



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LORENA LIRA LEITE SABINO

TEOR NATURAL E VALORES DE REFERÊNCIA PARA METAIS PESADOS EM  
SOLOS DA REGIÃO DA TRANSAMAZÔNICA, PARÁ.

BELÉM-PA

2013



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LORENA LIRA LEITE SABINO

TEOR NATURAL E VALORES DE REFERÊNCIA PARA METAIS PESADOS EM  
SOLOS DA REGIÃO DA TRANSAMAZÔNICA, PARÁ.

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Rodrigues Fernandes

BELÉM-PA  
2013

---

Sabino, Lorena Lira Leite

Teor natural e valores de referência para metais pesados em solos da região transamazônica, Pará / Lorena Lira Leite Sabino. - Belém, 2013.

47 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2013.

1. Solos – Amazônia 2. Qualidade Ambiental 3. Elementos-traço I. Título.

---

CDD – 631.41



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

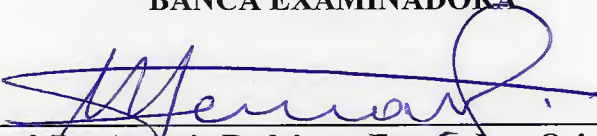
LORENA LIRA LEITE SABINO


TEOR NATURAL E VALOR DE REFERÊNCIA PARA METAIS PESADOS EM  
SOLOS DA REGIÃO DA TRANSAMAZÔNICA, PARÁ.

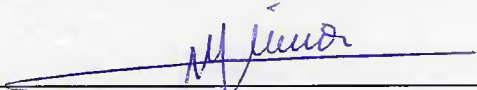
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.


Aprovado em 29 de Agosto de 2013

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. Antonio Rodrigues Fernandes - Orientador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

  
Prof.ª Dr.ª Cristine Bastos do Amarante  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELD

  
Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

  
Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

A DEUS, por sua proteção sempre.

Aos meus pais Neuman e Ivan, fontes maiores de inspiração e incentivo.

Ao irmão Ivan Júnior.

À minha voinha Teresinha Lira, pelo apoio.

Aos demais familiares e amigos.

Com amor e carinho.

**DEDICO!**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela presença constante em minha vida, guiando meus passos e iluminando meu caminho.

Aos meus pais, pelo incentivo, carinho, amor, e por acreditar nesse sonho, mesmo que para isso a ausência e saudade se faça presente.

Aos meus familiares, pelo apoio e carinho, por me ajudar mesmo à distância.

Ao amigo Júlio Vander, pelo carinho e amor, e principalmente pelas palavras de incentivo e positividade.

Ao orientador Prof. Dr. Antonio Rodrigues Fernandes, pela paciência e confiança em mim depositados, além de todos os ensinamentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia, pela oportunidade de realizar o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão de bolsa, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro ao projeto.

Ao Prof. Dr. Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni, pela colaboração científica e por proporcionar a oportunidade de realizar as análises químicas nos laboratórios da ESALQ/USP, mediante acordo de cooperação entre o Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFRA e o Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP- PROCAD.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, Luiz Junior, Débora Grandino e Marina Colzato, pelas orientações na realização das análises laboratoriais.

À minha “irmã” Edna Souza, pela amizade e companheirismo em todas as etapas dessa conquista, sempre juntas, seja em sala de aula, coletas de campo, laboratório, na mesma casa, compartilhando a casa de nossos pais, obrigada por tudo.

Aos “irmãos” Roberto Silva, Otiniel Nunes, Deyvison Medrado e Nilvan Melo, pela ajuda nas viagens pela rodovia Transamazônica, coletando solo e compartilhando experiências.

Ao “grupo do sempre”, Adriane Rocha, Núbia Vasconcelos, Saime Carvalho, Sannah Birani e Andreza Rocha, pela amizade verdadeira e por SEMPRE estarmos nos apoiando, seja nos momentos de alegria ou tristeza.

As amigas Ianna Dantas, Gabriela Roza e VanessaSilva, pela acolhida, moradia e amizade em Piracicaba.

Aos amigos de turma EM, et al. 2006-2010, que me acompanham desde a graduação e torcem pelo meu sucesso profissional.

Aos amigos e colegas do curso de pós-graduação Rafael Guedes, Danilo Monteiro, Bruna Sayuri, Edwin Almeida, Renato Teixeira, Rodolfo Santos, Possidônio Rodrigues, Danielle Campinas, Gilson Matos e Helen Ramos.

Aos professores de todas as disciplinas feitas, pelos ensinamentos repassados nas aulas ministradas na pós-graduação.

Ao estado do Pará e todo povo paraense, pela acolhida de minha família.

A todos, que diretamente ou indiretamente, contribuíram na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

<b>1 CONTEXTUALIZAÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1 REVISÃO DE LITERATURA	14
<b>2 TEOR NATURAL E VALORES DE REFERÊNCIA PARA METAIS PESADOS EM SOLOS DA REGIÃO TRANSAMAZÔNICA , PARÁ</b>	
2.1 INTRODUÇÃO	23
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	24
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
2.4 CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS	36



## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Estatística descritiva para os atributos físicos e químicos de solos da região Transamazônica, PA	27
Tabela 2 - Teores médios recuperados dos metais para o material de referência Certificado NIST SRM 2709 San Joaquin soil	28
Tabela 3 - Estatística descritiva dos teores naturais de metais pesados em solos na região Transamazônica, PA	29
Tabela 4 - Valores de Referência de Qualidade para solos da região Transamazônica, PA	32
Tabela 5 - Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,05$ ) realçados em negrito, entre os teores naturais de metais pesados dos solos da região Transamazônica, PA	32
Tabela 6 - Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,05$ ) realçados em negrito, entre os teores naturais de metais pesados e atributos dos solos da região Transamazônica, PA	34

Sabino, Lorena Lira Leite. Teor natural e valores de referência para metais pesados em solos da região transamazônica, Pará. Belém: UFRA, 2013. 47 p (Dissertação – Mestrado em Agronomia).

## RESUMO

No Brasil poucos estados determinaram os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) do solo para metais pesados, com isto alguns utilizam dados de estados diferentes ou até de outros países como referência para o monitoramento ambiental. O estado do Pará já tem os VRQ de forma geral. Essa determinação visa diminuir a variação as diferenças regionais no estado. Os VRQ do solo servem de base para os órgãos ambientais no gerenciamento, monitoramento e avaliação da qualidade ambiental. O objetivo foi quantificar os teores naturais de metais pesados em solos da região da Rodovia Transamazônica, Estado do Pará e obtenção dos VRQ. Em 45 áreas distribuídas ao longo da rodovia, coletou-se amostras de superfície (0,0-0,2 m), determinando os teores pseudototais dos metais Al, Cu, Ni, Fe, Cd, Co, Zn, Pb, Mn, Cr e Ba utilizando o método 3051 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, recomendado pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente. Os VRQ foram definidos a partir do percentil 75 e 90 da distribuição de frequência dos resultados, utilizando o programa estatístico SPSS Statistics 17.0. A partir do percentil 75 (quartil superior) os VRQ obtidos foram Al (22679,13), Cu (8,63), Ni (3,78), Fe (29536,13), Cd (0,19), Co (1,27), Zn (12,07), Pb (18,12), Mn (75,49), Cr (12,35) e Ba (62,04), em  $\text{mg kg}^{-1}$ . Os teores naturais médios encontrados, de uma forma geral, estiveram abaixo do determinado para outros estados brasileiros.

Palavras-chave: Solos da Amazônia, qualidade ambiental, elementos-traço.

## CONTENT NATURAL AND REFERENCE VALUES FOR HEAVY METALS IN SOILS REGION TRANSAMAZON, PARÁ.

### ABSTRACT

In Brazil few states determined the Quality Reference Value (QRV) soil for heavy metals, thus some use data from different states or even other countries as a reference for environmental monitoring. The state of Pará now has the QRV in general. This determination aims to reduce the variation of regional differences in the state. The QRV soil are the basis for the environmental agencies in managing, monitoring and evaluation of environmental quality. The objective was to quantify the natural background levels of heavy metals in soils of the Transamazon Highway, State of Pará and obtaining the QRV. In 45 areas distributed along the highway, we collected surface samples (0.0-0.2 m), determining the levels pseudototals metals Al, Cu, Ni, Fe, Cd, Co, Zn, Pb, Mn, Cr and Ba using the method 3051 Environmental Protection Agency of the United States, recommended by the National Council for the Environment. The QRV were defined as the 75 percentile and 90 of the frequency distribution of the data using SPSS Statistics 17.0. From the 75 percentile (top quartile) the QRV obtained were Al (22679,13), Cu (8,63), Ni (3,78), Fe (29536,13), Cd (0,19), Co (1,27), Zn (12,07), Pb (18,12), Mn (75,49), Cr (12,35) e Ba (62,04), in mg kg<sup>-1</sup>. The natural levels found average, in general, were below that determined for other states.

Keywords: Amazon of soils, environmental quality, trace elements.

## CONTEXTUALIZAÇÃO

O crescente aumento da população e conseqüente ocupação de áreas pelas atividades agrícolas e urbanas, para habitação e instalação das indústrias, e exploração mineral, sem planejamento ambiental, tem causado impacto ambiental pela contaminação e poluição dos solos. As principais substâncias inorgânicas causadoras da contaminação e poluição dos solos são os metais pesados. O acúmulo destes elementos nos solos alteram ecologicamente os ecossistemas, afetando os animais e a saúde humana. As fontes potenciais são poluentes como, resíduos sólidos, industriais e urbanos, materiais tóxicos e radioativos (MOREIRA-NODERMANN, 1987).

A agricultura também é responsável pelo efeito acumulativo desses elementos nos solos, a partir da aplicação de defensivos agrícolas (fungicidas, herbicidas e inseticidas), fertilizantes e corretivos e irrigação com água contaminada (NÚÑEZ et al., 2006; ALLOWAY, 1990).

Diante do potencial das atividades da sociedade moderna para contaminação ambiental, surge a preocupação com o monitoramento e gerenciamento ambiental dessas áreas, buscando preservar o meio ambiente, e solucionar problemas relacionados a áreas contaminadas. O monitoramento ambiental de uma área se dá a partir da comparação dos teores encontrados com valores determinados em condições naturais (não poluídos) ou valores de referência de qualidade do solo (VRQ). Esse monitoramento é feito por órgãos ambientais, a fim de avaliar o potencial de risco ao meio ambiente e à saúde humana (CETESB, 2001; SOARES, 2004).

A determinação dos teores dos metais pesados que ocorrem naturalmente nos solos é condição necessária para o estabelecimento dos VRQ, além de possibilitar a definição dos valores de prevenção e de investigação (CONAMA, 2009). Os VRQ vão orientar os órgãos de monitoramento ambiental para avaliação dos impactos ambientais e da poluição de áreas antropizadas.

No Brasil apenas os estados de São Paulo e Minas Gerais, possuem tabelas com os valores orientadores para metais pesados no solo e outros estados como Rondônia, Mato Grosso Espírito Santo, Pernambuco e Pará, em fase final de definição. Outros estados fazem uso de valores estabelecidos em outros países, como Holanda e Estados

Unidos (EPA), principalmente, ou aqueles desenvolvidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo/CETESB. Ressalte-se que os valores de referência já determinados para o estado do Pará não contemplou a região da transamazônica e da BR 163, exceto com uma coleta no município de Novo Paraíso, próximo a Altamira e duas coletas próximas a Santarém, respectivamente. Visando corrigir tais distorções, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), lançou a resolução 420/2009, de 28 de dezembro de 2009, estabelecendo que os valores orientadores de qualidade devam ser definidos para cada Estado da Federação, de forma a respeitar a diversidade pedogenética do país (SANTOS, 2011).

Alguns pesquisadores brasileiros já vêm desenvolvendo pesquisas, buscando valores que sirvam de base para a determinação dos valores orientadores de qualidade dos solos de acordo com as características específicas de cada solo e região, tais como Fadigas et al. (2002), Soares (2004), Alleoni et al. (2005), Fadigas et al. (2006a), Fadigas et al. (2006b), Silveira et al. (2006), Fadigas et al. (2010), Paye et al. (2010), Paye, Mello e Melo (2012), Burak et al. (2010), Biondi et al. (2011), de Souza Braz et al. (2013) e de Souza Braz, Fernandes, Alleoni (2013). Deste modo se faz necessário o estabelecimento desses valores, tendo em vista que a região da rodovia Transamazônica está ligada ao desenvolvimento agrícola e minerador da região.

Diante do exposto, supõe-se que: os teores de metais pesados encontrados nos solos da região cortada pela rodovia Transamazônica serão diferentes dos valores obtidos para outras microrregiões e estados; os teores se correlacionem com atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos; os VRQ serão diferentes daqueles sugeridos pelo CONAMA e aqueles estabelecidos para os outros estados do Brasil e do Pará.

Os objetivos foram quantificar os teores pseudototais naturais dos metais Al, Cu, Ni, Fe, Cd, Co, Zn, Pb, Mn, Cr e Ba, correlacionar com atributos dos solos e determinar os valores de referência de qualidade para os solos da microrregião cortada pela rodovia Transamazônica, Pará.

## 1.1 REVISÃO DE LITERATURA

O solo pode ser visto como fonte primordial de sustentação da vida, uma vez que oferece os elementos necessários que nutre toda uma cadeia de seres vivos. Devido esta grande importância torna-se necessário o conhecimento a respeito de elementos que o compõe, bem como o dos metais pesados. Por definição, metal pesado, trata-se de um grupo heterogêneo de elementos químicos (metais, não metais e alguns semi-metais), com densidade atômica maior do que  $5 \text{ g cm}^{-3}$  ou que possuem número atômico maior que 20 (MARQUES; CURI; SCHULZE, 2002). Quando esses elementos encontram-se em ambientes naturais e/ou em baixas concentrações é de costume utilizar os termos “metais-traço” ou “elementos-traço” para sua definição, ficando a critério do autor. No caso desse trabalho, devido a abrangência de elementos como o Al, Fe e Mn, que mesmo em ambiente natural não possuem baixa concentração, decidiu-se então utilizar o termo metal pesado a fim de representar melhor todos os elementos do estudo e facilitar a escrita.

Os metais pesados ocorrem naturalmente no meio ambiente, proveniente da intemperização de rochas ao longo do tempo, possuindo assim uma origem litogênica (BAIZE; STERCKEMAN, 2001). Os metais e sua quantidade em determinado solo irá depender do tipo de rocha que o formou, Portanto. Quanto mais desenvolvido um solo, menor é a influência desse material de origem (ZHANG; DENG; YANGMAIS, 2002). A origem dos metais pesados pode se dar também de forma antropogênica, causando assim preocupação quanto ao risco de possível contaminação do meio pelo acúmulo no meio ambiente, pois em quantidades superiores às naturais, esses elementos podem causar toxidez aos seres vivos em geral. Os metais podem, também, se acumular no solo pelo uso contínuo e prolongado de resíduos industriais e urbanos, de água de irrigação poluída e pela deposição atmosférica (COSTA, 2005).

Apesar da discussão a respeito de metais pesados, passar uma ideia negativa e de poluição, esses elementos possuem um significant papel biológico na construção de estruturas orgânicas e gerência os fluxos de nutrientes e de energia nos organismos (ANDRADE, 2003), onde também estão associados à essencialidade de plantas (Ni, Cu, Fe, Mn, Zn) e animais (Ni, Cu, Fe, Mn, Zn, Cr).

A presença de determinado elemento no sistema solo não significa, necessariamente, que o mesmo está causando risco de poluição, uma vez que se têm os teores totais e disponíveis desse metal. Um conjunto de fatores, como por exemplo, o pH do solo e o intemperismo, comanda a toxicidade e mobilidade dos íons metálicos na solução do solo (CAMPOS, 2010)

Processos de ocupação e o desflorestamento na Amazônia com o uso do fogo favorecem a contaminação dos solos e das águas por elementos potencialmente tóxicos, como os metais pesados, principalmente, devido à mineração clandestina do ouro e a abertura de estradas (ex. Rodovia Transamazônica, BR-163 Cuiabá-Santarém e BR-319 Manaus - Porto Velho) (SANTOS, 2011). A pecuária, a agricultura, as atividades de garimpo clandestino de ouro, as usinas de ferro-gusa e a extração madeireira e o crescimento urbano-industrial são os principais responsáveis pelo processo de ocupação (FEARNSIDE, 2006).

A Rodovia Transamazônica (BR 230) teve início na cidade de João Pessoa-Pb, passando por vários estados do Nordeste até adentrar o Norte, pelo Estado do Tocantins, e finalmente chegar ao Estado do Pará. A rodovia se estende por todo o território paraense, desde a divisa com o Tocantins à divisa com o Amazonas. Observa-se nos municípios ao longo da rodovia, diferentes atividades de uso dos recursos naturais, bem como a agricultura, pesca, pecuária e mineração, além das barragens das hidroelétricas.

Houve um estudo pioneiro dos solos ao longo da Transamazônica, enquanto as construtoras abriam a rodovia, eram identificadas as unidades, descrevendo os perfis representativos bem como coletando amostras para as determinações analíticas. Nesta ocasião, os solos foram estudados ao longo de 1180 km, passando por importantes cidades como Marabá e Altamira, além de importantes rios como o Araguaia, Tocantins, Xingu e Tapajós (FALESI, 1972).

Com a abertura, e conseqüente ocupação e exploração dos solos, ao longo da Rodovia Transamazônica é impossível não pensar em desmatamento e ocupação desordenada, onde, a abertura da estrada estimulou ainda mais a expansão da fronteira agrícola e da exploração madeireira, podendo acarretando uma colossal conversão de florestas em pastagens e áreas agrícolas (SOARES-FILHO, 2005) e áreas de exploração mineral.

O desmatamento da Amazônia brasileira vem aumentando sequencialmente desde 1991, variando conforme as atividades econômicas exploratórias, e traz como impacto a perda de oportunidades para o uso sustentável da floresta, incluindo a produção de mercadorias tradicionais tanto por manejo florestal para madeira como por extração de produtos não-madeireiros (FEARNSIDE, 2006). Sem um modelo de sustentabilidade adequado, os solos vão sendo ocupados e explorados, bem como, poluídos.

Nesse contexto de poluição do solo e atual preocupação da sociedade mundial com o meio ambiente, principalmente no que se refere à região amazônica, medidas de planejamento e gerenciamento ambiental são indispensáveis na busca da preservação ambiental, procurando gerir os problemas criados pelo acúmulo de resíduos nos solos, sejam eles em meio urbano ou rural.

Diversas atividades antrópicas podem vir a causar deposição, direta ou indiretamente, de metais pesados no solo pelo despejo de materiais industriais e urbanos. As fontes dessa deposição são bastante variáveis, podendo ser oriundas de atividades mineradoras, beneficiamento de metais, produção de defensivos agrícolas e fertilizantes, biossólidos, resíduos industriais, queima de combustíveis, entre outras (AL-KHASHMAN, 2004). Os fertilizantes, fonte de nutrientes para as culturas, por exemplo, contém metais pesados potencialmente tóxicos para a saúde humana e para o meio ambiente (PERIS et al., 2008).

O estudo do comportamento, quantidade e distribuição de metais pesados no solo são de grande importância no que tange a questão do gerenciamento ambiental, uma vez que esses elementos ao se acumularem nos solos são persistentes e não podem ser “destruídos”. A determinação dos teores naturais de metais é fundamental no monitoramento dos impactos antropogênicos, de origem química, sobre a qualidade do solo (ZHANG; DENG; YANGMAIS, 2002).

Assim sendo, os órgãos de monitoramento ambiental necessitam conhecer os valores de referência para poder atuar na avaliação e quantificação da poluição de determinado local. Esses valores são obtidos comparando os teores totais ou pseudototais de elementos tóxicos de um solo com valores determinados em condições naturais (não poluídos) ou com valores de referência (PAYE, 2010).



O valor de referência de qualidade (VRQ) indica o teor do metal no solo em condições naturais, ou seja, um solo limpo, sem qualquer interferência do homem, sendo utilizado como base no controle de áreas contaminadas. O VRQ é estabelecido a partir de um conjunto de dados analisados por programas estatísticos, resultante da coleta de solos.

É comum em trabalhos com metais em solos brasileiros a comparação de dados com solos de cunho internacional, cabendo assim ressaltar que o uso de padrões internacionais pode levar a avaliações inadequadas, já que existem diferenças nas condições climáticas, tecnológicas e pedológicas de cada país, justificando o desenvolvimento de listas orientadoras próprias, compatíveis com as características de cada um deles (CETESB, 2001). Visando isso, em 2001, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), publicou a primeira lista de VRQ para solos e águas subterrâneas no Brasil, e em 2005 atualizou a lista, incluindo mais elementos analisados (CETESB, 2005).

A resolução nº 420 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), formalizou o estabelecimento de critérios e valores orientadores da qualidade do solo quanto a presença de substâncias químicas, estabelecendo diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Na resolução, foi considerada a necessidade de prevenção da contaminação do solo, a proteção da qualidade da água, a existência de áreas contaminadas que configuram risco a saúde pública e ao meio ambiente, bem como qualquer contaminação do solo e água passíveis de um gerenciamento ambiental.

Ainda sobre a resolução do Conama (2009), foi estabelecido que os VRQ devessem ser estabelecidos em até quatro anos, após a data da publicação, para cada estado brasileiro, devido da diversidade pedogenética dos solos do Brasil. Foi estabelecida para a extração das substâncias inorgânicas (exceto mercúrio) os métodos USEPA 3050 ou USEPA 3051 ou suas atualizações, ambos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA). O 3050 é um método convencional, já o 3051 é um método alternativo que utiliza em sua técnica o aquecimento por microonda, porém, ambos não garantem a dissolução completa das amostras (RAIJ et al., 2001), podendo assim serem chamados de pseudototais. Mesmo sendo um teor pseudo e não total, esses métodos tem sido muito utilizados na

determinação do teor natural de metais, uma vez que, também são de fácil desenvolvimento e manipulação em laboratório.

As normas brasileiras, regidas pelo Conama (2009), definem três valores orientadores; (1) Valores de Referência de Qualidade (VRQ), que é o teor do elemento no solo ou a concentração na água em condições naturais após ajustada para os percentis 75 ou 90%; (b) Valor de Prevenção (VP), que é o teor do elemento no solo ou a concentração na água, acima do qual podem ocorrer alterações prejudiciais a qualidade do solo e da água subterrânea; (c) Valor de Intervenção (VI), que é o teor do elemento no solo ou a concentração na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais diretos ou indiretos, à saúde humana, considerado um cenário de exposição genérico.

No Brasil, os estados de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Pernambuco e mais recente Rondônia, Mato Grosso e Pará, possuem VRQ estabelecidos. Outros estados ainda estão finalizando suas pesquisas, o que mostra um avanço nos estudos metais em consequência da preocupação do gerenciamento dos recursos ambientais.

No estado do Pará, pesquisas foram iniciadas, a fim do estabelecimento dos VRQ, porém, como a extensão territorial do Pará é grande e é contida por diferentes classes de solos, diferentes condições de relevo e vegetação e variações climáticas (apesar de estar dentro do bioma Amazônico), a determinação dos VRQ por classe de solos, microrregiões ou ao longo de importantes rodovias está sendo feita, com intuito de maior confiabilidade e representabilidade de dados nos solos paraenses, visando um monitoramento ambiental mais correto e preciso de áreas supostamente poluídas.

## REFERÊNCIAS

AL-KHASHMAN, O. A. Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric Environment*, Amsterdam, v.38, n. 39, p.6803–6812, 2004.

ALLEONI, L.R.F.; IGLESIAS, C.S.M.; MELLO, S.C.; CAMARGO, O.A. de; CASAGRANDE, J.C.; LAVORENTI, N.A.. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e de cobre em solos tropicais. *Acta Scientiarum*, Maringá, v.27, n.4, p.729-737, 2005.

ALLOWAY, B.J. Heavy metals in soils. London, Blackie & Sons, 1990. 339p.

ANDRADE, C.F.F.D. Uma Introdução à Bioinorgânica. Instituto de Química e Geociências, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003. 46 p.

BAIZE, D., STERCKEMAN, T. Of the necessity of knowledge of the natural pedo-geochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. *Science of the total Environment*, v. 264, p.127– 139. 2001.

BIONDI, C.M. Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do Estado de Pernambuco. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

BURAK, D.L.; FONTES, M.P.F.; SANTOS, N.T.; MONTEIRO, L.V.S.; MARTINS, E.S.; BECQUER, T. Geochemistry and spatial distribution of heavy metals in Oxisols in a mineralized region of the Brazilian Central Plateau. *Geoderma*. 160 (2010) 131–142.

CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. *Ambiência*. Guarapuava (PR), V.6, n.3, p.547 – 565. Set./Dez. 2010.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, CETESB, 2001. 247p. (Relatório Técnico).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão da Diretoria nº 195/2005. Valores orientadores para solos e águas subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2005. 4p.

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 em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, 2009, publicada no Diário Oficial da União de 30 de Dezembro de 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 25 jun.2012

COSTA, C.N. Biodisponibilidade de metais pesados em solos do RIO Grande do Sul. 2005. 110f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DE SOUZA BRAZ, A.M.; FERNANDES, A.R.; ALLEONI, L.R.F. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in amazon. *Land Degradation & Development*. V. 24, p. 33-38, 2013.

DE SOUZA BRAZ, A. M.; FERNANDES, A. R.; FERREIRA, J. R.; ALLEONI, L. R. F. Prediction of the distribution coefficients of metals in Amazonian soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. V. 95, p. 212-220, 2013.

FADIGAS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C. dos. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiras. *Bragantia*, Campinas, v.62, n.02, p.151-159, 2002.

FADIGAS, F.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.; FREIXO, A.A.. Proposição de Valores de Referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande-PB, v.10, n.1, p.699-705, 2006a.

FADIGAS, F.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.; FREIXO, A.A. Estimation of reference values for cadmium, cobalt, chromium, copper, lead and zinc in brasilian soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.37, n.7, p.945-959, 2006b.

FADIGAS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; ANJOS, L.H.C.; MAZUR, N.

Background levels of some trace elements in weathered soils from the Brazilian Northern Region. *S Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v.67, n.1, p.53-59, January/February 2010.

FALESI, I. C. Solos da Rodovia Transamazônica. Boletim Técnico Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte (IPAN) Nº 55 julho 1972.

FEARNSIDE, P.M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazônica, Manaus*, v.36, p.395-400, 2006.

MARQUES, J.J.G.S.M., CURI, N., SCHULZE, D.G. Trace elements in Cerrado soils. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 103-142.

MOREIRA-NODERMANN, L.M. A Geoquímica e o meio ambiente. *Geochimica Brasiliensis*, v.1, n.1, p.89-107, 1987. Response. Washington, USA, Terceira edição.1986.

NÚÑEZ, J.E.V.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. & MAZUR, N. Sistema de preparo do solo e acúmulo de metais pesados no solo e na cultura do pimentão (*Capsun Annum* L.). *Ci. Rural*, 36:113-119, 2006.

PAYE, H.S; MELLO, J.W.V; ABRAHÃO, W.A.P; FILHO, E.I.F.; DIAS, L.C.P; CASTRO, M.L.O.; MELO, S.B.; FRANÇA, M.M. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no estado do Espírito Santo. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:2041-2051, 2010.

PAYE, H.S.; MELLO, J.W.V; MELO, S.B. Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* vol.36 no.3 Viçosa May/June 2012.

PERIS, M.; RECATALÁ, L.; MICÓ, C.; SÁNCHEZ, R. & SÁNCHEZ, J. Increasing the knowledge of heavy metal contents and sources in agricultural soils of the European Mediterranean region. *Water Air Soil Poll.*, 192:25-37, 2008.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

SANTOS, S.N. Valores de referência de metais pesados em solos de Mato Grosso e Rondônia. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SILVEIRA, M.L.A.; ALLEONI, L.R.F.; O'CONNOR, G.A. & CHANG, AC. Heavy metal sequential extraction methods - A modification for tropical soils. *Chemosphere*, Amsterdam, v.64, n.6, p.1929-1938, 2006

SOARES, M.R. Coeficiente de distribuição (Kd) de metais pesados em solos do Estado de São Paulo. 2004. 202p. (Tese de Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SOARES-FILHO, B.S.; NEPSTAD, D.C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G.C.; GARCIA, R.A.; RAMOS, C.A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; MCGRATH, D. Cenários de Desmatamento Para a Amazônia. *Estudos avançados* 19 (54), 2005.

ZHANG, X. P.; DENG, W.; YANGMAIS, X.M.; The background concentrations of 13 soil trace elements and their relationships to parent materials and vegetation in Xizang (Tibet), China. *Journal of Asian Earth Sciences* 21, 167-174. 2002.

## 2 TEOR NATURAL E VALORES DE REFERÊNCIA PARA METAIS PESADOS EM SOLOS DA REGIÃO TRANSAMAZÔNICA, PARÁ.

### 2.1 INTRODUÇÃO

A origem dos metais pesados no solo está associada a sua gênese, sendo provenientes de rochas e ocorrendo em baixos teores. Esse teor depende do material de origem, dos processos de formação e da composição e proporção dos componentes da sua fase sólida (CAMARGO et al., 2003; FADIGAS et al., 2006). São elementos persistentes no solo, pelo fato de não serem modificados ou degradados, facilitando assim seu acúmulo (BIONDI, 2010).

É possível observar ao longo da Rodovia Transamazônica o crescimento da atividade agropecuária, industrial e mineradora, além do cultivo de culturas como a pimenta-do-reino (*Piper nigrum*), cacau (*Theobroma cacao* L.) e da soja (*Glycine Max* L.), gerando assim também um crescimento urbano atrelado ao desmatamento, e consequentemente a poluição do solo por metais pesados, representando riscos à saúde humana e ao ambiente. A preocupação em relação à possível poluição ambiental na região Transamazônica também está ligada a construção de usinas hidrelétricas, como por exemplo, a de Belo Monte.

Segundo a legislação vigente, os órgãos devem estabelecer indicadores que possam servir como referência na avaliação dos impactos ambientais (CONAMA, 2009). Nesse caso são utilizados os Valores de Referência de Qualidade (VRQs), onde estes indicam a concentração natural de uma substância em solos que não tenham sido impactados antropogenicamente (SANTOS, 2011).

No Brasil apenas os estados de São Paulo e Minas Gerais possuem VRQ tabelados, sendo que outros estados como Rondônia, Mato Grosso, Espírito Santo, Pernambuco e Pará estão em fase final de definição. Desse modo a determinação dos VRQ em solos da região da Transamazônica vem a contribuir com os dados do cenário nacional, e mais, acrescentar aos dados que já vem sendo determinados do estado do Pará.

Os objetivos foram determinar os teores naturais dos metais alumínio (Al), cobre (Cu), níquel (Ni), ferro (Fe), cádmio (Cd), cobalto (Co), zinco (Zn), chumbo (Pb), manganês (Mn), cromo (Cr) e bário (Ba), correlacionar com atributos dos solos e estabelecer os valores de referência de qualidade para metais pesados em solos da região Transamazônica, Estado do Pará.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os solos estudados foram coletados ao longo da Rodovia Transamazônica, Estado do Pará (divisa com os estados do Tocantins e Amazonas), de forma a abranger diferentes classes de solos (Latosolos, Argissolos, Plintossolos, Nitossolos e Gleissolos), totalizando 45 áreas georeferenciadas (Figura 1). O Estado do Pará é caracterizado por apresentar relevo baixo e plano, clima equatorial e como vegetação predominante a Floresta Amazônica. As amostras foram coletadas em superfície (0,0-0,20m), sendo cada área composta por três pontos de coleta e cada ponto representado por dez amostras simples, totalizando assim 135 amostras compostas. Foi considerada uma distância de pelo menos 100 m das margens das estradas, BR ou vicinais, a fim de evitar qualquer interferência externa nas amostras, e uma distância de 80 m entre os pontos de coleta de cada área. As áreas escolhidas são de floresta nativa, com o mínimo de interferência antrópica ou reflorestada naturalmente a mais de 20 anos, a fim de evitar áreas com alguma contaminação.

Após secas ao ar e peneiradas (TFSA) foram realizadas as seguintes análises químicas: (a) pH em água e KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (1:2,5), (b) cálcio extraído com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e quantificado por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), (c) alumínio extraído com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e quantificado por titulação com solução NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>, (d) magnésio extraído com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e quantificado também por EAA, (e) fósforo disponível extraído por solução de Mehlich 1 e quantificado por colorimetria, (f) potássio extraído com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e quantificado por fotometria de chama e (g) matéria orgânica por colorimetria (RAIJ et al., 2001; CANTARELLA; QUAGGIO, 2001). A partir dos resultados obtidos foram



calculados os valores de soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) e as saturações por bases (V%) e por Al (m%). Para determinação das frações minerais do solo (granulometria) foi utilizado o método do densímetro (GEE; OR, 2002).

Ataque sulfúrico e alcalino, descrito pela Embrapa (EMBRAPA, 1997), foi utilizado para determinação dos teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{TiO}_2$ . Para o teor de ferro livre, expressos em %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , utilizou-se o extrator difionito-citrato-bicarbonato de sódio (CAMARGO et al., 1986), detalhado por Loeppert & Inskeep (1996). Os teores de Fe, Al e Mn mal cristalizados (óxidos amorfos) foram determinados a partir do oxalato de amônio e ácido oxálico, descrito por Camargo et al. (1986) e detalhado por Loeppert e Inskeep (1996) e por Bertsch e Bloom (1996). Os índices  $K_i$  e  $K_r$  foram calculados a partir desses valores, segundo Vettori (1969) (Tabela 1).

Os teores de metais foram extraídos com ácido nítrico concentrado, em forno microondas com controle de temperatura e pressão, segundo o método EPA 3051 (USEPA, 1998). Nesse método 0,5 g de solo, previamente passada em peneira de 100 mesh, é misturado a 10 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado e mantido em forno microondas por 4'30" a 175°C. Após o esfriamento a amostra é submetida a uma filtragem lenta, resultando em 25 ml de solução. Neste procedimento os metais ligados à fração de óxidos e outros minerais são liberados, porém aqueles ligados a fração silicatada não são solubilizados (RAIJ et al., 2001; ABREU; ABREU, 2001), podendo assim inferir que este método determina o teor pseudototal desses metais. A leitura foi realizada por EAA. Como forma de atestar a qualidade das análises, utilizaram-se amostras de referência certificada, a NIST SRM 2709 San Joaquin soil e também provas em branco (apenas com ácido).

Os valores obtidos foram avaliados pela análise descritiva, considerando a média, mediana, valores mínimos e máximos, e coeficiente de variação, sendo os valores de referência de qualidades (VRQ) extraídos do percentil 75 e 90, após eliminação dos valores anômalos, sugerido pelo Conama (2009). O programa estatístico utilizado foi o SPSS Statistics 17.0.

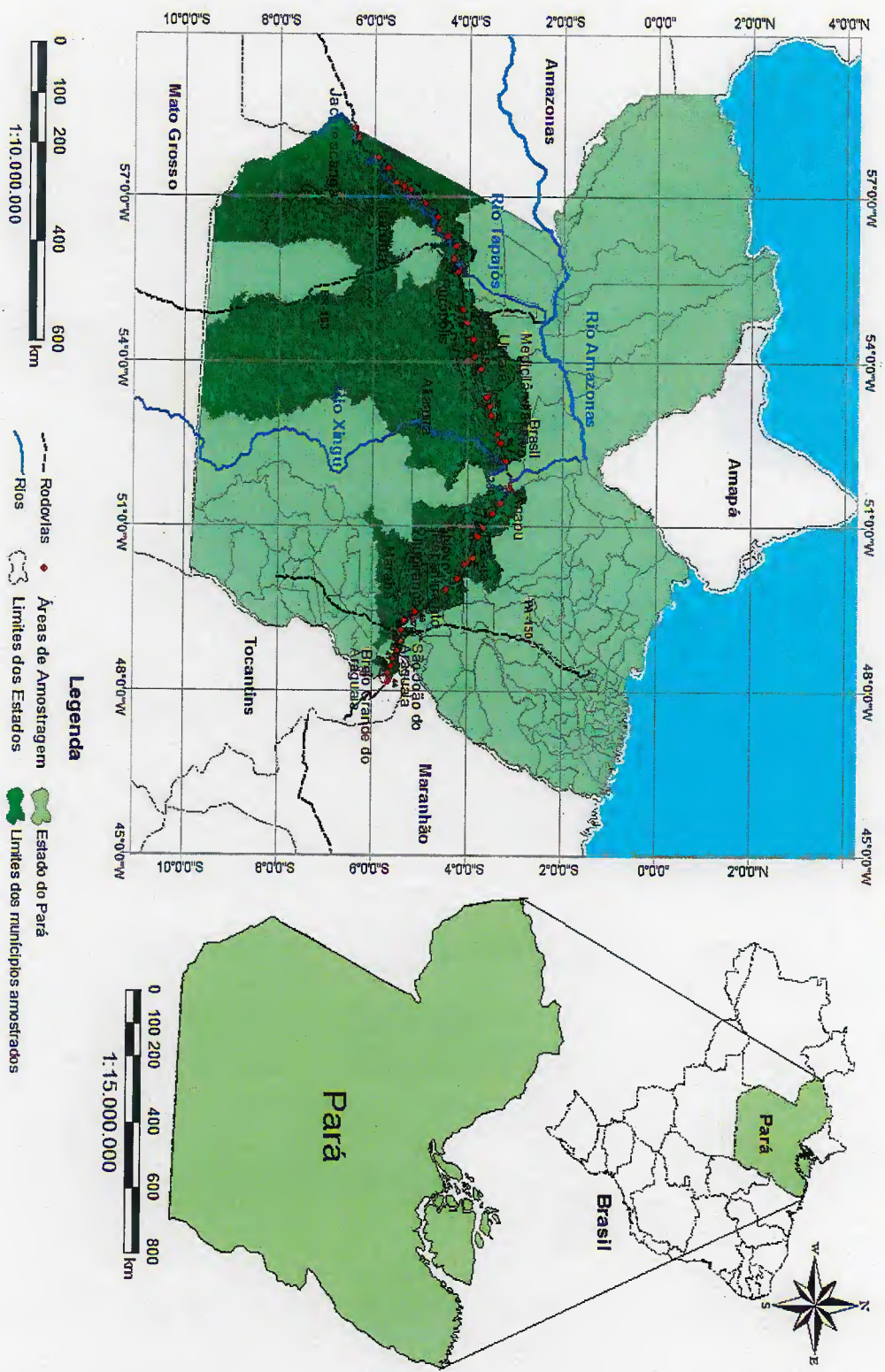


Figura 1 – Localização das áreas de coleta ao longo da rodovia Transamazônica, PA

**Tabela 1** – Estatística descritiva para os atributos físicos e químicos de solos da região Transamazônica, PA.

Variáveis	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV
pH H <sub>2</sub> O	4,2	4	3,5	6,1	0,6	14,8
pH KCl	3,6	3,5	2,9	5,3	0,5	12,9
ΔpH	-0,6	-0,5	-1,7	-0,1	0,4	61,2
MO (g kg <sup>-1</sup> )	10,2	9	4,0	29,4	5,3	52,3
P (mg kg <sup>-1</sup> )	7,7	7,1	1,2	27,4	3,7	47,9
K <sup>+</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	0,1	0,1	0	0,3	0	45,8
Ca <sup>2+</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	6,9	3,3	2,1	64,7	12,4	178,5
Mg <sup>2+</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	2,6	1,6	0,7	17,9	3,1	119,7
Al <sup>3+</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	14,3	12,6	0,1	40,9	10,6	74,1
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	54,8	50,2	20,8	179,3	28,3	51,6
Na <sup>+</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	0,03	0,03	0,01	0,08	0,01	50,33
SB (mmolc kg <sup>-1</sup> )	9,7	5,7	2,9	76,9	14,7	152,5
CTC pH 7	64,4	62,1	27,1	183,2	28,5	44,2
CTC ef	23,9	21,4	5	77	15	62,7
V (%)	14,8	9,1	2,1	73,7	15,2	102,6
m (%)	61,1	70,7	0,1	91,8	26,5	43,4
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	330,9	340,3	129,8	479,0	71,2	21,5
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	529,6	532,0	123,9	776,4	95,6	18,1
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	138,5	116,5	80,3	535,9	76,9	55,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> OXA <sup>1</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	2,50	2,00	0,62	12,46	1,91	76,46
MnO OXA (g kg <sup>-1</sup> )	0,80	0,57	0,14	4,71	0,81	101,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> OXA (g kg <sup>-1</sup> )	25,98	27,94	5,47	42,56	9,91	38,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> DCB <sup>2</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	25,21	17,04	1,14	119,10	22,67	89,92
SiO <sub>2</sub> AS <sup>3</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	114,00	99,00	7,00	300,00	68,06	59,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> AS (g kg <sup>-1</sup> )	127,22	112,66	29,57	261,52	59,97	47,14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> AS (g kg <sup>-1</sup> )	51,62	33,73	7,63	221,43	54,55	105,67
MnO AS (g kg <sup>-1</sup> )	4,72	3,10	0,40	24,29	4,83	102,15
TiO <sub>2</sub> AS (g kg <sup>-1</sup> )	0,22	0,09	0,01	1,29	0,31	142,54
Ki (g kg <sup>-1</sup> )	1,48	1,54	0,40	2,44	0,47	31,83
Kr (g kg <sup>-1</sup> )	1,18	1,22	0,33	1,79	0,38	32,40

<sup>1</sup>Oxalato de Amônio, <sup>2</sup> Ditionito Citrato Bicarbonato de Sódio, <sup>3</sup>Ataque Sulfúrico.

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando comparadas as taxas de recuperação determinada e lixiviada, obtiveram-se resultados próximos e satisfatórios. A recuperação determinada variou de 21 a 97% para os elementos Al e Cd, respectivamente, e para o lixiviado de 22 a 110% (Tabela 2). A comparação de resultado com o teor lixiviado, e não total, se deve ao fato que a NIST

utiliza na determinação a digestão com ácido fluorídrico (HF), que extrai o teor total dos metais, e neste estudo trabalha-se com teores pseudototais. Sendo assim, a comparação de elementos com base em teores pseudototais (Ex. 3051) com teores certificados totais não deve ser feita (BIONDI, 2010).

De um modo geral os teores naturais encontrados foram baixos (Tabela 3) quando comparados a outros já citados na literatura nacional (BURAK et al., 2010; SANTOS, 2010; Fadigas et al., 2010; MINEROPAR, 2005; CAIRES, 2009; PAYE, 2010; Bionde, 2010) e internacional (TUME et al., 2010; CHEN et al., 1991, SALOMEN; KORKKANENIEMI, 2007). Foi observado um coeficiente de variação bem elevado para a maioria dos elementos e isto ocorre devido as diferentes classes de solo abrangidas, uma vez que, como se trata de ambientes naturais, os teores de metais encontrados irão depender do material parental.

Foi encontrado para o Al o valor de 16299,19 mg kg<sup>-1</sup>, valor este bem diferente do encontrado por Burak et al. (2010), que ao trabalhar com 19 Latossolos no estado de Minas Gerais, obteve o valor de 100300,00 mg kg<sup>-1</sup>. Isto pode estar relacionado a gênese dos solos. Valor semelhante aos da Transamazônica foi observado para solos da Catalunha (Espanha), onde Tume et al. (2010) encontrou 22214,00 mg kg<sup>-1</sup> de Al, mesmo as duas áreas tendo características bem diferentes, como por exemplo o pH, que na Espanha se caracteriza como básico (7,3 a 8,9 pH).

**Tabela 2** – Teores médios recuperados dos metais para o material de referência Certificado NIST SRM 2709 San Joaquin soil.

Elemento	Teor Pseudototal (1)	Valor certificado <sup>(2)</sup>	Recuperação Determinada <sup>(3)</sup>	Recuperação por lixiviado <sup>(2)</sup>
		mg kg <sup>-1</sup>		%
Al	15421,16	73700,00 ± 1600,0	21	22
Cu	26,82	33,9 ± 0,5	79	81
Ni	62,68	85 ± 2	74	77
Fe	22095,29	33600,00 ± 700,00	66	70
Cd	0,36	0,371 ± 0,002	97	110
Co	10,34	12,8 ± 0,2	81	81
Zn	55,32	103 ± 4	54	77
Pb	8,23	17,3 ± 0,1	48	53
Mn	424,83	529 ± 18	80	79
Cr	50,89	130 ± 9	39	41
Ba	353,82	979 ± 28	36	39

<sup>(1)</sup> Teor médio dos metais contidos na amostra padrão de referência. <sup>(2)</sup> Valores tabelados da amostra padrão de referência. <sup>(3)</sup> % Recuperação = (valor recuperado/valor certificado) x 100.

Para o teor de Cu, no Brasil, resultado semelhante foi descrito para 19 solos, em ambiente natural, de Mato Grosso (MT) e Rondônia (RO) ( $16,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (SANTOS, 2012). Porém diferente teor para solos do mesmo estado citado por Fadigas et al. (2010) ( $1,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ), que desenvolveram um estudo em Latossolos e Argissolos Amarelos representativos do Estado do Pará e Amapá, em condições naturais de solo, utilizando como método de extração o água régia. Em outros países resultados semelhantes de Cu foram observados, na Irlanda de  $16,9 \text{ mg kg}^{-1}$  (SALOMEN; KORKKA-NIEMI, 2007) e na China e USA ( $20,00$  e  $17,00 \text{ mg kg}^{-1}$ ), citados por Chen et al. (1991) e Guilherme et al. (2005).

**Tabela 3** – Estatística descritiva dos teores naturais de metais pesados em solos na região Transamazônica, PA.

Elemento	Média	Médiana	CV
		$\text{mg kg}^{-1}$	%
Al	16299,19	14364,11	46,73
Cu	17,11	5,50	247,56
Ni	2,56	2,00	95,21
Fe	40951,02	19319,00	182,86
Cd	0,18	0,11	107,81
Co	3,30	0,83	247,28
Zn	12,24	8,49	97,40
Pb	14,56	13,97	45,63
Mn	141,25	49,75	227,45
Cr	8,07	4,95	118,22
Ba	69,12	48,60	128,39

Em relação ao Ni e Pb, solos de MT e RO também se assemelharam Ni ( $1,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e Pb ( $15,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Em solos dos Estados Unidos (EUA), citados por Chen et al. (1991) e Guilherme et al. (2005), também observa-se baixo teor de Pb ( $16,00 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Os baixos teores de Ni, como no caso do Co, foram devidos à pobreza em metais pesados nos materiais geológicos da região (rochas Pré-Cambrianas classificadas, em sua maioria como gnaisses ácidos) (SANTOS, 2010).

O Fe é quarto elemento mais abundante nas rochas da litosfera (MALAVOLTA, 2006), e aparece com um teor médio de  $40951,02 \text{ mg kg}^{-1}$ , superior ao teor encontrado em solos da Espanha ( $37400,00 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (CANCELA; ABREU; GONZÁLEZ, 2004),

porém três vezes maior que o encontrado por Fadigas et. al. (2010) ( $10100,00 \text{ mg kg}^{-1}$ ) para alguns solos do Pará e Amapá, porém, Fadigas et. al. (2010) utilizou-se de outro método de extração (água-régia).

O Cd é um elemento que naturalmente ocorre em pouca quantidade no solo, sendo seu teor total médio na crosta terrestre de aproximadamente  $0,15 \text{ mg kg}^{-1}$  (BOWEN, 1979; HEINRICHS et al., 1980) e nos solos de  $0,06 \text{ mg kg}^{-1}$  (EPA, 1992). O teor de Cd se assemelhou apenas ao encontrado em solos do Paraná ( $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (MINEROPAR, 2005) e para solos chineses ( $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) citados por Chen ta al. (1991) e Guilherme et al. (2005). O maior teor de Cd verificado na literatura foi de  $1,6 \text{ mg kg}^{-1}$  para solos dos EUA citados por Chen ta al. (1991) e Guilherme et al. (2005), afirmando assim seu baixo teor natural em solos.

O teor total médio de Co no solo varia de  $10-15 \text{ mg kg}^{-1}$ , sendo este conteúdo proveniente da rocha mãe (MALAVOLTA, 2006). O encontrado para os solos deste estudo foi de  $3,30 \text{ mg kg}^{-1}$ . Os valores médios obtidos para Co foram duas vezes maior que o citado por Fadigas et al. (2010) ( $1,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ), para 40 solos da região Norte em condições naturais.

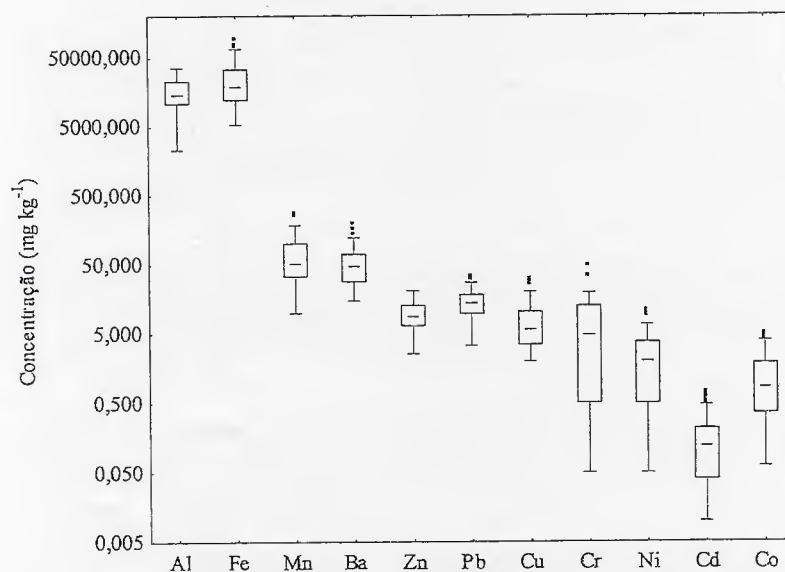
O teor total de Zn no solo depende grandemente do material de origem (KIEKENS, 1993), sendo que os principais minerais do solo que o contém são a smithsonita ( $\text{ZnCO}_3$ ), esfarelita ( $\text{ZnS}$ ) e hemimorphita ( $\text{Zn(OH)2SiO}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Na literatura nacional apenas em Minas Gerais o teor foi semelhante ao encontrado no Pará ( $13,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (CAIRES, 2009). Em outras localidades estudadas os teores foram ligeiramente maiores, como  $75,2 \text{ mg kg}^{-1}$  no Paraná (MINEROPAR, 2005), e  $22,6 \text{ mg kg}^{-1}$  no Espírito Santo (PAYE, 2010). Na literatura, os solos internacionais apresentaram valores maiores (Tume et al., 2010, CHEN et al., 1991, GUILHERME et al., 2005, SALOMEN; KORKKA-NIEMI, 2007).

O Mn é um elemento que se origina em maior quantidade em solos derivados de rochas ígneas e metamórficas, formando grande quantidade de óxidos e hidróxidos no solo. Com valor médio de  $131,69 \text{ mg kg}^{-1}$  em solos do Espírito Santo (PAYE, 2010), este foi o resultado que mais se aproximou ao encontrado. Em solos da região Norte, Fadigas et al. (2010) encontrou valor médio inferior, sendo de  $49,00 \text{ mg kg}^{-1}$ . Para todos os trabalhos estudados a fim de comparação, já citados, o valor médio de Cr ( $8,07 \text{ mg kg}^{-1}$ ) se manteve inferior. Para o Ba, Bionde (2010) fez um estudo no estado

de Pernambuco, dividindo em três áreas, Zona da Mata, Sertão e Agreste, encontrando os valores respectivos 129,2, 111,32 e 52,83 mg kg<sup>-1</sup>, valores estes diferentes ao encontrado para solos da Transamazônica (69,12 mg kg<sup>-1</sup>). Mesmo diferente, o valor de Ba está dentro da variação dada em solos do mundo (20-3000 mg kg<sup>-1</sup>) reportada por Kabata-Pendias & Pendias (2001).

Os teores médios naturais de metais pesados para solos da Rodovia Transamazônica seguiram a seguinte ordem crescente: Cd, Ni, Co, Cr, Zn, Pb, Cu, Ba, Mn, Al e Fe. Como há uma diversidade na quantidade de metais estudados, não teve uma região brasileira específica que a maioria pudesse se assemelhar, porém resultados semelhantes puderam ser isolados e comparados. Isto vem como forma de afirmar a necessidade de estudos sobre metais pesados nas diversas regiões do Brasil, pois seus teores se confirmam diferente com a localidade, clima, grau de intemperismo e classe de solo (material de origem).

Ao analisar o conjunto de dados para cada substância (Figura 2), a fim de identificar os valores discrepantes, e assim obter os VRQ, foi observada a presença de outliers para os metais Cu (n=12), Fe (n=15), Cd (n=9), Co (n=9), Zn (n=9), Pb (n=3), Mn(n=18), Cr (n=3) e Ba (n=18).



**Figura 2** – Gráfico tipo Box-Plot dos teores naturais de metais pesados em solos da região Transamazônica, PA.

Para os VRQ obtidos (Tabela 4), independente do percentil utilizado (75 ou 90%), apenas o Pb apresentou valor maior que os reportados para VRQ estabelecido pela legislação brasileira (CONAMA, 2009), que é de  $17 \text{ mg kg}^{-1}$ , mesmo assim foi bem menor que o valor de prevenção (VP) ( $72 \text{ mg kg}^{-1}$ ), que representa a concentração limite da substância no solo, não representando risco, apenas necessidade de monitoramento.

Ao observar os valores de acordo com o percentil, é notória a diferença entre eles. Para os metais Ni e Co o valor praticamente dobra no P90, e é mais que o dobro para o Cd. Isso pode trazer desvantagens para o gerenciamento por parte dos órgãos ambientais, devido a valores mais elevados, aumentando assim o número de casos de solos suspeitos de contaminação (PAYE, 2010).

SANTOS (2010) obteve valor de Pb ( $23,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ) semelhante aos encontrado para solos da Transamazônica,  $22,58 \text{ mg kg}^{-1}$ . Já o valor de Fe se assemelha aquele para solos franceses, onde Sterckeman et al. (2006) cita o valor de  $30.100 \text{ mg kg}^{-1}$ . Sterckeman et al. (2006) mostram ainda que há uma relação linear entre o conteúdo de Fe e Al, explicada pelo material que dá origem a este solo.

Em um trabalho já realizado no estado do Pará, afim de iniciar a determinação dos valores de referência, Alleoni, Fernandes e Santos (2013) determinaram os teores de quatorze metais pelos métodos 3051 e água régia em alguns municípios de maior índice populacional e de forma a representar o estado. Apesar de comporem solos do mesmo estado, os resultados foram bem diferentes aos citados para solos ao longo da rodovia Transamazônica. Resultado semelhante foi observado apenas para os metais Cu ( $15,70 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Ni ( $3,30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e Cr ( $16,40 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Os VRQ de metais pesados obtidos pelo método EPA 3051 em solos da Rodovia Transamazônica, estado do Pará, mostraram-se divergentes quando comparados com VRQ já citados no Pará e em outros estados brasileiros, em sua maioria inferior a estes outros valores. Reafirmando assim a necessidade da obtenção de VRQ para cada estado do Brasil, devido a sua grande diversidade de solos.

Os metais Pb e Ba não se correlacionaram com nenhum outro (Tabela 5). O Fe mostrou afinidade apenas com o Ni, onde resultado semelhante foi descrito em solos do estado de Pernambuco por Bionde (2010) ( $r=0,43$ ). O Al se correlacionou, inversamente, apenas com o Cd ( $r=-0,37$ ).



Tabela 4 – Valores de Referência de Qualidade para solos da região Transamazônica, PA.

Elemento	Nº Solos	LQ <sup>1</sup>	Mínimo	Máximo	P75	P90
				mg kg <sup>-1</sup>		
Al	135	1,96	2279,41	35485,61	22679,13	27122,52
Cu	123	0,02	2,00	30,94	8,63	14,50
Ni	135	0,00097	0,05	10,70	3,78	6,13
Fe	120	0,83	5350,00	67836,43	29536,13	38377,50
Cd	126	0,00078	0,01	0,56	0,19	0,41
Co	75	0,00042	0,06	4,59	1,27	2,92
Zn	126	0,024	2,57	21,05	12,07	16,33
Pb	135	0,06	3,35	34,52	18,12	22,58
Mn	117	0,15	9,90	185,50	75,49	107,63
Cr	132	0,00032	0,05	34,50	12,35	17,20
Ba	117	0,0093	14,98	121,47	62,04	73,75

1- Limite de quantificação, que é a menor concentração do metal que pode ser determinada com precisão.

O Zn apresentou correlação positiva com o Cu, Ni, Co e Mn, assemelhando-se aos resultados citados por Bionde (2010). As correlações positivas e significativas sugerem um comportamento geoquímico semelhante e/ou comum ao material de origem desses elementos (BURAK, et al., 2010).

Tabela 5 - Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,05$ ) realçados em negrito, entre os teores naturais de metais pesados dos solos da região Transamazônica, PA.

	Al	Cu	Ni	Fe	Cd	Co	Zn	Pb	Mn	Cr	Ba
Al	1,00										
Cu	0,00	1,00									
Ni	-0,07	<b>0,30</b>	1,00								
Fe	-0,11	-0,03	<b>0,34</b>	1,00							
Cd	<b>-0,37</b>	-0,21	0,16	0,04	1,00						
Co	-0,06	<b>0,89</b>	0,29	-0,08	-0,17	1,00					
Zn	-0,10	<b>0,69</b>	<b>0,60</b>	-0,06	-0,04	<b>0,69</b>	1,00				
Pb	-0,21	0,02	-0,11	0,02	0,00	0,10	0,15	1,00			
Mn	-0,06	<b>0,96</b>	0,29	-0,02	-0,23	<b>0,91</b>	<b>0,70</b>	0,10	1,00		
Cr	0,18	0,05	<b>0,38</b>	0,15	-0,16	-0,09	0,04	-0,14	-0,08	1,00	
Ba	-0,17	0,00	-0,17	-0,12	0,06	0,07	-0,03	0,11	0,04	-0,09	1,00

É observada na Tabela 6 a correlação do pH com os metais Al, Cu, Ni, Co, Zn e Mn, onde o pH exerce forte influência na dinâmica de íons metálicos catiônicos como o Cu, Ni, Co, Zn e Mn, tornando esses metais mais móveis em condições de pH baixo

(RIEUWERTS et al., 2006), ou seja, maior acidez, como é o caso dos solos estudados, que apresenta média de  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  de 4,2 (Tabela 1).

A matéria orgânica se correlacionou com os metais Cd, Zn e Pb, explicada pela sua grande afinidade com metais pesados (CAMPOS, 2010).

Dentre os óxidos, os de Fe e Mn foram os que se correlacionaram com maior quantidade de metais, onde estes são os óxidos que mais interferem no comportamento dos metais pesados (KABATA-PENDIAS, 2001), e atuam também como controladores da mobilidade de metais em solos de clima tropical (ALLEONI et al., 2005).

**Tabela 6** - Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,05$ ) realizados em negrito, entre os teores naturais de metais pesados e atributos dos solos da região Transamazônica, PA.

	Al	Cu	Ni	Fe	Cd	Co	Zn	Pb	Mn	Cr	Ba
MO	0,23	0,25	-0,03	-0,19	<b>-0,32</b>	0,11	<b>0,30</b>	<b>-0,31</b>	0,19	0,05	-0,26
CTC	0,21	<b>0,55</b>	0,01	-0,19	<b>-0,32</b>	<b>0,44</b>	<b>0,49</b>	-0,03	<b>0,44</b>	0,11	-0,08
pH	<b>-0,51</b>	<b>0,44</b>	<b>0,56</b>	0,29	0,13	<b>0,49</b>	<b>0,64</b>	-0,03	<b>0,48</b>	-0,04	-0,06
$\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{DCB}}^1$	-0,21	0,09	0,11	-0,08	0,24	0,09	0,10	-0,10	0,09	0,09	-0,11
$\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{OXA}}^2$	0,08	-0,15	-0,06	-0,04	-0,07	-0,16	-0,08	<b>-0,47</b>	-0,16	0,01	<b>-0,30</b>
$\text{MnO}_{\text{OXA}}$	0,06	<b>0,80</b>	<b>0,44</b>	-0,02	-0,25	<b>0,80</b>	<b>0,58</b>	0,04	<b>0,87</b>	0,01	0,00
$\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{OXA}}$	<b>0,63</b>	0,06	-0,10	-0,17	-0,19	-0,11	-0,11	-0,21	-0,02	0,14	-0,15
$\text{SiO}_2_{\text{AS}}^3$	<b>0,65</b>	0,22	-0,11	-0,15	-0,28	0,10	0,07	-0,17	0,13	0,04	-0,19
$\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{AS}}$	<b>0,77</b>	0,12	-0,08	-0,18	<b>-0,38</b>	0,00	-0,03	<b>-0,30</b>	0,03	0,23	-0,19
$\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{AS}}$	0,26	<b>0,64</b>	0,17	0,04	<b>-0,35</b>	<b>0,44</b>	<b>0,33</b>	0,02	<b>0,56</b>	0,24	-0,11
$\text{MnO}_{\text{AS}}$	0,14	<b>0,60</b>	<b>0,42</b>	0,00	<b>-0,32</b>	<b>0,56</b>	<b>0,54</b>	0,12	<b>0,67</b>	0,06	0,01
$\text{TiO}_2_{\text{AS}}$	0,04	0,14	0,07	0,00	-0,25	0,02	0,02	-0,08	0,20	0,00	-0,04
Argila	0,02	0,06	-0,18	-0,05	-0,11	0,05	-0,06	-0,04	0,05	0,16	<b>0,40</b>

<sup>1</sup>Oxalato de Amônio, <sup>2</sup>Ditionito Citrato Bicarbonato de Sódio, <sup>3</sup>Ataque Sulfúrico

## 2.4 CONCLUSÕES

Os teores naturais médios dos metais pesados Al, Cu, Ni, Fe, Cd, Co, Zn, Pb, Mn, Cr e Ba para solos ao longo da Rodovia Transamazônica são comparativamente baixos, uma vez que representam solos em ambientes naturais.

Os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) para solos da Rodovia Transamazônica são os seguintes para o percentil 75 (quartil superior): Al (22679,13), Cu (8,63), Ni (3,78), Fe (29536,13), Cd (0,19), Co (1,27), Zn (12,07), Pb (18,12), Mn

(75,49), Cr (12,35) e Ba (62,04), em  $\text{mg kg}^{-1}$ .

Quando comparados a valores do mesmo estado e outros solos brasileiros os VRQ para solos da Rodovia Transamazônica mostraram-se em sua maioria divergentes, variando a cada elemento estudado, podendo assim confirmar a importância do estudo por estado do Brasil, de acordo com suas características próprias para um monitoramento mais preciso em áreas passíveis de risco, além da importância da divisão do estado do Pará em microrregiões.

## REFERÊNCIAS

ABREU, M. F. de; ABREU, C. A. Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco, níquel, cádmio, cromo e chumbo em ácido nítrico usando métodos da US-EPA. In: van Raij, B.; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. cap.17, p. 251-261.

ALLEONI, L.R. F.; IGLESIAS, C.S.M.; MELLO, S.C.; CAMARGO, O.A.; CASAGRANDE, J.C.; LAVORENTI, N.A. Atributos do solo relacionados a adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. *Acta Scientiarum Agronomy*. v.27, n.4, p.729-737, 2005.

ALLEONI, L.R.F.; FERNANDES, A.R.; SANTOS, S.N. Solos contaminados no Brasil o desafio de definir valores de referência. *Boletim Informativo da SBCS*. V 38, Janeiro-Abril, p 19, 2013.

BERTSCH, P.M.; BLOOM, P.R. Aluminum. In: BIGHAM, J.M. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1996. cap.18, pt 3. p. 517-550.

BIONDI, C.M. Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do Estado de Pernambuco. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

BOWEN, H.J.M. *Environmental chemistry of the elements*. London; Academic Press, 1979. 176p.

BURAK, D.L; FONTES, MPF; SANTOS, N.T.; MONTEIRO, LVS; MARTINS, E.S.M; BECQUER, T. Geochemistry and spatial distribution of heavy metals in Oxisols in a mineralized region of the Brazilian Central Plateau. *Geoderma* 160, 2010. 131-142.

CAIRES, S.M. Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento de valores de referência de qualidade. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

CAMARGO, O.A.; BORBA, R.P.; ALLEONI, L.R.F. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29: CD-ROM. (Abstr.) 2003.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, 1986. 94p. (IAC, Boletim Técnico, 106).

CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. *Ambiência*. Guarapuava (PR), V.6, n.3, p.547 – 565. Set./Dez. 2010.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Determinação da matéria orgânica. In: van Raij, B.; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. cap.9, p. 173-180.

CANCELA, R.C.; ABREU, C.A. ; GONZÁLEZ, A. P . Heavy metal reference limit values proposol obtained from natural soils from the region of Galicia, Spain. *Papers of Eurosoil*, Freiburg, v. 1, p. 1-6, 2004.

CHEN, J.; WEI, F.; ZHENG, C.; WU, Y.; ADRIAN, D.C. Background concentrations of elements in soils of China. *Water Air Soil Pollution*, New York, v. 57-58, p. 699-712, 1991.

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 em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, 2009, publicada no Diário Oficial da União de 30 de Dezembro de 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 25 junho.2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.

FADIGAS, F.S.; SOBRINHO, N.M.B.A.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C. ;FREIXO, A.A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.10, p.699-705, 2006.

FADIGAS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; ANJOS, L.H.C.; MAZUR, N. Background levels of some trace elements in weathered soils from the Brazilian Northern Region. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), v.67, n.1, p.53-59, January/February 2010.

GEE, G.W.; OR, D. Particle-size analysis. In : DANE, J.H.; TOOP, G.C. (Ed.). Methods of soil analysis: physical methods. Soil Science Society of America, Madison, p. 255-293, 2002. (Book Series, 5).

GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; PIERANGELI, M.A.P.; ZULIANI, D.Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa, v.4. p.345-390, 2005.

HEINRICHS, H.; SCHULTZ-DOBRICK, B.; WEDEPOHL, K.H. Terrestrial geochemistry of CD, BI, TL, PB, ZN and RB. Geochimica et Cosmochimica Acta, London v.44, p. 1519-1532, 1980.

KABATA-PENDIAS, A. PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants – 3<sup>a</sup> ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2001. 315p.

KIEKENS, L. 1993. Zinc. Em: Heavy Metals in Soil. P 261-278. B.J. Alloway, ed Blackie & John Wiley & Sons, Inc. Glasgow. 338p.

LOEPPERT, R.L.; INSKEEP, W.P. Iron. In: BIGHAM, J.M. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1996. cap.24, pt.3. p. 639-664.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Editora Agronômica Ceres. São Paulo-SP; 262p, 2006

MINERAIS DO PARANÁ S.A. - MINEROPAR. Geoquímica de solo - Horizonte B. In: Levantamento Geoquímico Multielementar do Estado do Paraná. Curitiba, PR, Mineropar, 2005. v.2p. 407p.

PAYE, H.S; MELLO, J.W.V; ABRAHÃO, W.A.P; FILHO, E.I.F.; DIAS, L.C.P; CASTRO, M.L.O.; MELO, S.B.; FRANÇA, M.M. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no estado do Espírito Santo. R. Bras. Ci. Solo, 34:2041-2051, 2010.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RIEUWERTS J. S.; ASHNORE, M. R.; FARAGO, M. E.; THORNTON, I. The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils.

Science of the total Environment, v.366, p.64–875, 2006.

SALONEM, V-P; KORKKA-NIEMI, K. Influence of parent sediments on the concentration of heavy metals in urban and suburban soils in Turku, Finland. *Applied Geochemistry*, Salt Lake, v. 22, p. 906-918, 2007.

SANTOS, S.N. Valores de referência de metais pesados em solos de Mato Grosso e Rondônia. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SANTOS, S.N.; ALLEONI, L.R.F. Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia. *Environmental Monitoring and Assessment*. v 185, p 5737-5748, 2013.

STERCKEMAN, T.; DOUAY, F.; BAIZE, D.; FOURRIER, H.; PROIX, N.; SCHVARTZ, C.; CARIGNAN, J., 2006. Trace element distribution in soils developed in loess deposits from Northern France. *European Journal of Soil Science* 57, 392 –410.

TUME, P.; BECH, J.; REVERTER, F; BECH, J.; LONGAN, L.; TUME, L.; SEPÚLVEDA, B. Concentration and distribution of twelve metals in Central Catalonia surface soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 2010.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Batch-type Procedures for Estimating Soil Adsorption of Chemicals. Washington, Technical Resource Document, EPA/530-SW-87-006-F, 1992. 99p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- USEPA. Method 3051 A: Micro-wave assisted acid digestion of sediments sludges, soils and oils. In: Sw-846: Test methods for evaluation solid waste physical and chemical methods. Washington, Office of Solid Waste, US. Environmental Protection Agency, 1998. p.1-20.

VETTORI, L. Métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (boletim técnico, 7).



**ANEXO**

Anexo A - Valores de referência de metais pesados em solos brasileiros proposto por diversos autores, obtidos por diferentes métodos.

Local - Percentil	Al	Cu	Ni	Fe	Cd	Co	Zn	Pb	Mn	Cr	Ba
PA-75 <sup>1A</sup>	22679,13	8,63	3,78	29536,13	0,19	1,27	12,07	18,12	75,49	12,35	62,04
PA-90 <sup>1A</sup>	27122,52	14,5	6,13	38377,50	0,41	2,92	16,33	22,58	107,63	17,20	73,75
MT/RO-75 <sup>2A</sup>	-	20,60	2,10	-	<0,30 <sup>5</sup>	21,30	3,00	9,00	-	44,80	-
MT/RO-90 <sup>2A</sup>	-	25,90	3,20	-	<0,30 <sup>5</sup>	23,00	9,30	12,70	-	59,10	-
MT/RO-75 <sup>2B</sup>	-	24,70	10,30	-	<0,30 <sup>5</sup>	15,00	20,10	18,10	-	55,50	-
MT/RO-90 <sup>2B</sup>	-	31,70	12,50	-	<0,30 <sup>5</sup>	21,09	39,80	23,20	-	68,20	-
PA-75 <sup>3A</sup>	5000,00	0,60	1,50	6400,00	0,30	-	7,50	4,50	102,70	16,40	17,90
PA-90 <sup>3A</sup>	7400,00	15,70	5,20	7800,00	0,60	-	21,00	6,40	226,50	35,80	36,00
PA-75 <sup>3B</sup>	9500,00	6,10	3,30	6500,00	0,40	-	12,00	4,00	42,80	15,60	17,30
PA-90 <sup>3B</sup>	14600,00	17,60	4,90	10700,00	0,70	-	19,70	6,10	84,50	22,00	38,20
SP-75 <sup>4C</sup>	-	35,00	13,00	-	<0,50 <sup>5</sup>	-	60,0	17,00	-	40,00	-
ES-75 <sup>5D</sup>	-	5,90	9,20	-	<0,10 <sup>5</sup>	-	29,90	<4,50	137,80	54,10	-
ES-90 <sup>5D</sup>	-	10,80	17,20	-	<0,10 <sup>5</sup>	-	49,30	8,90	253,00	68,80	-

<sup>1</sup>Resultado apresentado no presente estudo; <sup>2</sup>Santos e Alleoni (2013); <sup>3</sup>Alleoni, Fernandes e Santos (2013); <sup>4</sup>Cetesb (2005); <sup>5</sup>Paye et al. (2010);

<sup>A</sup>EPA3051; <sup>B</sup>Água régia; <sup>C</sup>EPA3050; <sup>D</sup>EPA3052.

Os artigos originais devem ser encaminhados completos e revistos. Devem ser redigidos no espaço entre linhas 1,5 (exceto Tabelas e Figuras, que devem ser simples), fonte Times New Roman tamanho 12 e folha branca formato A4 (21,0 X 29,7 cm) com margens de três cm. Páginas numeradas sequencialmente em algarismos arábicos, não excedendo a 20, incluindo Tabelas e Figuras (inclusive para artigos de revisão), estas devem ser inseridas no texto, logo após à sua primeira citação. As páginas devem apresentar linhas numeradas (a numeração é feita da seguinte forma: menu arquivo/configurar página/layout/números de linha.../numerar linhas).

Citações no texto: no corpo do texto devem ser feitas da seguinte forma: com dois autores: Reis e Fernandes (2009); até três autores cita-se: Reis, Fernandes e Grimaldi (2009). Quando existirem mais de três autores, utilizar a forma reduzida: Reis et al. (2009). As citações indiretas devem vir entre parênteses e separadas por ponto e vírgula, em ordem cronológica (REIS; FERNANDES; GRIMALDI, 2009) até dois autores (REIS; FERNANDES, 2009) ou quando for mais de três autores (REIS et al., 2009).

Tabela: As tabelas deverão ser numeradas com algarismos arábicos, sempre providos de um título claro e conciso e construídos de modo a serem autoexplicativos. Não usar linhas verticais. Linhas horizontais devem aparecer para separar o título do cabeçalho e este do conteúdo, além de uma ao final, na base da tabela. A tabela deve ser editada em arquivo Word (MICROSOFT WORD/TABELA/INSERIR TABELA). Cada valor deve ser digitado em células distintas, estando centralizado e alinhado. As tabelas devem ser dimensionadas da seguinte forma: largura de uma coluna (8 cm) ou de uma página (17 cm).

Figura: As figuras deverão ser preparadas, utilizando-se "Softwares" compatíveis com "Microsoft Windows" ("Excel", "Power Point", "Sigma Plot", etc.). As Figuras devem ser dimensionadas da seguinte forma: largura de uma coluna (8 cm) ou de uma página 17 cm. Para fotos e mapas coloridos utilizar resolução de 150 a 300 DPI. Não serão aceitas Figuras que repitam informações de Tabelas. Fotos coloridas, quando imprescindíveis, a critério da Equipe Editorial serão, também, aceitas. Não utilizar linha de borda na área de plotagem e nem na área do gráfico (Figura). Nos gráficos, as designações das variáveis dos eixos X e Y devem ter iniciais maiúsculas, seguidas das unidades entre parênteses. Figuras não-originais devem conter, após o título, a fonte de onde foram extraídas.

Uso de unidades: Nos exemplos seguintes o formato correto é o que se encontra no lado direito da igualdade: 10 horas = 10 h; 32 minutos = 32 min; 5 l (litros) = 5 L; 45 ml = 45 mL;  $l/s = L s^{-1}$ ;  $27^{\circ}C = 27^{\circ}C$ ;  $0,14 m^3/min/m = 0,14 m^3 min^{-1}m^{-1}$ ; 100 g de peso/ave = 100 g de peso por ave; g por planta = g/planta; 2 toneladas = 2 t; mm/dia = mm d<sup>-1</sup>;  $2 \times 3 = 2 \times 3$  (deve ser separado);  $45,2 - 61,5 = 45,2-61,5$  (deve ser junto). A % é unidade que deve estar junta ao número (45%). Quando no texto existirem valores numéricos seguidos, colocar a unidade somente no último valor (Ex.: 20 e 40 m; 56,0, 82,5 e 90,2%). Quando for pertinente, deixar os valores numéricos com no máximo duas casas decimais. As grandezas devem ser expressas no SI (Sistema Internacional) e a terminologia científica deve seguir as convenções internacionais de cada área em questão;

Todas as letras de uma sigla devem ser maiúsculas; já o nome por extenso de uma instituição deve ter maiúsculo apenas a primeira letra de cada nome.

#### TIPOS E ESTRUTURA DE PUBLICAÇÕES ACEITAS:

Artigos científicos: devem ser divididos nas seguintes seções: Título em português, Autoria, Resumo, Palavras-chave, Título em inglês, Abstract, Keywords, Introdução, Material e Métodos, Resultados e Discussão (ou a combinação destes), Conclusões, Agradecimentos (opcional) e Referências. Quando publicados em Inglês devem apresentar título, resumo e palavras-chave em português. Os títulos de cada seção devem ser numerados sequencialmente (à exceção do tópico referências). Não são aceitos subtítulos.

Artigos de revisão: devem conter: Título em português, Autoria, Resumo, Palavras-chave, Título em inglês, Abstract, Keywords, Introdução, Desenvolvimento, Considerações finais, Agradecimentos (opcional) e Referências. Os títulos de cada seção devem ser numerados sequencialmente (à exceção do tópico referências), digitados em negrito e em letra maiúscula, e justificados à esquerda.

Notas Científicas/Técnicas: Deve ser compactas, com no máximo dez páginas. As normas de para elaboração são as mesmas do Artigo Científico, exceto nos seguintes casos: Resumo com 150 palavras, 10 páginas e 15 referências, no máximo. Quando a Nota for redigida em português deve conter um “Abstract” e quando redigida em inglês deve conter um “Resumo”.

Título: Deve ser conciso e indicar o conteúdo do trabalho. Em português (negrito) e em inglês (itálico), digitados somente com a primeira letra da sentença em maiúscula e centralizados. Deve ser iniciado com palavras chaves e não com palavras como “efeito” ou “influência” ou avaliação. Não deve conter nome científico, exceto de espécies pouco conhecidas; neste caso, apresentar somente o nome binário. Não deve ultrapassar 15 palavras.

Autores: o nome dos autores deve ser escrito por completo: Antonio Rodrigues Fernandes. O nome dos autores deve ser removido do arquivo do manuscrito. Os nomes dos autores, Instituição e endereço devem ser colocados durante o cadastramento.

Resumo e Abstract: Devem conter no máximo 250 palavras cada, em um só parágrafo. Não repetir o título. Cada frase deve ser uma informação e não apresentar citações. Deve se iniciar com uma breve frase introdutória, que justifique o trabalho, seguido dos objetivos, o que foi feito e estudado, os resultados mais importantes e conclusões. Toda e qualquer sigla deve vir precedida da explicação por extenso.

Palavras-chave e Keywords: No mínimo três e máximo cinco, devem vir em ordem alfabética, separadas por vírgulas, sem ponto final, com informações que permitam a compreensão e a indexação do trabalho. Não são aceitas palavras-chave que já constem do título.

1 Introdução: Explicação de forma clara e objetiva do problema investigado, ou as hipóteses do trabalho, sua pertinência, relevância, citação de referências específicas, visando estabelecer relação com trabalhos publicados sobre o assunto. Ao final, os objetivos do trabalho, como último parágrafo. Não deve ultrapassar duas páginas.

2 Material e Métodos: Devem apresentar seqüência lógica: descrição do local, do período de realização da pesquisa, delineamento experimental e tratamentos; os tratamentos e variáveis devem ser bem detalhados, porém evitando o uso de abreviações ou siglas; materiais e técnicas utilizadas; e análise estatística utilizada, bem como as transformações dos dados. Técnicas e procedimentos de rotina devem ser apenas referenciados. As informações devem ser suficientes à repetição do trabalho por outros pesquisadores.

3 Resultados e Discussão: Os resultados podem ser apresentados como um elemento do texto ou juntamente com a discussão. Interpretar os resultados do trabalho de forma consistente e evitar comparações desnecessárias, ou seja, as novas descobertas devem ser confrontadas com o conhecimento já obtido. Comparações, quando pertinentes, devem ser discutidas e feitas de forma a facilitar a compreensão do leitor. Todos os dados apresentados em tabelas ou figuras e, somente estes, devem ser discutidos, mas não devem ser repetidos no texto. Evitar o uso de nomes de variáveis e tratamentos abreviados.

4 Conclusões: As conclusões são obrigatórias e podem ser apresentadas ao final da discussão ou como item independente. Devem ser apresentadas em frases curtas, sem comentários adicionais, com o verbo no presente do indicativo. Não devem ser repetição dos resultados e devem responder aos objetivos expressos no artigo. Não podem consistir no resumo dos resultados. Devem apresentar as novas descobertas da pesquisa.

Desenvolvimento: Exclusivo para artigos de revisão. Deve ser escrita de forma crítica, apresentando a evolução do conhecimento, as lacunas existentes e o estado atual da arte com base no referencial teórico disponível na literatura coligida.

Agradecimentos: incluem instituições que de alguma forma possibilitaram a realização da pesquisa e/ou pessoas que colaboraram com o estudo, mas que não preencheram os critérios para serem co-autores.

Referências: Devem ser relacionadas em ordem alfabética pelo sobrenome e contemplar todas aquelas citadas no texto. Digitá-las em espaço simples, com alinhamento justificado. O recurso tipográfico utilizado para destacar o elemento título será itálico. O artigo deve ter no máximo 25 citações bibliográficas, sendo a maioria em periódicos recentes (últimos cinco anos). São adotadas as normas ABNT-NBR-6023 - agosto de 2002, simplificadas conforme exemplos:

Livro:

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

Capítulo de livro

WILLIAMS, E. S. Canine distemper. In: WILLIAMS, E. S.; BARKER, I. K. (Eds.). *Infectious diseases of wild mammals*. 3. ed. Ames: Iowa State University Press, 2001. p. 50-58.

Periódicos:

KOUTINAS, A. F.; POLIZOPOULOU, Z. S.; BAUMGAERTNER, W.; LEKKAS, S.; KONTOS, V. Relation of clinical signs to pathological changes in 19 cases of canine distemper encephalomyelitis. *Journal of Comparative Pathology*, v. 126, n. 1, p. 47-56, 2002.

Teses e Dissertações (deve ser evitada a citação):

GUEDES, E. M. S. *Atributos químicos e físicos de um Latossolo Amarelo argiloso e produção de soja em sistemas de manejo, no município de Paragominas/PA*. 75 f. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2009.

Boletins, trabalhos de congresso e outros eventos: Não fazer citações.

Publicações eletrônicas:

SILVA, M. S.; SILVA, L. R. D.; SILVA, S. M.; SOBRINHO, R. S. D. *Qualidade de jaca dura (*Artocarpus heterophyllus*) minimamente processada armazenada em diferentes temperaturas*. SENGE-PB, 2009. Disponível em: <<http://www.sengepb.com.br/site/wp-content/uploads/2009/12/t023.pdf>>. Acesso: 5 maio 2010.

Legislação:

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Aprova o Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar (declarações relacionadas ao conteúdo de nutrientes), constantes do anexo desta Portaria. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 16 jan. 1998.

Termos em latim:

Apresentar termos em latim em itálico, exceto o termo "et al."

Termos estrangeiros:

Manter destaque somente em termos específicos, que o autor ressaltou no manuscrito. Para palavras incorporadas em nosso idioma não aplicar destaque, por exemplo: marketing, e-mail, software, etc.

O manuscrito enviado pelo Editor ao autor correspondente para correções e/ou sugestões deve retornar à revista com as correções no prazo de 20 dias, sob pena de ser automaticamente cancelado. No envio pela segunda vez, o prazo passa para 10 dias. O não atendimento as solicitações dos avaliadores e editores sem justificativas também leva ao cancelamento automático do manuscrito.

Se o seu manuscrito for aceito para publicação, ele será enviado para a editora que poderá efetuar alterações de formatação e correções gramaticais para ajustá-lo ao padrão editorial e linguístico. Depois da composição, será enviada uma prova do manuscrito ao autor correspondente para revisão. O autor correspondente é responsável pela comunicação com os demais autores. Nesta fase, apenas os erros tipográficos e ortográficos podem ser corrigidos e nenhuma alteração de conteúdo poderá ser feita no manuscrito. O autor será obrigado a retornar a prova dentro de 48 horas para a editora.