailey GW, Green RE, Spencer WF (Org). *Pesticides in the soil environment: processes, impacts, and modeling*, Madison: Soil Science Society of America. 51-78.
- Lima AM, Santos FF (2012). Análise das Propriedades Físico-Químicas e de Metais potencialmente Tóxicos na Água do Rio Claro, Próximo a Cidade de Jataí – GO. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, 14(2): 239-255.
- Lu X, Wang L, Li LY, Lei K, Huang L, Kang D (2010). Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*, 173: 744–749.
- Oliveira LFC, Lemke-de-Castro ML, Rodrigues C, Borges JD (2010). Isotermas de sorção de metais pesados em solos do cerrado de Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(7): 776-782.
- Passe JJ (2015). *Teores naturais de metais nos solos das bacias sedimentares do Recôncavo e do Tucano sul, como subsídio ao estabelecimento de valores de referência de qualidade*. 88 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas, Cruz das Almas-BA.
- Paye HS, Mello JWV, Abrahão WAP, Fernandes Filho EI, Dias LCP, Castro MLO, Melo SB, França MM (2010). Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(6): 2041-2051.
- Preston W, Nascimento CWA, Biondi CM, Souza Junior VS, Silva WR, Ferreira HA (2014). Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(3): 1028-1037.
- Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez VH (1999) *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*, Viçosa, MG, 1999.
- Ross SM (1994). *Toxic metals in soil plant systems*. Chichester. 469 p.
- StatSoft (2008). Statsoft: Statistica. guidelines. Inc. Kraków, Poland, 2008.

CAPÍTULO 2

Este capítulo teve como objetivo identificar as relações existentes entre atributos do solo e os teores pseudo-totais dos metais Alumínio (Al), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Níquel (Ni) e Zinco (Zn), e a partir dessas relações, utilizando estatística multivariada, selecionar as principais variáveis (atributos) que mais influenciam na concentração e comportamento desses metais nos solos de Cachoeira-BA. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm em seis áreas, sendo cinco pontos de coleta em cada área; em cada ponto, foram retiradas três sub-amostras distanciadas de 25 cm. A extração dos metais foi realizada com base nos métodos EPA 3051a e 3050b, as leituras em ICP-OES e as análises granulométricas e de fertilidade pelos métodos adotados pela Embrapa. As análises estatísticas foram realizadas com base em correlações de Spearman, análise de correlações canônicas (ACC) e análise de componentes principais (ACP). A ACP possibilitou identificar dois grupos de variáveis que influenciam na concentração e comportamento dos metais nos solos estudados: o grupo da fração mineral e orgânica e o grupo dos metais abundantes, Fe e Al, com maior e menor influência respectivamente. Os atributos argila, silte, areia, H+Al, CTC e Corg destacaram-se nos estudos de correlações com os teores de metais, apresentando altos valores de coeficiente (r), expressando, predominantemente, correlações de intensidade forte e muito forte. Já os atributos pH, SB e Al^{3+} apresentaram baixos valores de coeficientes (r), indicando correlações de intensidade fraca com os metais estudados.

Relação entre atributos do solo e os teores pseudo-totais de metais em Cachoeira-BA

Introdução

O Recôncavo Baiano está sendo cenário de diversos projetos de desenvolvimento implantados na Bahia. Um destes é a construção do novo Pólo Naval da Bahia, que será instalado nos municípios de Maragogipe e Saubara e outro é a expansão do Pólo Industrial do Recôncavo, onde funcionarão diversas indústrias de beneficiamento de diversos tipos de produtos, inclusive de petróleo. Em decorrência dessas atividades, diversos produtos e subprodutos contaminantes serão trazidos ou produzidos nesta região, e é possível que no futuro ocorram impactos ambientais, incluindo o aumento nos teores de metais potencialmente poluentes do solo, tais como Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn).

A influência na concentração e quantidade de metais em solos depende de diversos fatores; dentre os mais estudados, destaca-se a composição da fração argila, conteúdo de matéria orgânica, condições física e química do solo, natureza do material de origem e também as relações entre os atributos dos solos (Campos, 2010; Lu et al., 2012; Preston et al., 2014).

O comportamento dos metais ao longo dos perfis depende da solução do meio ao qual está inserido e das propriedades físicas e químicas do solo em questão (Martins, 2011). A complexidade existente nos diferentes tipos de solo, dificulta a determinação das interações de adsorção característica de cada metal (Dube et al., 2001).

Os principais processos físicos e químicos do solo acontecem na camada superficial. Os atributos que mais influenciam na retenção e mobilidade dos metais nos solos são os teores de argila, silte, óxido de ferro, manganês, quantidade de matéria orgânica (MO), capacidade de troca de cátions (CTC) e pH (Santos, 2012). Em estudos com solos da Inglaterra foi evidenciado que a textura exerce influência significativa sobre a concentração dos metais Cd, Co, Cr, Cu, Ni e Zn, sendo tal concentração aproximadamente 4 vezes maior em solos argilosos que arenosos (ZHAO et al., 2010).

Os metais podem ser encontrados no solo na forma iônica em solução, adsorvidos à fase sólida, podendo ser trocável ou não (ligação iônica ou covalente), formando quelatos insolúveis, oclusos é inclusos em óxidos de ferro e alumínio, ligados aos microrganismos e incorporados às redes cristalinas dos minerais silicatados (Lu et al. 2005).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi de identificar as relações existentes entre atributos do solo e os teores pseudo-totais dos metais Alumínio (Al), Cádmio (Cd), Cobalto (Co),

Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn), e, a partir dessas relações, utilizando estatística multivariada, selecionar as principais variáveis (atributos) que influenciam na concentração e comportamento desses metais nos solos da reserva extrativista de Santiago do Iguape, Cachoeira-BA.

Material e Métodos

Os solos da área em estudo foram classificados como pertencentes aos grupos geológicos Santo Amaro (áreas 1, 2 e 5) e Formação Barreira (áreas 4, 6 e 7) (Figura 1). Em relação à classificação pedológica (Figura 2), na formação Santo Amaro predominam os Argissolos Vermelho–Amarelos (áreas 1, 2, 5 e 7) e na Formação Barreiras predominam os Neossolos Quartzarênicos (áreas 4 e 6), classificados por Embrapa (2013).

As amostras deformadas foram coletadas à uma profundidade de 0 a 20 cm, em seis áreas com mínima atividade antrópica, sob vegetação natural, sendo amostrados cinco pontos em cada área de coleta e três sub-amostras distanciadas de 25 cm, por ponto.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno, previamente lavados com ácido nítrico a 5 % e água deionizada, e conduzidas ao laboratório de solos da UFRB. O material foi submetido à secagem em temperatura ambiente (25 a 30° C), e quarteado, sendo duas partes separadas para análises químicas, uma parte para análises granulométricas e a outra estocada como contraprova.

Os procedimentos analíticos para determinação das concentrações dos valores pseudo-totais de Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn), foram realizados nos laboratórios do Instituto de Química da UFBA e para Alumínio (Al) e Ferro (Fe), no Instituto Agrônomo de Campinas – IAC.

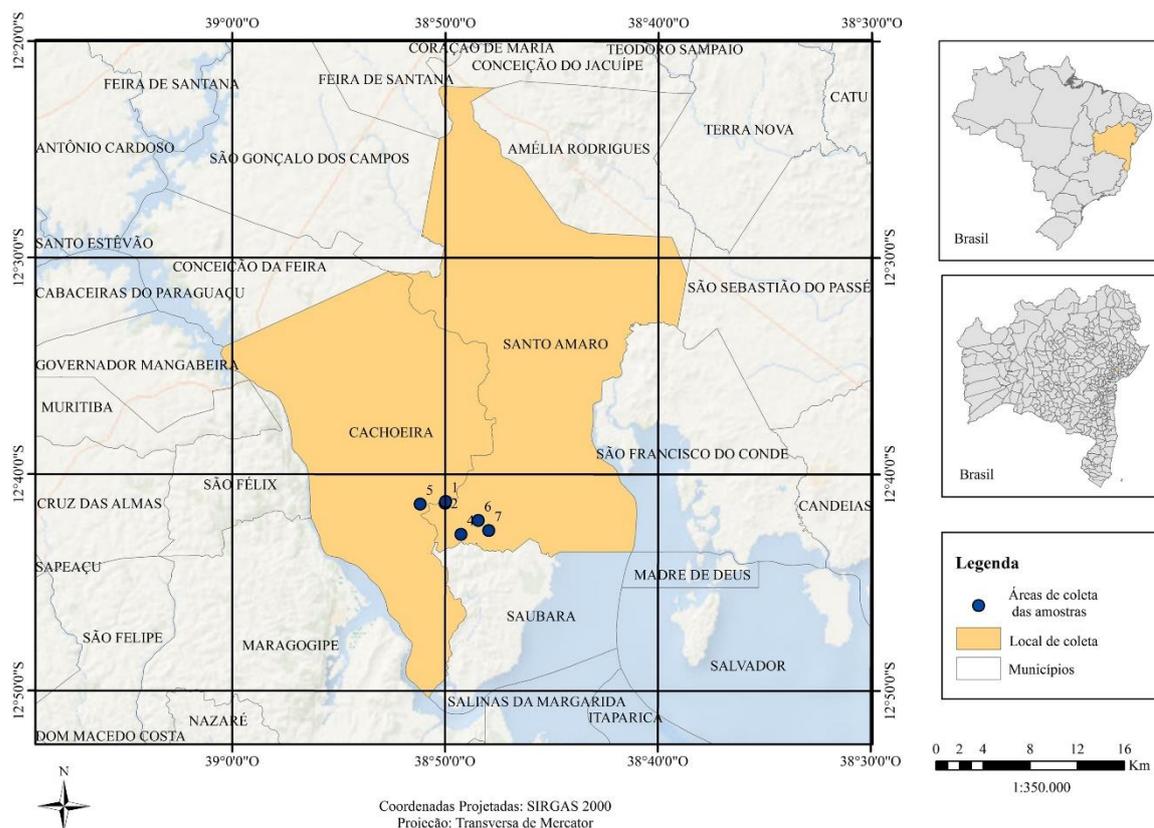


Figura 7. Mapa de localização da área de estudo, reserva extrativista de Santiago do Iguape. Fonte: Os autores.

As análises granulométricas foram realizadas no laboratório de física do solo do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas-CCAAB, da UFRB, sendo o teor de areia obtido por peneiramento, argila, pelo método da pipeta e o de silte por diferença.

As análises de fertilidade foram realizadas no laboratório central da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agropecuário (EBDA), em Salvador - BA, sendo determinados pH, H + Al, Al³⁺, teor de carbono (C_{org}), capacidade de troca catiônica (CTC_{efetiva}), soma de bases (SB) e percentagem de saturação de bases (V).

Os teores pseudo-totais de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, foram obtidos pela abertura em HNO₃ + HCl, em forno micro-ondas, de acordo com o método EPA 3051a (Agência de Proteção Ambiental dos EUA), e os de Al e Fe pela extração em HNO₃ + H₂O₂, pelo método EPA 3050b, ambos recomendados na resolução 420/2009 do Conama (2009), sendo a determinação dos metais feita em ICP-OES.

Para realizar as análises estatísticas foi utilizada a média das três repetições de cada ponto amostrado. A partir dos valores dos atributos físicos argila, silte e areia, e químicos, pH, H + Al,

Al³⁺, C_{org}, CTC_{efetiva}, SB, V% e metais (pseudo-totais), Al, Cd, Co, Cr, Fe, Cu, Ni, Pb e Zn, foi realizado teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, considerando-se como distribuição normal, os valores de “r” maiores que 0,05 (Miller; Miller, 1998). Pelo fato dos dados não terem apresentado distribuição normal, foi realizada a análise estatística de correlação não paramétrica (correlação ordinal de Spearman), com os valores dos atributos (químicos e físicos) e metais pesados do solo. Para análise dos dados foi utilizado o programa Statistica V.7.0 (Statsoft, 2008). Foram selecionadas como variáveis para discussão neste trabalho, os teores de argila, silte, areia, pH, H + Al, Al³⁺, CTC_{efetiva}, C_{org}, SB e V%. A análise de correlação foi utilizada para avaliar o comportamento dos metais e atributos químicos e físicos do solo e fazer uma primeira inspeção dos dados com relação à associação entre os atributos e o teor natural de metais.

As correlações entre os atributos do solo e teores de metais foram avaliados qualitativamente, quanto à intensidade, com base no valor do coeficiente r, a partir dos seguintes critérios: correlação nula (0), fraca (0 a 0,3), regular (0,3 a 0,6), forte (0,6 a 0,9) e muito forte (0,9 a 1) (Callegari-Jacques, 2003).

A análise de componentes principais (ACP) foi utilizada para compreensão do conjunto dos dados e sua estrutura, de modo a identificar os atributos de maior peso em cada componente e caracterizá-las quanto ao seu significado no estudo dos metais em solos. Para as análises de componentes principais, os dados foram padronizados para evitar a interferência das diferentes unidades de medida nos cálculos (Broschat, 1979; Statsoft, 2008). Uma vez pré-selecionadas as variáveis que comporiam o modelo, a partir do estudo de correlações, foi feita a extração das componentes. A ACP foi aplicada ao conjunto dos dados para verificar quais variáveis representariam melhor os atributos dos solos em grupos distintos (Ron, 2010).

Resultados e Discussão

Estudo de correlações

Na Tabela 7, pode-se verificar que tanto a argila como a areia apresentaram correlações significativas em relação aos metais, à 5 % de probabilidade, porém, a argila com correlação positiva e a areia com correlação negativa. Quanto à intensidade, foram verificadas correlação regular entre a argila e areia com Fe e Pb, forte com Al, Cd, Co, Cr, Cu, Mn e Zn e muito forte com o Ni. Resultados semelhantes também foram encontrados para solos representativos do Brasil, em que o teor de argila apresentou correlação significativa com os metais estudados e uma relação de intensidade fraca com Pb (Fadigas et al., 2002). Isto é justificado pelo fato das frações argila e areia

apresentarem propriedades químicas distintas; enquanto a argila representa a parcela ativa da fração mineral por sediar fenômenos de troca de íons e adsorção química dos componentes do solo, a areia apresenta comportamento oposto, tendo como principal função drenagem e circulação do ar no solo (Melo; Alleoni, 2009). Outra questão está relacionada ao fato da areia ser constituída principalmente por quartzo (SiO_2), mineral de grande resistência física e estabilidade química (Pelozato, 2008). Quanto maior a proporção de argila, maior a presença de cargas elétricas, principalmente em solos de argila 2:1. Estas cargas contribuem para o aumento da sorção de metais catiônicos nos solos (Meurer, 2012).

Para a fração silte a correlação foi significativa e positiva para todos os metais. Este atributo do solo apresentou correlação de intensidade regular com Al, Fe e Pb e forte com Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni e Zn. Em seu trabalho, Paye et al. (2010) afirmam que em solos mais jovens, de textura mais grosseira, pode-se esperar relações entre a fração silte e areia com os teores totais e pseudo-totais. Uma possível explicação para o resultado encontrado neste trabalho é evidenciado por Fadigas et al. (2010), que afirmam que a presença de minerais de argila e óxidos em agregados ferruginosos e argilosos de tamanho silte, influenciam positivamente com as concentrações pseudo-totais de metais em solos.

A variável $\text{H} + \text{Al}$ apresentou correlação significativa e positiva com todos os metais, exceto Fe e Mn, sendo esta, forte com Zn, Ni, Cu e Cr, regular com Cd, Co, Mn e Pb e fraca com Fe. Estudando Latossolos derivados da Formação Barreiras na mesma profundidade de coleta, Carvalho et al. (2011) apresentam resultados com correlações significativas e de intensidade regular entre o $\text{H} + \text{Al}$ com Zn, Mn e Co; já com o Cu e Fe, a correlação é de intensidade fraca. Também encontraram correlações significativas de intensidade regular com o Cr e Pb.

É importante evidenciar que a soma $\text{H} + \text{Al}$ representa a acidez potencial do solo, obtida pela extração à pH 7,0, enquanto a extração dos metais é feita em meio fortemente ácido. Isto porque a solubilidade, movimentação e disponibilidade dos cátions metálicos Cu, Fe, Mn, Zn e Al na solução, são maiores em meio ácido; em meio básico estes cátions metálicos complexam com outros elementos e precipitam (Malavolta, 1979).

A CTC também se correlacionou de forma significativa com todos os metais, exceto Fe. De acordo à intensidade, houve uma correlação forte com Cd, Cr, Cu, Ni e Zn e regular com Co, Mn, Pb e Fe. O Fe e Mn são os elementos metálicos que aparecem em maior quantidade nos solos tropicais, principalmente na forma de óxidos (Campos et al., 2010). Por outro lado, a concentração pseudo-total deste metal não guarda relação direta com os cátions trocáveis, associados à CTC, sendo o próprio Fe responsável pela formação de óxidos com capacidade de adsorver fortemente outros elementos metálicos do solo (Latrille et al., 2001; Silveira et al., 2003). Em estudo com solos

do Rio Grande do Norte foram obtidas correlações significativas da CTC com todos os metais, comprovando a importância deste atributo na retenção de metais (Preston et al. 2014).

A correlação entre os teores de carbono (C_{org}) e o pseudo-total de metais no solo foi significativa e positiva em alguns casos. Em relação à intensidade, uma correlação forte foi verificada com Co, Cr, Cu, Mn, Ni e Zn, e regular com Fe, Cd e Pb. Essa tendência é explicada pela afinidade destes elementos com a matéria orgânica do solo, especialmente a do Pb. Segundo Meurer (2012), a matéria orgânica fornece compostos orgânicos para a solução do solo que podem complexar íons metálicos na forma de quelatos. Além disso, os compostos orgânicos no solo adsorvem cátions metálicos formando complexos de esfera interna, servindo como um reservatório natural para uma grande variedade de metais, especialmente Cu e Pb (McBride, 1989; Ross, 1994). Em estudos com solos dos Tabuleiros Costeiros da Bahia, Carvalho et al. (2013) evidenciam que há correlação linear da matriz orgânica do solo com os elementos Pb e Cu. Em solos de Pernambuco, Biondi et al. (2011) observaram correlações significativas entre os teores de metais pesados com a matéria orgânica. Preston et al. (2014) constataram que o C_{org} apresentou correlações significativas com a maioria dos metais estudados, evidenciando a ampla relação entre essa variável com os metais do solo.

Tabela 7. Correlações de Spearman entre os atributos do solo e a concentração pseudo-totais de metais que foram significativos. As correlações marcadas com * são significativas à 5% de probabilidade. Fonte: Os autores.

Variáveis	Argila	Silte	Areia	H + Al	CTC _{efet}	C_{org}
Al	0,71*	0,55*	-0,69*	0,54*	0,64*	0,78*
Fe	0,40*	0,53*	-0,43*	0,25	0,31	0,55*
Cd	0,61*	0,77*	-0,67*	0,56*	0,65*	0,54*
Co	0,80*	0,65*	-0,79*	0,51*	0,57*	0,68*
Cr	0,88*	0,86*	-0,91*	0,72*	0,78*	0,85*
Cu	0,73*	0,75*	-0,75*	0,60*	0,75*	0,63*
Mn	0,76*	0,70*	-0,77*	0,35	0,55*	0,64*
Ni	0,94*	0,80*	-0,94*	0,72*	0,78*	0,85*
Pb	0,42*	0,50*	-0,45*	0,46*	0,59*	0,42*
Zn	0,86*	0,82*	-0,89*	0,61*	0,74*	0,81*

Tabela 8. Correlações de Spearman entre os atributos do solo e a concentração pseudo-totais de metais que não foram significativos. As correlações marcadas com * são significativas a 5% de probabilidade. Fonte: Os autores.

Variáveis	pH	SB	Al ³⁺	V
Al	-0,12	0,14	-0,14	-0,14
Fe	-0,26	0,04	-0,34	-0,12
Cd	-0,16	0,18	-0,03	-0,09
Co	-0,19	0,02	-0,19	-0,13
Cr	-0,35	0,05	-0,09	-0,25
Cu	-0,06	0,31	-0,07	0,03
Mn	0,19	0,40*	-0,44*	0,22
Ni	-0,28	0,00	-0,08	-0,26
Pb	-0,06	0,32	0,01	0,06
Zn	-0,11	0,18	-0,19	-0,10

Na Tabela 8 encontram-se os atributos químicos pH, Al³⁺, SB e V que não apresentaram correlação significativa com os pseudo-totais dos metais. Levando em consideração a intensidade da correlação, o pH apresentou correlação fraca com Al, Fe, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn e regular com Cr. Os atributos SB e Al³⁺ resultaram em correlação significativa de intensidade regular com Mn, mas não com os outros metais em estudo, cujo coeficiente de correlação foi predominantemente de intensidade fraca. As correlações entre o valor V e os teores pseudo-totais dos metais não foram significativas e a intensidade dessas correlações também foram fracas.

Em relação ao pH, Fadigas et al. (2010) encontraram resultados semelhantes nas correlações com os pseudo-totais de Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Mn e Fe. Verifica-se na tabela 2, que os coeficientes, de acordo à intensidade, são predominantemente fracos para este atributo. Biondi et al., (2011), também encontraram os mesmos resultados para os teores pseudo-totais de Cu, Zn e Fe.

É possível que o fato da extração dos metais ter sido realizada com extrator fortemente ácido (HNO₃ concentrado), reduza a importância destes atributos na determinação do pseudo-total de metais pesados em solos. A SB e V são variáveis obtidas a partir dos resultados de cálculos envolvendo os cátions básicos (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺) que são extraídos em meio alcalino ou levemente ácido (Embrapa, 1999). Segundo Rieuwertset et al. (2006), o pH influencia na dinâmica dos íons metálicos catiônicos Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Mn²⁺, Fe²⁺, Cr²⁺, Co²⁺, Pb²⁺ e Cd²⁺, em ambiente

de maior acidez, especialmente em solos bastante intemperizados, onde os grupos funcionais de superfície dos componentes coloidais são, predominantemente, pH-dependentes, principalmente os oxi-hidróxidos de alumínio e ferro.

Os dados foram submetidos à análise de Correlação Canônica (CC), que permite calcular, entre outras coisas, um coeficiente de correlação multivariado ($R_{\text{canônico}}$), que possibilita avaliar o grau de dependência entre dois conjuntos de dados formados por diferentes variáveis (Statsoft, 2008). Na Tabela 9, são apresentados os resultados da CC entre os atributos estudados e os metais (pseudo-totais). Observa-se que o conjunto de dados constituído por argila, silte, areia, H + Al, CTC e C_{org} explicam 91,21 % do total da variância dos dados. Este mesmo conjunto acrescido das variáveis pH, Al^{+3} e V explicam 98,74 % da variância dos dados, apesar de ter havido um incremento de 7,53 % na extração da variação do total, pois a inclusão das variáveis pH, Al^{+3} e V não contribuiu para o aumento do $R_{\text{canônico}}$, além de resultar no aumento da redundância total de informação no conjunto formado pelos metais (pseudo-totais).

Tabela 9. Sumário da análise canônica para os conjuntos formados pelos atributos físicos e químicos dos solos e teores pseudo-totais de Al, Cd, Co, Cr, Fe, Cu, Ni, Pb e Zn. Fonte: Os autores.

Conjunto de dados dos atributos	Conjunto de dados dos metais				
	Número de variáveis	$R_{\text{canônico}}$	Variância extraída (%)	Redundância total (%)	Significância (p)
Argila; silte; areia; H+Al; CTC; C_{org}	6	0,99	91,21	67,99	0,000
Argila; silte; areia; H+Al; CTC; C_{org} ; pH; SB e Al^{3+}	9	0,99	98,74	75,58	0,000

Análise das componentes principais (ACP)

Com o uso da análise de componentes principais (Tabela 10), foi possível estudar as correlações entre as variáveis dentro de cada componente (função) e identificar aquelas que pouco contribuem para a variação geral. Para extração dos componentes foi considerado tanto a percentagem da variância total acumulada após a extração de cada componente, que deve ser maior que 80% (Miller; Miller, 1998), como também o autovalor da componente, pelo critério Kaiser, que não deve ser inferior a 1 (Ron, 2010).

Com base na análise das correlações de Spearman foi selecionado um conjunto de variáveis que melhor expressasse a concentração (pseudo-totais) dos metais nos solos estudados. Os dados padronizados de dezesseis variáveis (atributos do solo e teores de metais pesados) foram submetidos à ACP, extraindo-se dois componentes, identificados como: grupo “fração mineral e orgânica”, acumulando 66,20% da variância, e o grupo “metais abundantes”, representado pelo Al e Fe que acumulou 17,09% da variância total; juntas, essas novas variáveis representaram 83,29 % da variância total.

Tabela 10. Extração de componentes principais para o conjunto de atributos de solos e metais (eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax). Fonte: Os autores.

Variáveis	COMPONENTES	
	Fração mineral e orgânica	Metais abundantes Fe e Al
	Coeficientes fatoriais	
Argila	-0,88	0,32
Silte	-0,84	0,11
Areia	0,91	-0,30
H + Al ³⁺	-0,69	0,53
CTC efetiva	-0,78	0,41
C _{org}	-0,85	0,45
Al ³⁺	-0,67	0,54
Fe	-0,58	-0,63
Cd	-0,86	-0,29
Co	-0,72	-0,59
Cr	-0,97	0,05
Cu	-0,84	-0,48
Mn	-0,75	-0,55
Ni	-0,96	0,05
Pb	-0,61	-0,46
Zn	-0,97	-0,04
Autovalor	10,59	2,73
Variância total %	66,20	17,09
Variância acumulada %	66,20	83,29

A carga fatorial (coeficientes das variáveis em cada componente) indica a intensidade da relação entre a variável e a componente. Quanto maior a carga fatorial de uma variável, melhor esta variável está sendo explicada pela componente em questão (Statsoft, 2008). Dessa forma, observou-se que as variáveis com maior destaque foram argila, areia, silte e C_{org}, na componente “fração mineral e orgânica”, e Fe na componente “metais abundantes”. A argila e areia variaram

inversamente no componente “fração mineral e orgânica”. Essas variáveis são altamente correlacionadas, podendo uma delas ser excluída no estudo dos teores naturais de metais no solo, para reduzir a redundância de informação (Fadigas et al., 2006).

Conclusões

As frações mineral e orgânica dos solos, apresentaram correlações significativas e positivas com os teores de metais. Isso indica que os atributos químicos e de composição granulométrica são os fatores que de fato se relacionam com o estoque de metais nos solos estudados.

Os atributos argila, silte, areia, H+Al, CTC e C_{org} destacaram-se nos estudos de correlações com os teores de metais, apresentando altos valores de coeficientes r , o que indica serem apropriados para avaliação dos teores de metais em solos.

A análise de componentes principais permitiu a identificação de dois grupos de variáveis que influenciam significativamente na concentração e comportamento dos metais (pseudo-totais) nos solos estudados, sendo estes o grupo “fração mineral e orgânica”, com maior influência e o grupo “metais abundantes – Fe e Al”, com menor influência.

REFERÊNCIAS

- Biondi CM, Nascimento CWA, Fabricio Neta AB, Ribeiro MR (2011). Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(3): 1057-1066.
- Broschat TK (1979). Principal component analysis in horticultural research. *Hortscience*, 14(2): 114-117.
- Callegari-Jacques SM (2003). Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre, Artmed. 264 p.
- Campos MCC (2010). Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. *Ambiência*, 6(3): 547-565.
- Carvalho SRL, Vilas Boas GS, Fadigas FS (2011). Análise da estrutura de dados e agrupamento de variáveis de solo relacionadas com a concentração de alguns metais pesados. *Cadernos de Geociências*, 8(1): 33-41.
- Carvalho SRL, Vilas Bôa GS, Fadigas FS (2013). Concentrações naturais de metais pesados em solos derivados de sedimentos do grupo Barreiras. *Cadernos de Geociências*, 10(2): 97-107.
- Conama (2009). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Diário Oficial da União, Brasília, 30 dez. 2009/ Ministério do MeioAmbiente/Seção 1, p. 81-84.

- Dube A, Zbytniewski R, Kowalkowski T, Cukrowska E, Buszewski B (2001). Adsorption and migration of heavy metals in soil. *Polish Journal of Environmental Studies*, 10(1): 1-10.
- Embrapa (2013). Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed., Brasília. 353 p.
- Fadigas FS, Sobrinho Nelson MBA, Mazur N, Anjos LHC, Freixo AA (2006). Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(3): 699-705.
- Fadigas FS, Amaral Sobrinho NMB, Anjos LHC, Mazur N (2010). Background levels of some trace elements in weathered soils from the Brazilian Northern region. *Scientia Agricola*, 67(1): 53-59.
- Latrille, C., Elsass F, van Oort F, Denaix L (2001). Physical speciation of trace metals in Fe–Mn concretions from a rendziclichthosol developed on Sinemurian limestones (France). *Geoderma*, 100(1): 127-146.
- Lu A., Zhang S, Shan X (2005). Time effect on the fractionation of heavy metals in soils. *Geoderma*, 125: 225-234.
- Lu Z, Cai M, Wang J, Yang H, He J (2012). Baseline values for metals in soils on Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica: The extent of anthropogenic pollution. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 184(11): 7013-7021.
- Malavolta E (1979). *ABC da adubação*. 4ª edição. São Paulo SP, Editora Agronomia Ceres. 255 p.
- Martins CAS, Nogueira NO, Ribeiro PH, Rigo MM, Candido AO (2011). A dinâmica de metais-traço no solo. *Revista Brasileira de Agrociência*, 17(3-4): 383-391.
- McBride MB (1989). *Reactions controlling heavy metals solubility in soils*. Advances in Soil Science, 10.
- Melo VF, Alleoni LRF (2009). *Química e mineralogia do solo: aplicações*. v.2. Viçosa, SBCS. 685 p.
- Meurer EJ (2012). *Fundamentos da química do solo*. 5ª ed., editora. Porto Alegre, Evangraf. 280p.
- Miller JC, Miller JN (1993). *Estadística para Química Analítica*. 2ª edición, Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. 222 p.
- Paye HS, Mello JWV, Abrahão WAP, Fernandes Filho EI, Dias LCP, Castro MLO, Melo SB, França MM (2010). Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(6): 2041-2051.
- Pelozato M (2008). Valores de referência de cádmio, cobre, manganês e zinco para solos de Santa Catarina. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Estadual de Santa Catarina.
- Preston W, Nascimento CWA, Biondi CM, Souza Junior VS, Silva WR, Ferreira HA (2014). Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(3): 1028-1037.

- Rieuwerts JS, Ashmoreb MR, Faragoa ME, Thorntona I (2006). The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils. *Science of the total Environment*, 366: 864-875.
- Ron L (2010). *Estatística Aplicada* / Ron Larson, Betsy Farber; tradução Luciano Ferreira, Pauletti Vianna, 4ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 640 p.
- Ross SM (1994). *Toxic metals in soil plant systems*. Chichester. 469 p.
- Santos SN, Alleoni LRF (2012). Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 185(7): 5737-5748.
- Silveira MLA, Alleoni LRF, Guilherme LRG (2003). Biosolids and heavy metal in soils. *Scientia Agricola*, 60(4): 793-806.
- Statistica (2008). *Statsoft: Statistica guidelines*. StatSoft Inc. Kraków, Poland.
- Zhao KL, Liu X, Xu J, Selim HM (2010). Heavy metal contaminations in a soil-rice system: identification of spatial dependence in relation to soil properties of paddyfields. *Journal of Hazardous Materials*, 181(1-3): 778-787.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à falta de VRQs para o estado da Bahia, os teores naturais poderão servir como orientação para identificar possíveis variações nas concentrações de metais nas áreas estudadas e dar um indicativo para possível investigação.

Nos estudos com metais pesados, independente das classes pedológicas, torna-se necessário conhecer de maneira aprofundada o comportamento dos atributos físicos e químicos dos solos e suas relações com as concentrações de metais pesados na área de estudo, para melhor avaliar os resultados.

Apesar de estarem sendo pesquisados e determinados os VRQs para os estados da Federação no Brasil, ainda são muito carentes na literatura trabalhos com profunda discussão acerca do comportamento dos metais pesados, em função da influência dos diferentes atributos do solo na formação e complexação de novos compostos, com impacto nocivo ou benéfico, na sustentabilidade dos ecossistemas ambientais.

ANEXO

Tabela 11. Análises granulométricas e químicas dos solos das áreas de estudo. Fonte: Os autores.

Áreas	Pontos	Areia	Silte	Argila	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	SB	CTC	V	Corg	MO
		-----g.Kg ⁻¹ -----			H ₂ O	mg.dm ⁻³	-----cmolc.dm ⁻³ -----						%	dag.Kg ⁻¹	dag.Kg ⁻¹		
1	1	531,86	59,75	408,52	4,30	3,33	0,11	0,61	0,44	1,70	0,07	7,97	1,23	9,20	13,26	1,57	2,71
1	2	513,80	83,80	402,54	4,50	3,00	0,08	1,20	0,91	1,41	0,09	8,70	2,28	10,98	20,49	2,08	3,58
1	3	511,23	73,10	415,72	4,50	3,00	0,08	1,20	0,91	1,41	0,09	8,70	2,28	10,98	20,49	2,08	3,58
1	4	505,21	109,00	385,86	4,70	2,67	0,08	1,84	0,79	0,91	0,08	7,28	2,80	10,08	27,68	1,87	3,23
1	5	493,56	70,51	436,05	4,10	3,67	0,07	0,29	0,33	2,24	0,04	9,91	0,73	10,65	6,91	1,95	3,37
2	1	665,07	84,54	250,62	4,30	4,00	0,14	0,53	0,46	1,33	0,04	8,61	1,17	9,78	11,94	1,42	2,46
2	2	674,51	89,45	236,27	5,07	3,67	0,12	3,37	1,10	0,24	0,05	7,41	4,63	12,04	38,45	1,93	3,34
2	3	453,99	104,38	441,87	4,27	3,67	0,11	0,65	0,74	1,93	0,07	10,73	1,56	12,29	12,64	1,90	3,27
2	4	492,34	87,87	420,04	4,07	4,00	0,08	0,32	0,38	1,91	0,07	9,08	0,86	9,94	8,62	1,75	3,01
2	5	445,38	101,93	452,90	3,97	3,67	0,07	0,21	0,38	2,43	0,06	11,83	0,70	12,53	5,51	2,42	4,18
4	1	846,02	81,60	72,42	4,13	2,00	0,07	0,29	0,31	2,07	0,05	7,36	0,74	8,10	9,11	0,90	1,54
4	2	825,21	52,22	122,61	4,03	2,00	0,06	0,29	0,23	2,74	0,04	8,70	0,62	9,32	6,60	1,09	1,89
4	3	812,63	59,32	128,13	4,07	2,67	0,08	0,59	0,42	2,62	0,07	7,53	1,14	8,67	12,91	1,01	1,74
4	4	865,85	31,86	102,36	3,80	3,00	0,07	0,37	0,26	2,86	0,05	8,43	0,76	9,19	8,11	1,47	2,53
4	5	827,84	65,01	107,22	4,03	2,00	0,06	0,22	0,18	1,91	0,06	7,39	0,52	7,91	6,64	1,24	2,11
5	1	745,37	79,69	175,13	4,13	2,00	0,11	0,62	0,69	5,54	0,16	12,52	1,27	13,80	9,33	1,22	2,10
5	2	845,94	58,50	95,77	4,60	2,00	0,50	1,07	0,33	2,59	0,07	6,44	1,99	8,43	23,60	0,86	1,48
5	3	773,98	74,80	151,41	4,60	2,00	0,57	1,24	0,71	2,72	0,11	8,07	2,63	10,70	24,33	1,28	1,91
5	4	882,60	42,90	74,75	4,97	1,67	0,40	1,62	0,50	0,97	0,09	4,47	2,61	7,07	36,82	0,76	1,31
5	5	879,69	50,57	69,88	4,50	2,00	0,21	0,48	0,52	2,11	0,07	5,43	1,29	6,72	19,16	0,61	1,05
6	1	396,80	106,31	497,01	4,13	2,00	0,08	0,39	0,17	2,71	0,09	14,58	0,72	15,31	4,73	3,35	5,77
6	2	447,78	105,26	447,16	4,03	2,00	0,08	0,66	0,48	2,54	0,08	14,19	1,30	15,49	8,24	3,20	5,51
6	3	530,09	80,56	389,48	3,97	2,00	0,07	0,25	0,45	2,53	0,04	13,28	0,81	14,10	5,77	2,44	4,21
6	4	525,53	91,56	383,06	4,00	2,00	0,07	0,47	0,51	2,59	0,07	12,58	1,12	13,70	8,19	2,49	4,30
6	5	588,30	85,55	326,25	4,07	2,00	0,06	0,75	0,76	2,13	0,05	10,28	1,52	11,80	12,56	1,83	3,15
7	1	756,02	50,62	193,51	4,47	6,00	0,20	0,75	0,81	5,38	0,13	10,15	1,89	12,04	15,70	0,97	1,68
7	2	825,03	30,19	145,00	4,23	3,33	0,22	0,48	0,33	3,29	0,06	9,31	1,09	10,40	10,49	1,01	1,73
7	3	864,60	27,22	108,54	4,17	2,33	0,19	0,41	0,36	2,48	0,06	7,25	0,95	8,20	11,64	0,83	1,43
7	4	890,97	24,14	85,16	4,40	3,00	0,15	0,32	0,33	1,59	0,04	6,90	0,84	7,74	10,91	1,04	3,65
7	5	861,10	26,20	112,94	4,33	2,33	0,25	0,24	0,40	2,19	0,07	7,51	0,96	8,47	11,37	0,96	1,65

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Classificação geológica da área de abrangência do estudo – Distrito de Santiago do Iguape, Cachoeira - BA. Fonte: Os autores.	15
Figura 2. Classificação pedológica dos solos encontrados na área de abrangência do estudo – Distrito de Santiago do Iguape, Cachoeira - BA. Fonte: Os autores.	16
Figura 3. Área sob vegetação natural, amostras sendo retiradas e ponto de coleta com três amostras retiradas, imagens respectivas. Fonte: Os autores.	17
Figura 4. Amostras sendo acondicionadas em sacos de polietileno e posterior secagem em laboratório em temperatura ambiente, respectivamente. Fonte: Os autores.	17
Figura 5. Amostras sendo pesadas para processo de extração dos metais. Fonte: Os autores.	18
Figura 6. Dendograma de classificação das amostras de solos em 5 grupos, em função do teor de Areia, Corg, CTCefetiva e Fe. Grupos formados pelo método de ligação de Ward e distância Euclidiana quadrada. Fonte: Os autores.	24
Figura 7. Mapa de localização da área de estudo, reserva extrativista de Santiago do Iguape. Fonte: Os autores.	33

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Identificação das áreas de estudo, municípios de coleta, formação geológica e classificação dos solos até o 2º nível categórico. Fonte: Os autores.....	16
Tabela 2. Distribuição das amostras por classes de concentração (mg kg ⁻¹) de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn e Mn. ¹ Computado em intervalos de 5 mg kg ⁻¹ , ² computado em intervalos de 20 mg kg ⁻¹ . Fonte: Os autores.....	21
Tabela 3. Distribuição das percentagens de amostras de solo em função das faixas de concentração de areia, silte e argila (Percentagens de concentração por faixa). Fonte: Os autores.	22
Tabela 4. Distribuição das amostras de solo em função dos intervalos de Capacidade de Troca Catiônica efetiva (CTC efetiva) e Carbôno orgânico (Corg) (Percentagens de concentração por intervalo). Fonte: Os autores.....	23
Tabela 5. Grupos formados pelas amostras de solo e seus respectivos teores de Areia, Silte, Corg e CTCefetiva. ¹ Número de amostras por grupo. ² Valor mínimo e máximo. Fonte: Os autores.....	25
Tabela 6. Concentrações naturais dos metais Cd, Co, Cr, Cu,Mn, Ni, Pb e Zn em função dos grupos. ¹ Número de amostras por grupo. ² Valor mínimo e máximo. Fonte: Os autores.....	26
Tabela 7. Correlações de Spearman entre os atributos do solo e a concentração pseudo-totais de metais que foram significativos. As correlações marcadas com * são significativas à 5% de probabilidade. Fonte: Os autores.	36
Tabela 8. Correlações de Spearman entre os atributos do solo e a concentração pseudo-totais de metais que não foram significativos. As correlações marcadas com * são significativas a 5% de probabilidade. Fonte: Os autores.....	37
Tabela 9. Sumário da análise canônica para os conjuntos formados pelos atributos físicos e químicos dos solos e teores pseudo-totais de Al, Cd, Co, Cr, Fe, Cu, Ni, Pb e Zn. Fonte: Os autores.....	38
Tabela 10. Extração de componentes principais para o conjunto de atributos de solos e metais (eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax). Fonte: Os autores.....	39
Tabela 11. Análises granulométricas e químicas dos solos das áreas de estudo. Fonte: Os autores.....	44

ÍNDICE REMISSIVO

A

análises

granulométricas · 14, 15, 28, 29

químicas · 14, 28

areia · 15, 16, 18, 19, 20, 21, 24, 29, 30, 31, 34, 36, 42

argila · 15, 18, 19, 27, 29, 30, 31, 34, 36, 42

atributos

do solo · 9, 16, 22, 27, 28, 30, 32, 33, 35, 39, 42

físicos · 8, 16, 24, 29, 34, 39, 42

C

cobalto · 8, 11, 14, 27, 28

correlação · 16, 30, 31, 32, 33, 34

significativa · 30, 31, 32, 36

cromo · 8, 11, 14, 27, 28

CTC _{efetiva} · 15, 16, 19, 20, 29, 30, 35, 42

E

estatística multivariada · 28

F

formação barreiras · 11, 28, 31

M

matéria orgânica · 19, 27, 32

metais pesados · 8, 9, 10, 11, 16, 22, 24, 30, 32, 33, 35, 38, 39, 46

método EPA · 15, 29

N

neossolos quartzarênicos · 11, 21, 28

S

Santiago do Iguape · 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 28, 41

silte · 15, 16, 18, 19, 20, 21, 24, 27, 29, 31, 34, 36, 42

solos · 4, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 46, 47

T

teores

de metais · 8, 10, 16, 27, 30, 32, 35, 36

naturais · 4, 8, 11, 24, 36, 39

troca catiônica · 15, 19, 29

V

valores

de referência · 10, 21

pseudo-totais · 14, 28

VRQs · 8, 39

Z

Zinco · 8, 11, 14, 27, 28

SOBRE OS AUTORES

André Santos de Oliveira



Doutorado em Ciências Agrárias (em andamento) pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas (2017) pela UFRB, especialista em Gestão Licenciamento e Auditoria Ambiental (2014) pela Universidade Norte do Paraná, UNOPAR, bacharel em Engenharia Agrônoma (2013) pela UFRB, técnico em Agropecuária (2007) pelo Instituto Federal Baiano, IFBAIANO. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em ciências do solo, atuando principalmente nos seguintes temas: química e fertilidade do solo, manejo e conservação do solo, sistemas de produção agrícola, recuperação de áreas degradadas e licenciamento e auditoria ambiental de projetos agrícolas. Já publicou 2 artigos e 4 capítulos de livros.

Contato: andreagro835@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6283-966X?lang=en>

Francisco de Souza Fadigas



Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal da Bahia (1985), mestrado em Ciências Agrárias pela Universidade Federal da Bahia (1993) e doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2002). Atualmente é professor Associado do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e membro do grupo de pesquisa Poluição do Solo (UFRRJ). É ex-professor do programa de Pós-Graduação Solos e Qualidade dos Ecossistemas. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Manejo de Resíduos e Poluição ambiental, atuando também em Recuperação de áreas degradadas, metais pesados em solos e resíduos orgânicos. Publicou 25 artigos, 1 livro, 2 capítulos de livro, mais de 43 resumos publicados em eventos científicos e 2 textos de jornais.

Contato: fadigas@ufrb.edu.br

ORCID: : <https://orcid.org/0000-0002-6826-3611>

Thomas Vincent Gloaguen



Geólogo pelo Institut Polytechnique de Lorraine (ENSG/INPL, França), doutor em Geociências pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (2006), na área de poluição ambiental. Atualmente é professor associado em geologia ambiental na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), para os cursos de graduação em engenharia sanitária e ambiental, biologia e pós-graduação em solos e qualidade de ecossistemas. Ele tem coordenado e/ou participado de projetos de pesquisa sobre índice de poluição por metais, mapeamento geoquímico com SIG, geoquímica de solos e fluvial, em diferentes ambientes: mata atlântica (floresta, manguezal), semiárido, campo rupestre, montanhoso temperado, mediterrâneo. Publicou 4 capítulos de livros, 21 artigos e 65 resumos em congressos na área de geoquímica ambiental.

Contato: thomasgloaguen@ufrb.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6973-3462>

Júlio César Azevedo Nóbrega



Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pela Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG. Atualmente, é docente Permanente do Programa de Pós-graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas (Mestrado) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Campus Cruz das Almas, BA e do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias (Mestrado e Doutorado) da Universidade Federal do Piauí, Campus Bom Jesus, PI. Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba. Atua na área de Ciência do Solo, com ênfase nas áreas de física, manejo, conservação e fertilidade de solos tropicais. Publicou mais de 90 artigos, 15 capítulos de livros e 250 trabalhos em eventos nacionais e internacionais, bem como a orientação e, ou coorientação de mais de 100 alunos, nas modalidades de iniciação científica e trabalhos de conclusão de cursos (monografias, dissertações e teses).

Contato: jeanobrega@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2726-8205>



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

As concentrações naturais de metais em solos visam garantir a sustentabilidade dos recursos naturais. Na presente obra, procurou-se determinar as concentrações naturais de metais para solos do distrito de Santiago do Iguape e, também, estabelecer a relação entre atributos do solo e os teores pseudototais de metais nestes solos. As extrações dos metais foram realizadas com base nos métodos EPA 3050b e 3051a, as leituras em ICP-OES, as análises granulométricas e fertilidade pelos métodos adotados pela Embrapa. As análises estatísticas foram realizadas com base em medianas, valor máximo e mínimo das concentrações, correlações de Spearman, análise de correlações canônicas (ACC), análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamentos (AA). De modo geral, percebe-se que os valores das concentrações de metais, podem ser considerados como o teor que o solo teria naturalmente e poderão ser comparados aos valores obtidos pela análise de uma nova amostra. Verificou-se também, que a relação entre os teores dos metais estudados e os teores de areia, silte, Corg e CTCefetiva, poderá ser útil em levantamentos e monitoramento de áreas com impactos de ação antrópica, se as características do solo forem similares às dos solos estudados.