



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E
TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA – CITA**



**TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS DA REGIÃO SUL DO
ESTADO DO AMAZONAS**

Rúbia Darivanda da Silva Costa

RIO BRANCO - AC

2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E
TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA – CITA



TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS DA REGIÃO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS

Rúbia Darivanda da Silva Costa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**.

Área de concentração: Ciência e Inovação Tecnológica.

Orientador: Dr. Milton César Costa Campos

Rio Branco - Acre

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E TECNOLOGIA
PARA A AMAZÔNIA

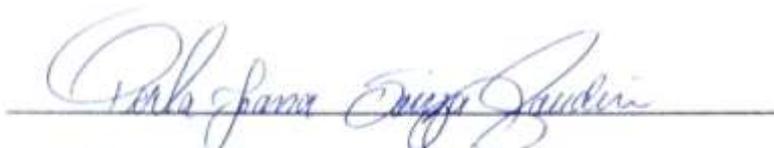
**ATRIBUTOS DOS SOLOS E TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM
SOLOS DA REGIÃO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS**

Rúbia Darivanda da Silva Costa

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora em 27 de abril de 2015.



Prof. Dr. Milton César Costa Campos (Orientador)
Universidade Federal do Acre – (UFAC)



Prof^a. Dr^a. Perla Joana Souza Gondim (Membro)
Universidade Federal do Amazonas – (UFAM)



Prof^a. Dr^a. Viviane Vidal da Silva (Membro)
Universidade Federal do Amazonas – (UFAM)

Dedico:

Aos meus pais Rubem e Wanda Costa, pelo carinho, apoio e incentivo. Ao meu esposo Roberto, meu porto seguro, meu ajudador. Ao meu filho Raphael, herança do Senhor em minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu refúgio e minha fortaleza, socorro sempre presente nas horas de difíceis. Somente Ele é digno de toda Honra, toda Glória e todo Louvor e Adoração. Obrigada Senhor pelo dom da vida e por mais essa conquista.

À Universidade Federal do Acre pela oportunidade e acolhida no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia.

À Universidade Federal do Amazonas, pela liberação para realização do Curso de Mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Milton César Costa Campos pela oportunidade e orientação durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais Rubem Francisco de Carvalho Costa e Wanda da Silva Costa, que mesmo distante, sempre estiveram presente em minha vida, obrigada pela vida, pelo cuidado, pela educação, por tudo.

Ao meu esposo Roberto Nogueira Felisbino e ao meu filho Raphael Costa Felisbino, pois mesmo quando eu estava presente, muitas vezes estive ausente, e vocês sempre me compreenderam. Essa conquista não é minha, é nossa, amo vocês.

Aos meus irmãos, Wando Costa, Rubem Júnior e Wanessa Regina, vocês são presentes de Deus na minha vida.

Aos bolsistas e voluntários do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do IEAA/UFAM, pelo auxílio durante as análises. Especialmente, ao Pérsio de Paula Neto, que foi meu braço forte nas atividades de campo e laboratorial.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, especificamente aos técnicos do Laboratório de Fertilidade do Solo, na pessoa do prof. Dr. Clístenes do Nascimento pela importantíssima contribuição na execução deste trabalho.

Aos meus colegas do IEAA/UFAM e do PPG/CITA, que sempre demonstraram apoio e incentivo durante essa caminhada.

Finalmente, mas não por último, a todos aqueles que direta e/ou indiretamente contribuíram para a realização desse sonho. A todos vocês, amigos, colegas, companheiros, alunos e irmãos em Cristo, do fundo do meu coração, eu agradeço e, peço a Deus que sempre lhes abençoe.

“Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, e não tivesse amor, seria como o metal que soa ou como o sino que tine. E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, nada seria. (...) O amor é sofredor, é benigno; (...) Tudo sofre, tudo crê, tudo espera, tudo suporta. O amor nunca falha; mas (...) havendo ciência, desaparecerá; (...) Agora, pois, permanecem a fé, a esperança e o amor, estes três, mas o maior destes é o amor”.

1 Coríntios 13, 1-13.

RESUMO

Metais pesados podem ser encontrados em solos e águas, podendo ou não provocar a sua contaminação, por isso a proteção do solo e a prevenção à saúde humana são importantes na conservação desse recurso. Assim, pesquisas relacionadas ao monitoramento e a mitigação dos impactos em ambientes susceptíveis a contaminação por esses elementos são fundamentais. O objetivo desse trabalho foi determinar os teores naturais dos metais Al, Ba, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, e Zn em solos da região sul do Amazonas. Foram coletadas 168 amostras de solo em áreas de Campo/Floresta, Relevo Movimentado e Várzea/Terra Firme, nos horizontes superficiais e subsuperficiais, com mínima influência antrópica. Foi realizada a determinação do pH em água e KCl, teor de carbono orgânico, matéria orgânica, alumínio trocável, acidez potencial e textura, bem como, a extração de metais pelo método EPA-3051A. Os teores naturais de metais pesados analisados para essa região foram menores que os teores normalmente observados em outras regiões brasileiras. Os Neossolos apresentaram os teores naturais médios mais elevados e, os Cambissolos, os mais baixos, para a maioria dos metais estudados. Os teores naturais médios definidos para todos os metais pesados analisados neste trabalho indicam que os solos da região sul do Amazonas, apresentam teores que atendem ao critério de valor de qualidade estabelecido pelo CONAMA, pois não superaram o valor de prevenção proposto por esse órgão. Correlações significativas foram obtidas entre os metais e matéria orgânica e argila.

Palavras-chave: Metais pesados. Teor natural. Classes de solos.

ABSTRACT

Heavy metals can be found in soils and waters, causing or not their contamination, therefore, the protection of soil and human health prevention are important in the conservation of this resource . Thus, researches related to monitoring and mitigation of impacts in environments likely to contamination by these elements is essential. The main goal of this project is to establish the natural levels of the metals Al, Ba, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, e Zn in the Amazon southern soils. Were collected 168 samples of the soil in areas of Field / Forest, high lands and lowland / mainland, in the horizons of surfaces and subsurfaces, with minimal human influence. It was established the contents of pH in water and KCl, organic carbon, organic matter, exchangeable aluminum, potential acidity and texture, as well as, the extraction of metals by the method EPA-3051A. The natural contents of heavy metals analyzed to this region were lower than the contents commonly observed in other Brazilian regions. The Neosoils presented natural contents medium to high and, the Cambisoils, the lower, to the most of the metals researched. The standard natural contents established to all the heavy metals analyzed in this project indicate that the southern Amazon soils, present contents that meet the quality value discretion established by CONAMA, because they did not exceeded the prevention value proposed by this agency. Significant correlations were obtained between metals and organic matter and clay.

Keywords: Heavy metals. Natural contents. Types of Soil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mesorregiões do estado do Amazonas. Adaptada da base cartográfica do IBGE (2010).....	4
Figura 2: Perfil esquemático mostrando a vegetação, relevo e as classes de solos em uma topossequência típica da transição campos/florestas na região sul do Amazonas. Compilado de Campos et al. (2012a).	7
Figura 3: Mapa exploratório de solos do estado do Amazonas. Compilado de CPRM (2010).	8
Tabela 1: Origens naturais e antropogênicas de alguns metais pesados.....	12
Figura 4: Mapa de localização das áreas estudadas na região sul do Amazonas. Adaptado de Fearnside (2009).....	24
Tabela 2: Classificação de solo e localização dos perfis de solo da região sul do Amazonas	26
Tabela 3: Caracterização física e química dos solos nos diferentes ambientes fisiográficos na região sul do Amazonas.....	31
Tabela 4: Estatística descritiva dos teores dos metais pesados dos horizontes superficiais de solos da região sul do Amazonas.	33
Tabela 5: Estatística descritiva dos teores dos metais pesados dos horizontes subsuperficiais de solos da região sul do Amazonas.	34
Tabela 6: Estatística descritiva dos teores naturais de metais pesados nos horizontes superficiais dos diferentes ambientes fisiográficos da região sul do Amazonas.....	40
Tabela 7: Estatística descritiva dos teores naturais de metais pesados nos horizontes subsuperficiais dos diferentes ambientes fisiográficos da região sul do Amazonas.	41
Tabela 8: Estatística descritiva de teores naturais de metais pesados encontrados nos horizontes superficiais das principais classes de solos da região sul do Amazonas.	45
Tabela 9: Estatística descritiva de teores naturais de metais pesados encontrados nos horizontes subsuperficiais das principais classes de solos da região sul do Amazonas.....	47
Tabela 10: Coeficientes de correlação linear simples entre os teores de metais e destes com atributos dos solos nos horizontes superficial e subsuperficial dos solos da região Sul do Amazonas.....	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Caracterização geral da região sul do Amazonas	4
2.2 Metais pesados no solo: fontes naturais e antrópicas	11
2.3 Dinâmica dos metais pesados no solo.....	15
2.4 Valores de Referência de Qualidade de Metais Pesados dos Solos no Brasil.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Localização e caracterização da área.....	24
3.2 Trabalho de Campo.....	26
3.3 Preparo das Amostras.....	27
3.4 Análises Físicas	27
3.5 Análises Químicas.....	28
3.6 Digestão ácida das amostras e controle de qualidade das análises dos metais pesados.....	28
3.7 Determinação dos teores de metais e análise estatística dos dados	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Características físicas e químicas dos solos.....	30
4.2 Teores naturais de metais nas amostras de solos da região sul do Amazonas.....	32
4.3 Teores naturais de metais pesados nos solos dos diferentes ambientes fisiográficos.	39
4.4 Teores naturais de metais pesados nas classes de solos estudadas na região Sul do Amazonas.....	44
4.5 Correlações entre teores dos metais e atributos dos solos	52
5. CONCLUSÃO	55
6. REFERÊNCIAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

Metais pesados podem ser encontrados em solos e águas, provocando sua contaminação (BIONDI et al., 2011a), por isso a proteção do solo e a prevenção à saúde humana são temas presentes quando se trata da preservação desse recurso (NASCIMENTO, 2013), estimulando pesquisas relacionadas ao monitoramento e a mitigação dos impactos em ambientes susceptíveis a contaminação por esses elementos (PRESTON et al., 2014).

Apesar da proteção do solo está devidamente efetivada em diversos países do mundo, especialmente na Europa e Estados Unidos, no Brasil somente há pouco tempo, a Resolução Nº 420 de 29/12/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu diretrizes para o monitoramento de ambientes contaminados por metais pesados, tornando-se um marco primordial no que diz respeito à qualidade do solo, a segurança alimentar e, também, a saúde da população.

Os metais pesados são elementos químicos que apresentam densidades atômicas maior que 6 g cm^{-3} ou número atômico maior que 20 e podem ocorrer naturalmente no ambiente (ALLOWAY, 1995). Esses elementos proporcionam possíveis ameaças à biodiversidade e aos ecossistemas, pois estão entre os contaminantes ambientais mais comuns, especialmente por serem não degradáveis e por ficarem no ambiente por muito tempo (COTTA et al., 2006).

A concentração total de metais pesados em solos possibilita a obtenção de informações relevantes sobre o nível geral de poluição, porém, essa concentração, na maioria das vezes não pode ser considerada um indicador apropriado para avaliar sua biodisponibilidade, porque, apesar desses elementos estarem presente no solo isso não significa que estejam em uma forma prontamente assimilável pelas plantas, podendo ficar por muito tempo sem ser absorvidos em quantidades tóxicas (SIMONETE & KIEHL, 2002).

Por visar à sustentabilidade ambiental, o estudo da poluição dos solos por metais pesados tem gerado informações necessárias para a determinação de valores de referência de qualidade. Porém, para considerar se um determinado solo está livre de contaminação é necessário conhecer os teores naturais de metais

pesados em ambientes com a mínima interferência antrópica.

A ocorrência natural de metais pesados no solo está diretamente relacionada com a composição química das rochas, processos pedogenéticos e pela precipitação de materiais particulados presentes na atmosfera. Acredita-se que em solos sob atividade humana os teores destes metais são maiores, geralmente, associados à poluição, à contaminação e à toxidez dos seres vivos, sendo responsáveis por diversos impactos negativos que afetam a saúde humana e o ambiente.

Biondi et al. (2011a) afirma que apesar de associados à toxicidade alguns metais, como Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn exigem tratamento diferenciado, pois são nutrientes essenciais para plantas e animais, capazes de desempenhar funções biológicas importantes no metabolismo de diversos organismos. Porém, em concentrações elevadas, comprometem a qualidade de ecossistemas causando efeitos tóxicos aos seres vivos. Pois, são elementos persistentes e carcinogênicos (ALLOWAY, 1990; CHEN et al., 1991; AMARAL SOBRINHO, 1993; EYSINK & MORAES, 1998; CAIRES, 2009), com tendência de acúmulo em solos e sedimentos (CAIRES, 2009), e com potencial de biomagnificação na cadeia alimentar (ABREU JR. et al., 2004; CAIRES, 2009). Havendo também alguns que são benéficos (Co, Cr e V) e outros prejudiciais (Cd, Hg e Pb) para o desenvolvimento de plantas e, ou animais (MALAVOLTA, 1994).

A determinação dos valores naturais é o primeiro passo para a definição de situações de contaminação (BAIZE & STERCKEMAN, 2001). Sendo o monitoramento, necessário, em áreas potencialmente contaminadas, com conhecimento dos teores naturais dos metais, bem como, de sua variabilidade natural, em solos desprovidos de atividade antrópica. O estabelecimento de solos de referência é fundamental para a determinação dos valores orientadores de qualidade do solo, seguindo à recomendação do CONAMA (2009) em sua resolução 420/2009, contudo, o principal requisito é a obtenção da faixa de teores mínimos naturais em solos preservados (CAIRES, 2009).

Segundo United States Department of Agricultura (USDA, 2013) solos representativos são definidos como um conjunto de solos com representativa extensão, englobando um ou mais usos da terra, que detêm uma posição-chave no sistema de classificação e para os quais, existe uma grande quantidade de dados,

tendo importância especial para um ou mais usos do solo, e importância ecológica significativa, podendo o conhecimento de suas propriedades e comportamento serem aplicadas para compreensão e interpretação de solos com propriedades semelhantes. Assim a utilização de classes de solos representativos de uma dada região é uma das principais formas de avaliar os teores naturais de metais pesados (DA VIES, 1990).

As principais classes de solos que ocorrem na região Sul do Amazonas, conforme Campos (2009) são: Latossolos Amarelos ou Vermelho-Amarelo, Argissolos, Gleissolos e Neossolos e estes estão presentes nas diversas paisagens regionais Campos Naturais/Florestas, Relevo Movimentado e Várzea/Terra Firme.

Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo determinar os teores naturais de metais pesados, tais como o alumínio (Al), bário (Ba), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), e zinco (Zn) em solos da região sul do Amazonas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Caracterização geral da região sul do Amazonas

Abrangendo os municípios de Humaitá, Manicoré, Apuí e Novo Aripuanã, a região do sul do Amazonas (Figura 1) ocupa cerca de 12% da área total do Estado, aproximadamente 177.526,80 km² e apresenta três fisiografias diferentes: Várzea/Terra Firme; Campo/Floresta; e áreas de Relevo Movimentado (CAMPOS, 2012).



Figura 1: Mesorregiões do estado do Amazonas. Adaptada da base cartográfica do IBGE (2010).

Esta região situa-se na zona climática, concernente ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso), segundo Köppen, caracterizada pelo tipo Am (chuvas do tipo monção), possuindo um período seco de curta duração (BRASIL, 1978). Na parte leste da área ocorre maior incidência de chuvas, elevando a pluviosidade da região, que se limita pelas isoietas de 2.200 e 2.800 mm. A umidade relativa do ar varia entre 85 e 90%, enquanto que as temperaturas médias anuais ficam entre 25° e 27°C.

De acordo com Campos (2012), a presença de materiais de diferentes idades geológicas e de diversas naturezas caracteriza a região sul do

Amazonas com a predominância de vários substratos geológicos. Os principais substratos geológicos desta região são caracterizados por Brasil (1978), destacando-se:

- **Sedimentos da Formação Solimões:** são referidos ao Plioceno Médio – Pleistoceno Superior, derivados da deposição em local continental, fluvial ou lacustre e planície de inundação. Constituem depósitos em pontal e canal com arenitos finos a médios de níveis grosseiros a conglomeráticos e matriz argilosa. Cores matizadas, vermelho, amarelo, marrom e cinza-esverdeado, pontualmente feldspáticos, micáceos e ferruginosos, maciços ou acamados, na maioria das vezes inconsolidados.
- **Aluviões Indiferenciados ou Antigos:** oriundos do Holoceno e provenientes de dois ciclos de sedimentação: a) bancos arenosos, inferiores, que indicam a deposição plúvio-fluvial e; b) sedimentos argilosos superiores, representando a sedimentação lacustrina. São formados por argilas, siltes e areias muito finas a grossas, com diminuição granulométrica para o topo.
- **Aluviões Holocênicos:** originários de deposições fluviais recentes, sendo composto de argilas, siltes e areias finas, de granulação decrescente da base para o topo, com cascalhos subordinados. São formados por sedimentos não consolidados da planície fluvial, depósitos de canais e transbordamentos. Têm coloração cinza-esbranquiçado a cinza-escuro com mosqueamento normalmente vermelho, exibindo lâminas limoníticas.
- **Granitos Rondonianos:** apresentam granitos com muscovita e biotita, adamelitos e granodioritos, de origem intrusiva, cratogênicos em forma de “stocks” e batólitos.

Entre as unidades geomorfológica que ocorrem nessa região, sobressaem:

- **Planície Fluvial:** formada por uma área aplainada decorrente de acumulação fluvial, periódica ou permanentemente alagada. Ocorrendo em alguns locais a decomposição de interflúvios tabulares, com relevos de topo aplainado, podendo ser afastados por vales em “V” e/ou por vales de fundo plano (Brasil, 1978).

- **Terraços Fluviais:** situados na transição de dissecação de interflúvios tabulares, com relevos de topo aplainado, apresentando pouco desnível e bordos levemente boleados. Em áreas mais elevadas formam os divisores topográficos de água entre os rios da região. E, nesses locais surgem os campos naturais providos de relevo incipiente, sujeitos a erosão lenta, provocada por pequenos córregos temporários Braun & Ramos (1959).
- **Planaltos Residuais Sul Amazônicos:** o formato do relevo é caracterizado pela presença de platôs nas partes mais altas apresentando superfícies topográficas planas, a zona de borda possui colinas e cristas alinhadas. Com o desnível de aproximadamente 150 m, superfícies pediplanadas caracterizam as áreas mais baixa, podendo ser, localmente, descontinuada por colinas de topo plano (CPRM, 2001).

As Florestas e os Campos constituem os principais padrões fitofisionômicos da região, predominando conforme (BRASIL 1978):

- **Florestas Tropicais Abertas:** caracterizada pela presença de árvores espaçadas, que permitem a penetração de luz até os estratos inferiores, subdividindo-se em: a) Florestas Tropicais Abertas de Baixadas e Platôs com ocorrência em terras baixas e áreas de platôs rebaixados; b) Florestas Tropicais Abertas de Aluviões e Terraços distinguem-se por possuírem florestas abertas que surgem nos terraços e ao longo dos interflúvios em terraços antigos.
- **Florestas Tropicais Densas:** possuem fatores climáticos bastante favoráveis a realização de atividades biológicas, subdividem-se em: a) Florestas Tropicais Densas de Terras Baixas, situadas nas planícies fluviais, as margens de rios e igarapés, estabelecidas pelo assoreamento, podendo ter espécies endêmicas, principalmente da família Arecaceae; b) Florestas Tropicais Densas Submontanas, localizadas nas bordas dos planaltos e em relevos dissecados; e c) Florestas Tropicais Densas Aluviais, estão ao longo dos cursos de água, cobrindo os terraços antigos das planícies dos rios.

Freitas et al., (2002) afirmam que na região há também contato campo/floresta (Figura 2) e, em certos locais esse contato acontece de forma súbita, mas em outros a modificação da vegetação entre a floresta e o campo ocorre gradativamente, constituindo a zona de ecótono. Essas áreas de

campo/floresta são caracterizadas por Braun & Ramos (1959) como unidades de campo, distanciadas umas das outras por zonas florestadas, ou mesmo por zonas de cerrado.

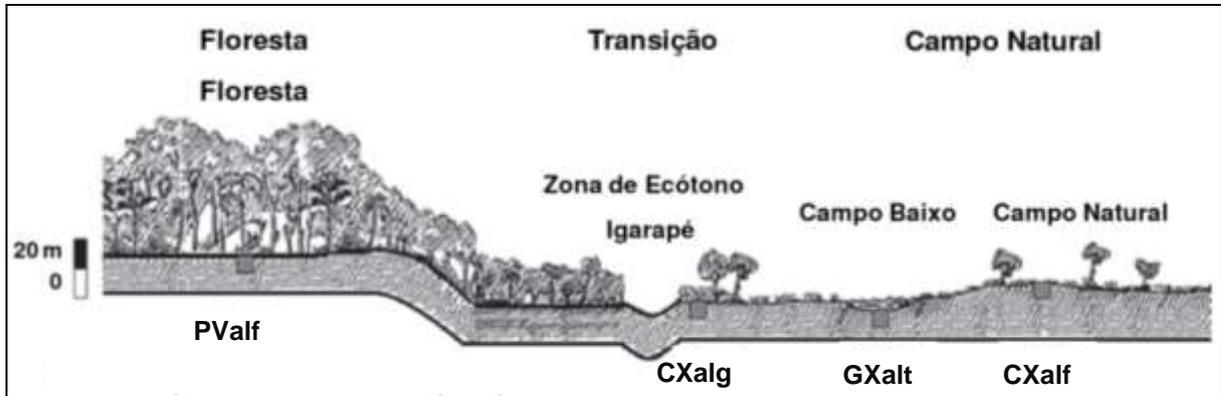


Figura 2: Perfil esquemático mostrando a vegetação, relevo e as classes de solos em uma topossequência típica da transição campos/florestas na região sul do Amazonas. Compilado de Campos et al. (2012a).

Na região amazônica a presença de solos jovens, caracterizados por sedimentos em processo incipiente de pedogênese pode ser influenciada por vários fatores como as condições bioclimáticas e relevo (CAMPOS, 2009). Lima (2001) afirma que a evolução pedogenética é restringida pelo alto nível do lençol freático, inundações periódicas e arraste de sedimentos pelas águas que influenciam na variação dos solos refletindo nos atributos do material de origem.

Os solos de várzea são eutróficos possuindo elevados valores de capacidade de troca de cátions e de cátions trocáveis, especialmente Ca^{2+} e Mg^{2+} (LIMA et al., 2006), além de possuírem altos teores de silte e de areia fina apresentam reação mais ácida, níveis mais baixos de cátions básicos e elevados teores de saturação por alumínio e argilominerais de baixa atividade (LIMA, 2001).

As principais classes de solos (Figura 3) presentes na região do sul do Amazonas conforme Campos (2012) e Brasil (1978) são:

- **Argissolos Amarelos ou Vermelho-Amarelos:** representam cerca de 23,5% dos solos da região. Possuem textura média ou argilosa, são profundos, de baixa fertilidade natural e elevada saturação por alumínio, frequentemente susceptíveis a erosão hídrica, por estarem associados a relevo ondulado.

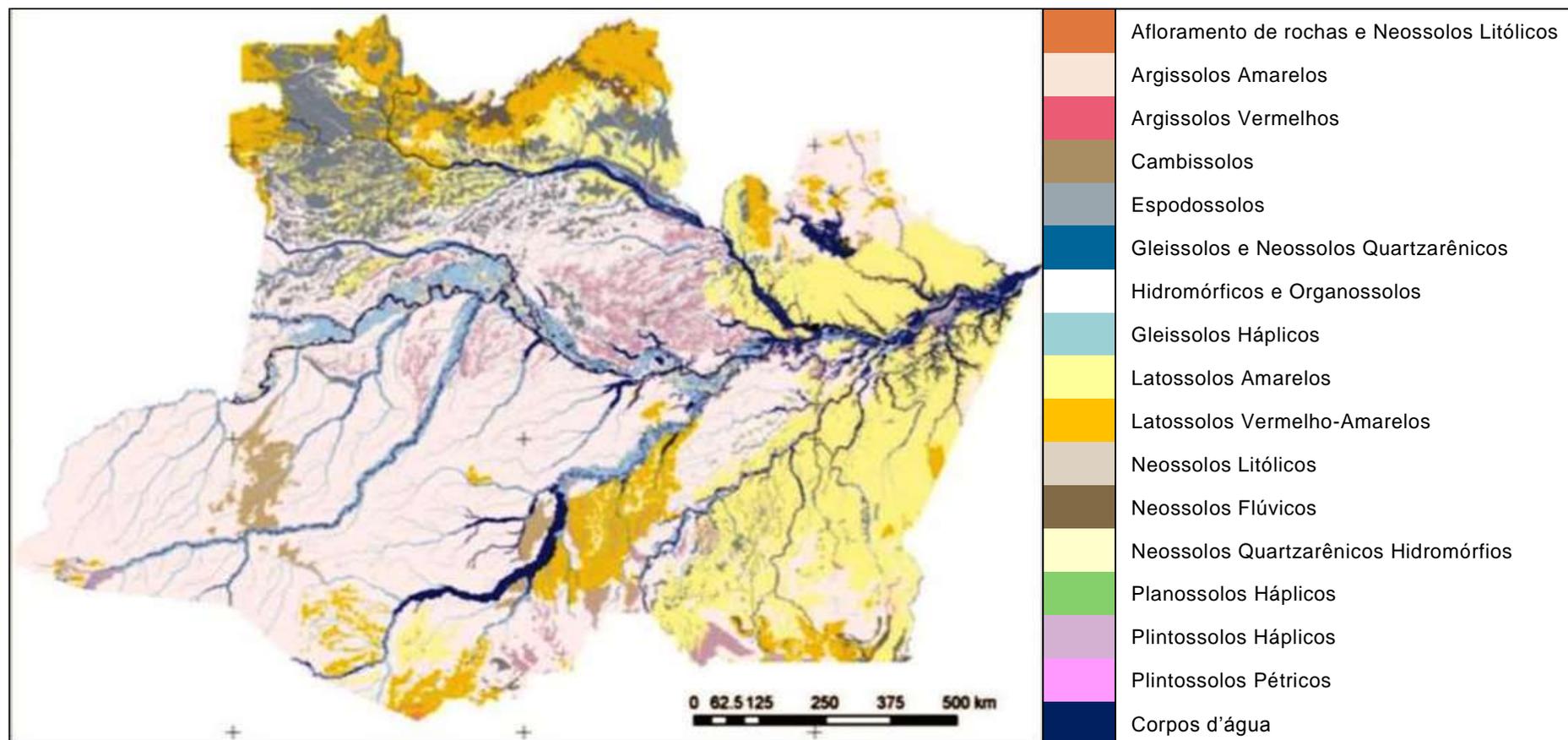


Figura 3: Mapa exploratório de solos do estado do Amazonas. Compilado de CPRM (2010).

- **Espodosolos:** surgem em locais inundáveis, envolvendo 2,5% dos solos da região. Os horizontes A+E espessos, perdem matéria orgânica com ferro e/ou alumínio. De cor muito pálida segue para um horizonte de retenção de húmus (Bh) com ou sem ferro e alumínio iluviais (Bhs) envolvem frações de areia ou silte, que podem agregar e consolidar este horizonte.
- **Gleissolos:** abrangem uma área de 3,5% da região. Aparecem em ambientes inundáveis, com lençol freático constante ou temporário, tem baixa aeração, reduzindo o ferro e o manganês, com pH ácido e elevada saturação por alumínio. Apresentam cor acinzentada, azulada e esverdeada.
- **Latossolos Amarelos ou Vermelho-Amarelos:** solos profundos, bem drenados, de textura média a argilosa, elevada porosidade, boa aeração e permeabilidade, abrangem cerca de 52,5% da região. O valor do pH varia de 3,5 a 5,5, sendo a reação altamente ácida. Devido aos altos teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis nos horizontes superficiais, a ciclagem de nutrientes entre o solo e a planta ocorre com bastante intensidade. Nestes solos o uso agrícola é limitado por causa da baixa concentração de fósforo assimilável e dos altos teores de alumínio que podem causar fitotoxicidade. Nesta classe podem aparecer na confluência de rios, horizontes A antrópicos que indicam Terras Pretas Arqueológicas.
- **Neossolos:** correspondem a aproximadamente 6,5% da área, distinguindo-se nas seguintes sub-ordens: a) Litólicos, geralmente agregados a relevos escarpados e aflorações de rochas; b) Flúvicos, presentes em ambientes aluviais; c) Regolíticos, possuem terreno estável e bem desenvolvido, frequentemente surgindo nas adjacências dos Litólicos; e d) Quartzarênicos, aparecem nas proximidades dos rios e em ambientes com depósitos de areia.
- **Plintossolos:** constituídos a partir dos sedimentos Holocênicos, são formados por aluviões indiferenciados ou antigos dos terraços fluviais e correspondem a 6,5% da região. Os valores de pH variam de 4,0 a 5,7, e por causa da elevada saturação por alumínio apresentam baixa fertilidade natural. O horizonte plíntico ocorre a 40 cm de profundidade, com textura média a argilosa, de cor clara, mal drenado e com tendência à erosão nos horizontes superficiais.

Xavier (2013) afirma que diversos estudos sobre os solos da região

amazônica permitiram a verificação de informações morfológicas, mineralógicas e químicas dos vários solos que formam a região, no intuito de identificar os principais processos responsáveis pela formação destes solos, além das prováveis modificações de suas características devido a processos naturais ou antrópicos (LIMA, 2001; LIMA et al., 2006; ORRUTEA et al., 2012).

A constituição dos solos da região amazônica baseia-se nos processos de formação, tais como relevo, material de origem, clima e organismos, revelando uniformidade, principalmente, em relação a geologia, relevo, clima e vegetação, o que coopera consideravelmente para a pouca modificação das classes de solos incidentes na região, sendo os sedimentos mais recentes, os responsáveis pela constituição da maior parte dos solos existentes (XAVIER, 2013).

A mineralogia dos solos da região amazônica tem sido à base de inúmeras pesquisas que visam determinar os minerais existentes e indicar quais destes minerais estão predominando em cada um dos solos, bem como nas frações estudadas (LIMA, 2001; LIMA et al., 2006; ORRUTEA et al. 2012); SILVA et al., 2012). Segundo Lima (2001), solos de várzea apresentam maior diversidade de minerais, enquanto que, nos solos de terra firme essa diversidade é bem menor.

Para Xavier (2013), na Amazônia são poucas as pesquisas destinadas a determinar metais pesados nos solos. Cobre, zinco, cádmio, níquel e cromo, entre outros elementos foram quantificados por Lima et al. (2006), e não apresentaram grandes variações entre solos estudados (Neossolo Flúvico, Plintossolo e Argissolo Amarelo), para os teores totais de Cd e Ni as porções mais elevadas foram encontradas na fração mais fina do solo. Contribuindo para a construção de um banco de dados referentes a metais pesados para solos da Amazônia, Braz (2011) definiu os valores do coeficiente de distribuição de metais pesados para solos no estado do Pará.

2.2 Metais pesados no solo: fontes naturais e antrópicas

Segundo Alloway (1995), metais pesados podem ocorrer naturalmente no ambiente em baixas concentrações, sendo caracterizados como elementos com densidade atômica maior que 6 g cm^{-3} ou que apresente número atômico maior que 20, pertencentes ao grupo de transição e não-transição da tabela periódica. Abrangendo, metais, semimetais e até não-metais, como o Se, que são em sua maioria elementos maléficos aos seres vivos. E, englobam, também, alguns elementos que são essenciais aos seres vivos quando em baixas concentrações (ALLOWAY, 1990).

Atualmente, o termo “metal pesado” é empregado para designar elementos classificados como poluentes do ar, água, solo e alimentos (PRESTON et al., 2014). E, esse termo tem sido cada vez mais utilizado na literatura científica mesmo não existindo definições consensuais, regulamentada por entidades científicas especializadas, como por exemplo a IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry).

Termos como “elementos traços” ou “metais traços”, tem sido bastante usado como sinônimo de metais pesados, porém esses termos são considerados inadequados, pois, na Química Analítica Quântica o quantitativo “traço” é empregado para indicar concentrações ou teores de qualquer elemento que por serem muito baixos, não podem ser quantificado pelo método aplicado na sua determinação (Malavolta, 1994). “Elementos potencialmente tóxicos” é outra designação utilizada devido às propriedades nocivas que os “metais-traços” possuem, como a bioacumulação, que provoca a poluição ambiental, mesmo quando em pequenas concentrações no ambiente (SANTANA, 2013).

Os metais pesados existentes no solo podem ser de origem litogênica ou antropogênica (DOMINGUES, 2009; MALAVOLTA, 1994). Na origem litogênica eles compõem os minerais primários em rochas ígneas ou em rochas sedimentares sendo, portanto, provenientes de fontes naturais e, quando assim aparecem, não causam danos à saúde humana e ao ecossistema. Por outro lado, a origem antropogênica é considerada a principal fonte de poluição do solo, pois é resultado da inclusão de elevados teores de metais pesados no solo pelo homem, ação que

pode causar danos significativos à saúde humana, as plantas e aos animais, devido sua incorporação na cadeia alimentar (BIONDI et al., 2011a).

O Tabela 1 apresenta as principais fontes naturais e antropogênicas que podem contribuir com a adição de metais pesados no ambiente e, em particular, ao solo.

Tabela 1: Origens naturais e antropogênicas de alguns metais pesados.

Elemento	Natural	Antropogênica
Cd	Minérios de Zn e Pb rochas fosfáticas	Resíduos de mineração, galvanoplastia, indústria de pilhas
Cr	Mineral cromitas solos de serpentina	Galvanoplastia, ligas metálicas, esgoto industrial, produtos anticorrosivos
Cu	Sulfetos óxidos carbonatos	Galvanoplastia, ligas metálicas, esgoto doméstico e industrial, resíduos de mineração, defensivos agrícolas
Pb	Mineral galena	Indústrias de bateria, encanamento, carvão, gasolina, pigmentos
Zn	Minerais (sulfetos, óxidos, silicatos)	Ligas metálicas, pigmentos, galvanoplastia, resíduo industrial, encanamentos

Fonte: MALAVOLTA, 1994.

Quanto às fontes naturais dos metais pesados destaca-se sua presença na composição no material de origem, em precipitados do ambiente atmosférico e principalmente, originados dos processos pedogenéticos. Quando presente nas rochas, apesar de pouco disponíveis, seus teores podem variar, sendo esperados teores de 0,1-0,3 mg kg⁻¹ em solos derivados de rocha ígnea, de 0,1-1,0 mg kg⁻¹ em solos derivados de rocha metamórfica, e de 0,3- 11 mg kg⁻¹ em solos derivados de rochas sedimentares (ALLOWAY, 1990). À medida que as rochas vão sendo intemperizadas, esses elementos são liberados no ambiente, podem ser lixiviados ou ficar acumulados, devido o solo atuar como um tampão (ALEONI et al., 2005a).

O material de origem é considerado como sendo o principal componente na distribuição dos metais pesados no solo visto que, conforme a composição predominante do solo, um ou outro elemento estará presente em maior ou menor intensidade, fortemente associado ao material de origem, aos processos de formação (OLIVEIRA & COSTA, 2004) e a proporção dos componentes da fase sólida do solo, determinando naturalmente a presença, a quantidade e a variedade de metais pesados no solo (FADIGAS, 2002; CAMARGO et al., 2003). Assim, a concentração e distribuição dos metais pesados no ambiente e, inclusive a sua biodisponibilidade, são influenciados diretamente pelo tipo de solo, de relevo, de

geologia e dos processos erosivos (RAMALHO et al., 2000; COSTA, 2002). Porém, segundo Paye et al. (2010), a distribuição de metais pesados nos solos, sob condições naturais, ocorre de forma aleatória, mas generalizada, em toda área. Esses teores podem alcançar níveis muito elevados, comprometendo a qualidade dos ecossistemas em consequência da adição de metais pesados, por ações antrópicas (CHEN et al., 1991; HOLMGREN et al., 1993).

Segundo Souza (2012), algumas classes de solo, relacionadas ao mesmo material de origem e pedogênese, podem apresentar diferentes concentrações de metais devido à intensidade de lixiviação e os aspectos topográficos que facilitam a remoção e, conseqüente, deposição de material do entorno de áreas mais planas (GHIDIN et al., 2006; CAMPOS et al., 2011). Contudo, Paye et al (2010) afirma que a influência da pedogênese não é óbvia, pois, constatou que os teores médios de metais pesados variam amplamente entre as amostras de classes diferentes e também entre solos de uma mesma classe.

Conforme Alloway (1995), os metais pesados podem estar nos solos nas seguintes formas: 1) Solúveis: íons livres, complexos solúveis com ânions inorgânicos ou ligantes orgânicos (biomoléculas e ácidos flúvicos); 2) Trocáveis: a capacidade de troca de cátions (CTC) é um indicativo do potencial do solo em conter metais pesados na forma trocável, porém, é importante considerar fatores como seletividade do metal, pH, atividade iônica da solução e concentração de outros cátions; 3) Adsorvidos especificamente (quimiossorvidos): adsorvidos covalentemente (complexos de esfera-interna) a sítios específicos de filossilicatos, óxidos e matéria orgânica; 4) Ligados a materiais orgânicos insolúveis: são metais pesados ligados a materiais orgânicos resistentes à degradação microbiana ou presentes em células recentemente mortas; 5) Precipitados: os metais podem formar os precipitados diretamente com os ânions, ou ainda podem ser co-precipitados junto a componentes pouco solúveis de Ca, Mg, Fe e Al a medida que estes vão sendo formados.

A formação diversificada de solos de diferentes tipos e composição ocorre devido à heterogeneidade no material de origem, da pedogênese e, também de diversos fatores edafoclimáticos (PAYE et al., 2012). Pesquisas regionais são importantes, pois podem evitar interferências impróprias que resultem em prejuízos financeiros, sociais e ambientais (BAIZE & STERCKEMAN, 2001). Souza (2012)

afirma que, em solos do estado do Pará, os teores médios de óxidos de Al^{3+} são mais altos quando comparados com outros metais, possivelmente devido a sua abundância em solos tropicais (ARAÚJO et al., 2002). Sendo um cátion trivalente, tem baixa mobilidade e durante a pedogênese agrega-se as estruturas cristalina dos minerais por substituição isomórfica, ficando em minerais mais estáveis como gibsitita, goethita e caulinita, (MARQUES et al., 2004) comum em solos da Amazônia (LIMA et al., 2006; CAMPOS et al., 2011; CAMPOS et al., 2012b).

Conforme Cholopecta et al. (1996), metais pesados quando provenientes de ações antropogênicas são relativamente mais móveis e potencialmente mais fitodisponíveis do que aqueles presentes no material de origem dos solos (BARROS et al, 2008). Grande parte das impurezas depositadas são depuradas e imobilizadas devido a atuação dos solos como filtro. Mas, esta capacidade é limitada, podendo ocorrer alterações da qualidade do solo, por causa do acúmulo de substâncias tóxicas. Assim, as características intrínsecas de cada tipo de solo são fundamentais para controlar a dinâmica dos metais pesados, tais como, o pH, CTC, teor de matéria orgânica, quantidade e o tipo de argila, na retenção, mobilidade e disponibilidade de metais pesados (MATOS et al., 2001).

Diversas atividades antrópicas podem alterar os teores de metais pesados nos solos, a saber a expansão urbano-industrial, queima de combustíveis fósseis, uso excessivo de fertilizantes e pesticidas, aplicação de lodo de esgoto e emissões para atmosfera (LU et al., 2012). Essas ações podem provocar contaminações no ambiente, muitas das vezes, irreversíveis; principalmente porque esses resíduos são liberados diretamente no ambiente (água e solo) (BIONDI et al, 2011b). Este fato é preocupante, pois o solo exerce inúmeras funções importantes dentro dos ecossistemas (ALOWAY, 1990) e a presença destes elementos tóxicos pode causar um risco potencial à saúde humana e ao ambiente, sobretudo, quando transferidos para as águas subterrâneas (SHENG et al., 2012; HOFER et al., 2013).

A introdução de metais pesados no solo, devido às atividades antrópicas está cada vez mais comum. No Brasil, Mendes et al. (2010) detectaram aumento no teor total e disponível de níquel, chumbo, cobre e manganês, na camada superficial de solos cultivados com meloeiro no estado do Rio Grande do Norte, em função do tempo de cultivo. Na Bahia, indústria que atuava no refinamento de chumbo (SÁNCHEZ & ANJOS, 2001), provocou a contaminação do solo.

2.3 Dinâmica dos metais pesados no solo

A disponibilidade de metais pesados no solo, sua distribuição no ambiente e transferência para a cadeia alimentar podem ser estimadas através da ciência da dinâmica desses elementos no solo (BIONDI et al, 2011a). O intemperismo do material de origem do solo e os fatores inerentes ao elemento químico, ambiente e interações, influenciam essa dinâmica (MARTINS et al, 2011). Assim, os teores de metais pesados no solo persistem por um longo período após a sua entrada e, a maioria dos metais não sofre degradação microbiana ou química, como ocorre com os contaminantes orgânicos (GUO et al., 2006).

A toxicidade e a mobilidade do metal, conforme McLean & Bledsoe (1992), podem ser promovidas pela sua agregação com partículas coloidais móveis, pela constituição de complexos orgânicos e inorgânicos não-adsorvidos à fase sólida do solo, pela disputa com outros elementos (orgânicos e inorgânicos) dos resíduos pelos sítios de adsorção e pela diminuição da disponibilidade de sítios superficiais por causa da presença da complexa matriz do resíduo.

A atividade iônica da solução, a presença de íons e moléculas com os quais formam complexos (ALEONI et al., 2005b), a fase sólida contendo o elemento e em equilíbrio com a solução do solo, a condição redox e o pH do solo podem controlar a especiação de um elemento no solo. Segundo Guilherme et al. (2005), metais em solução permanecem como íons livres ou em combinação com íons ou moléculas, constituindo pares iônicos ou complexos. As interações, que o metal está exposto, determinam o seu estado de oxidação, comprometendo sua estabilidade, mobilidade e risco de contaminação do ambiente. As formas reduzidas dos metais têm maior mobilidade, aumentando significativamente a possibilidade de lixiviação do metal do solo e a contaminação do ambiente (ALLOWAY, 1990).

No solo os metais pesados podem estar contidos em minerais primários e secundários, precipitados ou co-precipitados, adsorvidos, na solução do solo ou mesmo em microrganismos, plantas e animais (Schmitt & Sticher, 1991). A mobilidade dos metais em solução acontece por difusão ou fluxo de massa. A difusão geralmente conduz os metais a pequenas extensões, sendo fundamental na absorção pelos vegetais; já o fluxo de massa, certamente, é o principal meio de

condução a maiores distâncias dentro do solo (Cunha et al., 1996).

Segundo Oliveira & Costa (2004), por apresentarem interações com a fase sólida bastante complexa, esses elementos abrangem reações de adsorção e dessorção, precipitação e dissolução, complexação e oxirredução, tanto na fase inorgânica, quanto na orgânica. Os graus de mobilidade, atividade e biodisponibilidade desses metais são dependentes de vários fatores, como: pH, temperatura, potencial redox, CTC, competição com outros metais, ligação com ânions e composição e força iônica da solução do solo.

O processo mais importante para o gerenciamento da mobilidade dos metais pesados no solo é a adsorção, que atua na retirada dos metais pesados da fase líquida para a fase sólida, controlando o teor dos metais livres e complexados na solução (Alloway, 1995). Além de provocar a contaminação e poluição de corpos d'água subterrâneos, a disponibilidade de metais pesados no solo apresenta participação direta na absorção pelas plantas, sendo incluída na cadeia alimentar. Contudo, a disponibilidade dos metais pesados no solo é influenciada por diversos fatores, destacando-se: o pH, a capacidade de troca de cátions (CTC), a matéria orgânica do solo (MOS), o potencial de oxirredução e a interação com outros elementos na solução do solo.

O atributo do solo que mais afeta a disponibilidade dos metais pesados é o pH, e em meio ácido os metais pesados são mais móveis (ALLOWAY, 1995). Com a diminuição do pH o íon H^+ compete com os metais pelos sítios de troca e, com o aumento do pH, sua disponibilidade diminui, pois as cargas negativas geradas pela desprotonação dos elementos do solo são equilibradas pelos metais (IMPELLITTERI et al., 2001). A formação de precipitados insolúveis como hidróxidos, carbonatos e complexos orgânicos colabora para a diminuição da disponibilidade de alguns metais pesados em altos valores de pH.

Outro atributo que contribui na disponibilidade de metais pesados no solo é a CTC, que quanto mais elevada, maior a quantidade de sítios de adsorção nos coloides para adsorver metais. A atração eletrostática entre o solvente e o metal é beneficiada pela elevação da CTC, que ocorre por causa da ampliação de cargas negativas, devido a elevação do pH do solo (SPOSITO, 2008).

O maior contribuinte na CTC dos solos são as cargas elétricas de superfície da MOS, por causa da sua alta capacidade de desprotonação, podendo

disponibilizar cerca de 30 a 65% da CTC da maior parte dos solos tropicais (COTTA et al., 2006), além de possuir uma vasta área superficial específica (ASE) chegando a 800 – 900 m² g⁻¹ (SILVA et al. 2006). A capacidade de troca de cátions pode ser ainda aumentada em consequência da diminuição das cargas positivas, uma vez que a MO pode ser fixada à caulinita e aos óxidos de Fe (MEURER et al., 2006). Os processos e reações que envolvem a matéria orgânica do solo são fundamentais para entender a ação dos compostos contaminantes do solo, pois afetam o percurso dos metais no solo e nas águas.

Metais como As, Pb, Cu, Cr, Hg e Ag podem ter suas formas químicas alteradas devido as reações de oxirredução (CAMARGO et al., 2001) e, conseqüentemente, modificar o estado de oxidação de um elemento constituinte de um ligante orgânico ou inorgânico que forma uma ligação química com o metal (SPOSITO, 2008). Por exemplo, óxidos de Fe e Mn, tornam-se mais solúveis ao sofrerem redução, formando compostos eficazes na detenção de outros metais, disponibilizando quantidades expressivas na solução (CAMARGO et al., 2001).

2.4 Valores de referência de qualidade de metais pesados dos solos no Brasil

Nas últimas décadas, diversos países têm esforçadamente promovido políticas de proteção de solo e águas subterrâneas (PRESTON et al., 2014). Nesse sentido, no Brasil foram estabelecidas diretrizes para o monitoramento de áreas contaminadas por atividades antrópicas, no intuito de definir os valores orientadores de qualidade do solo em relação à presença de substâncias químicas (CONAMA, 2009), a partir do conhecimento do “*background*” natural dos níveis de metal no solo, provenientes de processos naturais, ou seja, sem influência antropogênica (REIMANN & GARRETT, 2005).

A Holanda e os Estados Unidos foram os primeiros a definir critérios para a determinação do nível de contaminação do solo por metais pesados (VÁZQUEZ & ANTA, 2009). Segundo Biondi et al (2011b), a metodologia holandesa alicerçava-se em listas genéricas contendo valores orientadores de contaminação e, valores a

serem alcançados após as ações de mitigação. Enquanto, o modelo americano analisava os riscos e as metas de prevenção indicada para cada caso, de modo multifuncional. Aparentemente divergentes estas abordagens foram essenciais para a construção da legislação de outros países. Inicialmente usando-se as listas pré-definidas e, depois, aplicando-se a avaliação de risco específica. (VISSER, 1994).

Ao propor os valores orientadores para elementos tóxicos em solos do estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) tornou-se precursora neste tipo de trabalho no Brasil (CETESB, 2001) sendo referência no monitoramento ambiental da qualidade dos solos nos demais estados brasileiros (PRESTON et al., 2014). Mas, a extensa expansão territorial brasileira, impede que o valor de referência de qualidade definido na região sudeste, por exemplo, seja utilizado nas demais regiões, devido, principalmente, às particularidades da diversidade geológica e de solos, bem como de clima, relevo e vegetação (MATSCHULLAT et al., 2000), tornando-se essencial a criação de políticas regionais de conservação do solo a partir da determinação de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) de cada região.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na Resolução nº 420, de 29 de dezembro de 2009, dispõe que cada estado defina seus próprios valores orientadores de referência de qualidade. Propondo os critérios do gerenciamento ambiental das áreas contaminadas antropogenicamente com substâncias químicas, baseando-se em três valores orientadores diferenciados:

- Valor de Referência de Qualidade (VRQ): corresponde a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos;
- Valor de Prevenção (VP): é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais. Esse valor fica entre o VRQ e o valor de investigação
- Valor de Investigação (VI): refere-se a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

Para determinação dos VRQs é essencial à definição dos teores naturais

de metais pesados (ROCA et al., 2008), pois, essa informação é fundamental para o gerenciamento de áreas contaminadas. Por outro lado, para isso é necessário a obtenção de uma coleção diferenciada de solos dos mais diversificados tipos geomorfológicos, pedológicos e geológicos, para a criação de parâmetros consistente para uma legislação voltada ao monitoramento e intervenção legalmente compatível com a realidade regional (BIONDI et al., 2011a). Pois, a variação das classes e dos atributos (físicos e químicos) do solo são fatores determinantes na definição dos teores naturais de substâncias químicas no solo.

Há anos pesquisadores empenham-se em determinar os teores naturais de metais pesados em solos objetivando estabelecer valores orientadores para algumas regiões dos Estados Unidos, como na Flórida (CHEN et al., 1999), Carolina do Sul (GOUGH et al., 1994), Ohio (LOGAN & MILLER, 1883), e de outros países, como Polônia (DUDKA, 1992), China (CHEN et al., 1991) e Brasil (CETESB, 2001; FADIGAS et al., 2002; CAMPOS et al., 2003; MINEROPAR, 2005). A tendência mundial propõe a obtenção dos VRQs antes de ações de gerenciamento da qualidade ambiental (PRESTON et al., 2014). Estes valores devem ser definidos com base em dados regionais ou em áreas com atributos pedogeoquímicos similares aos da área em análise (CETESB, 2001; BORGES JR., 2002).

A variedade de solos podem tornar os dados obtidos, em certo local, inadequados, quando adaptados para outros, pois os teores naturais de metais pesados são, em parte, reflexos do material de origem e dos processos de formação do solo, juntamente com as condições geomorfológicas e climáticas (PÉREZ et al., 1997; BAIZE & STERCKEMAN, 2001; VÁZQUEZ & ANTA, 2009). Assim, áreas próximas a vulcões, regiões hidrotermais e com variedade de material de origem podem ter elevadas concentrações de teores naturais de metais pesados (VÁZQUEZ & ANTA, 2009), correndo-se o risco de avaliar os dados representativos como anômalos.

Por exemplo, Baize & Sterckeman (2001), analisando solos de certa região da França, que estavam sob suspeita contaminação antrópica, constataram que teores naturais de vários metais estavam acima dos VRQs. Segundo Biondi et al, (2011a) a origem vulcânica do arquipélago de Fernando de Noronha possibilitou que fossem definidos valores de referência de qualidade exclusivos para a região, identificando-se diversos metais pesados que apresentaram teores naturais muito

acima do valor de referência estimado para o estado de Pernambuco. Assim, a complexidade para definir teores naturais de elementos químicos é maior em regiões com mais de uma formação geológica, pois, aumentam a interposição de materiais diversos na constituição dos solos (OLIVEIRA et al., 1998).

Conforme os procedimentos deliberados na Resolução 420, do CONAMA (2009) para definição de VRQs de substâncias inorgânicas de ocorrência natural nos solos brasileiros, as amostras de cada estado devem ser coletadas nos principais tipos de solo, com nenhuma ou mínima interferência antrópica, e a interpretação estatística dos resultados analíticos definirão esses valores. Visto que o *background* ambiental (VRQ) de um elemento no solo é indicado como parâmetro da distribuição de frequência dos teores frequentemente encontrados (ZHAO et al., 2007).

Para Matschullat et al. (2000), em grandes áreas, é preciso coletar muitas amostras, para que possibilite a distinção entre as fontes (natural ou antropogênica) de origem dos metais pesados no solo. Coleções de solos de referência, mostrando a diversidade dos fatores e processos envolvidos em sua formação, permitem definir teores naturais, usando poucas amostras (BIONDI et al., 2011a, b).

A comparação dos VRQs obtidos geralmente apresentavam dificuldades em sua interpretação devido aos inúmeros métodos analíticos e procedimentos estatísticos usados para a definição dos VRQs (FADIGAS et al., 2006; PAYE et al., 2010, PAYE et al., 2012). Para minimizar esse problema, no Anexo 1 da Resolução nº 420/2009 do CONAMA, expõe os métodos para seleção dos tipos de solo, as técnicas analíticas para abertura das amostras, os equipamentos para quantificação dos elementos, os procedimentos estatísticos para análise dos dados e o padrão dos VRQs no Brasil.

Desde 2006, o CONAMA desenvolve ações de gerenciamento ambiental a fim de estabelecer as diretrizes para os VRQs dos solos no Brasil. No ano de 2009, em sua Resolução nº 420, estimou que até o final de 2013, cada Estado da Federação definisse seus VRQs a partir dos critérios estabelecidos, respeitando a diversidade pedogenética do país. Para isso, o CONAMA instituiu que fosse identificado um conjunto de solos representativos de sua diversidade, com base na litologia, relevo e clima, e designou os Órgãos Ambientais de cada estado como responsáveis pela definição dos VRQs (CONAMA, 2009).

Diversas pesquisas foram realizadas, após a publicação da Resolução nº

420/2009 do CONAMA, mas algumas não adotaram as determinações em sua totalidade. Paye et al. (2010), opondo-se a resolução, analisaram solos do estado do Espírito Santo, usando o método de extração EPA 3052, notaram que seus valores ficaram próximos ou abaixo dos obtidos no estado de São Paulo (CETESB, 2001). Santos & Aleoni (2012) testaram duas metodologias para extrair metais pesados e perceberam a divergência dos valores de *background* nos solos de Mato Grosso e Rondônia, obtendo a seguinte ordem decrescente: Cr > Zn > Cu > Co > Pb > Ni > e Cd (água régia) e Cr > Co > Cu > Pb > Zn > Ni > Cd (EPA 3051).

Vários grupos de pesquisa têm focado seus estudos na obtenção de teores naturais de metais pesados nos solos, auxiliando na determinação de VRQs de suas regiões (SALDANHA et al., 1997; PÉREZ et al., 1997; OLIVEIRA et al., 1998; FADIGAS et al., 2002; CAMPOS et al., 2003; OLIVEIRA & COSTA, 2004; FADIGAS et al., 2006; PIERANGELI et al., 2009; CAIRES, 2009). O estado de São Paulo foi o pioneiro a observar os teores naturais de metais pesados, limitando-se aos micronutrientes (Zn, Cu, Co, Mn e Fe) (VALADARES, 1975a; VALADARES, 1975b; FURLANI et al, 1977; VALADARES & CAMARGO, 1983; PÉREZ et al., 1997), sendo o primeiro a definir VRQs, que serviriam de base para os demais estados brasileiros.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) desenvolveu o Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no estado de São Paulo (LEMOS et al, 2013), fundamentada no método de avaliação de risco aplicado pela Holanda, usou a modelagem C-soil para definir os valores de prevenção e intervenção (CETESB, 2005). Biondi (2010) destaca que esse relatório foi precursor da Resolução nº420/2009 do Conama e, estimulou o avanço das pesquisas para obtenção dos VRQs dos solos no Brasil.

No estado de Minas Gerais, várias instituições de pesquisas juntamente com órgãos ambientais se mobilizaram para a obtenção dos VRQs. Critérios e procedimentos analíticos foram estabelecidos, em comum acordo, conforme os protocolos em vigor no Cetec/MG. Analisando os resultados, observaram que os solos do Quadrilátero Ferrífero e do Triângulo Mineiro se destacaram dos demais, com valores “anômalos” para vários metais, por causa do controle geológico em vez do pedológico, o que gerou certo impasse para a definição dos VRQs, por ser uma decisão mais de política ambiental, do que científica. (MELLO & ABRAHÃO, 2013).

No estado do Espírito Santo, os resultados também demonstraram o controle geológico, a análise reuniu solos de diferentes unidades de mapeamento das regiões mais altas do estado, destacando-se aquelas formadas sobre as bacias sedimentares (PAYE et al., 2012), o que revelou nitidamente o papel de “filtro” das bacias sedimentares mais próximas ao litoral.

No estado do Pará, os VRQs de alguns elementos foram determinados, para isso usaram informações do mapa de solos do estado para selecionar as classes de solos, assim, obtiveram amostras de Latossolos, Argissolos, Gleissolos, Nitossolos, Cambissolos, Neossolos e Plintossolos, além da Terra Preta de Índio (ALEONI et al., 2013).

Nos estados do Mato Grosso e de Rondônia os teores naturais foram mais baixos do que nos outros Estados. Os solos dessa região são bastante intemperizados e com predominância de caulinita na fração argila além de características específicas, relacionadas aos atributos físicos e químicos e ao material de origem (ALEONI et al., 2013).

No estado de Pernambuco os VRQs foram definidos e implementados na forma da lei pela Agência Estadual de Meio Ambiente. Os resultados obtidos em Pernambuco quando comparados com os resultados definidos nos estados da região Sudeste, notou-se diferenças regionais que atestam a necessidade de uma legislação construída em base local (BIONDI et al., 2011a). Nos estados do Rio Grande do Norte, da Paraíba e de Alagoas, amostras já foram coletadas para determinação dos VRQs e, pesquisadores contatados para darem andamento junto aos respectivos órgãos ambientais (NASCIMENTO & BIONDI, 2013).

No estado da Bahia, ainda, não há projetos para a definição de VRQs que contemple todo o território. Até o momento, são desconhecidos estudos sobre VRQs para os estados de Sergipe, Ceará, Maranhão e Piauí. Mas, acredita-se que essa medida de proteção ao solo, e à saúde humana e animal, será implementada com sucesso e em prazo adequado nesses estados, desde que haja empenho conjunto dos cientistas de solo, MMA/CONAMA e Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (NASCIMENTO & BIONDI, 2013).

Nos estados da região Sul, ainda não há dados de estudos abordando essa temática, impossibilitando a verificação de possíveis prejuízos ambientais causados pelas atividades antropogênicas, em especial as de mineração, indústrias

e agrícolas, como aplicação de fertilizantes e corretivos, pesticidas, adubação orgânica e aplicação de resíduos animais (MELO et al, 2013).

Mesmo com alguns estados definindo seus VRQs, ainda há muita carência de resultados em algumas regiões. Havendo necessidade de mais estudos e empenho dos pesquisadores para determinação de VRQs e demais valores orientadores dos solos para cada estado brasileiro, para que subsequentemente os resultados obtidos possam ser confrontados e reunidos num documento oficial para valores orientadores dos solos brasileiros (BIONDE, 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área

Em conformidade com as fisiografias representativas da região do Médio Rio Madeira, estado do Amazonas (Figura 4), três áreas foram selecionadas para a realização deste estudo.

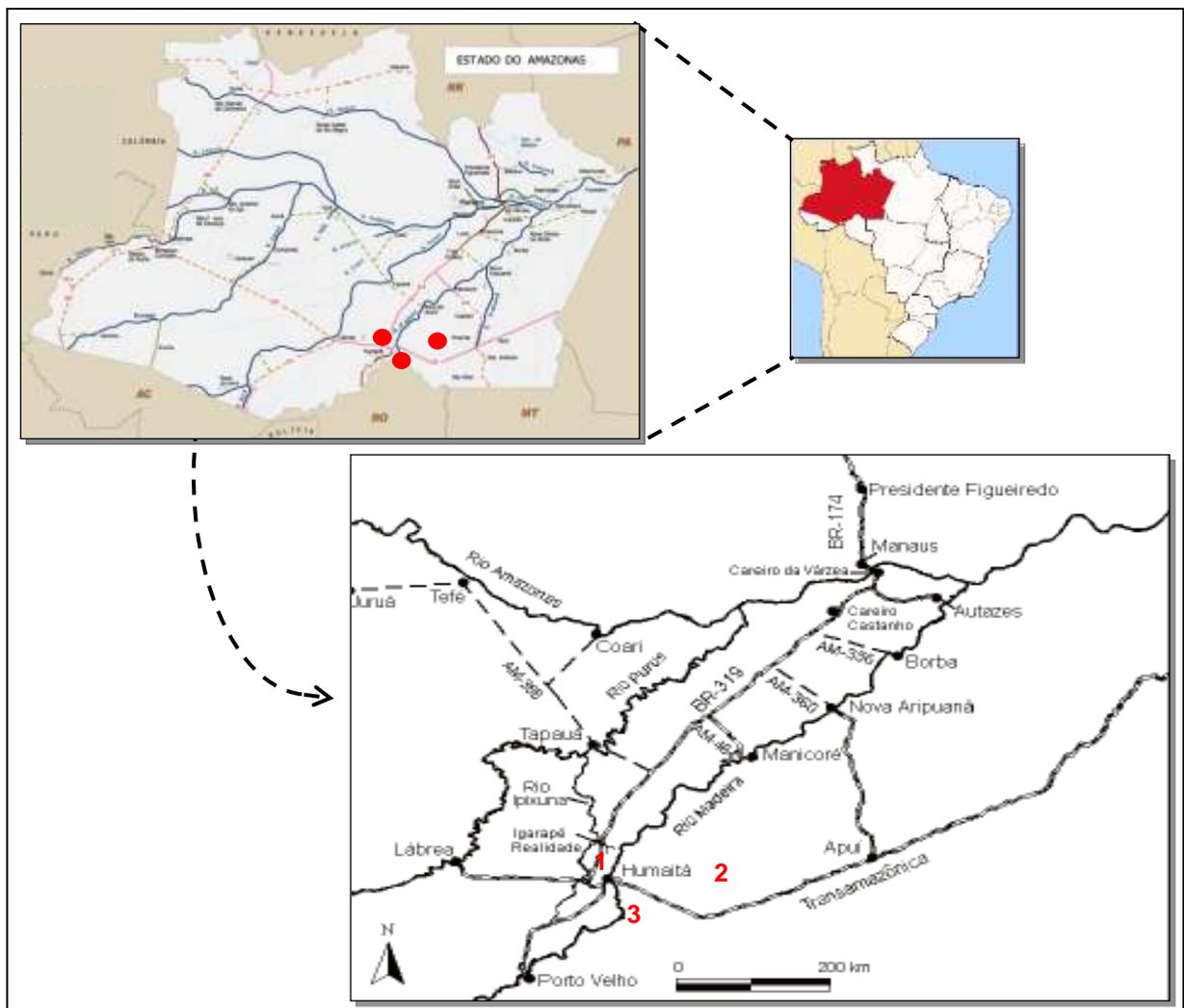


Figura 4: Mapa de localização das áreas estudadas na região sul do Amazonas. Adaptado de Fearnside (2009).

A primeira área escolhida está posicionada nas coordenadas geográficas de $7^{\circ} 30' 24''$ S e $63^{\circ} 04' 56''$ W, pertencente as terras do 54^o Batalhão de Infantaria de Selva do Exército, localizado a 5 km da sede do município de Humaitá-AM. Este ambiente é representado por unidades de

campo, afastados uns dos outros por zonas de florestas, ou por zonas de cerrado, cujos contatos nem sempre são gradativos.

A segunda área, localiza-se nas coordenadas geográficas de 07° 59' 77,1" S e 61° 39' 51,2" W e está situada nas circunvizinhanças da comunidade de Santo Antônio de Matupi, as margens da BR 230 – Transamazônica, no município de Manicoré, sentido Apuí-Am (Figura 4).

A terceira área selecionada situa-se nas coordenadas geográficas de 7° 30' 22" S e 63° 01' 15" W, na Floresta Nacional de Humaitá e apresenta uma área total de 468.790 há (Figura 4). Campos (2012) relata a ocorrência de dois ambientes diferenciados nesta área: as Várzeas, margeadas pelos rios de águas barrentas, com muito material suspenso e susceptíveis à inundação sazonal; e a Terra Firme que não inundam e são constituídas por sedimentos terciários.

Segundo Campos (2012), o relevo da região é variado, a primeira área apresenta relevo aproximado ao do tipo "tabuleiro", com pequenos desníveis e, bordos levemente abaulados (BRAUN & RAMOS, 1959). A segunda área de estudo exhibe configuração do relevo com a presença de platôs nas partes mais elevadas, apresentando superfícies topográficas planas (CPRM, 2001). E, a terceira localizada na província geomorfológica de acumulação da Planície Fluvial, é constituída por uma área aplainada resultante de acumulação fluvial, periódica ou permanentemente alagada (BRASIL, 1978).

Com relação à vegetação, a primeira área de estudo compreende a região de contato Campos/Floresta (BRAUN & RAMOS, 1959), enquanto que a segunda e a terceira áreas estudadas apresentam fitofisionomia semelhante com duas principais tipologias vegetais: Floresta Tropical Aberta e Floresta Tropical Densa (BRASIL, 1978).

De acordo com o Zoneamento Ecológico e Econômico do Sul-Sudeste do Amazonas (2008), os solos variam com as fisiografias (Tabela 2) onde os mesmos se encontram. A área localizada no ambiente fisiográfico formado por campos/floresta apresenta três principais classes de solos, os Cambissolos nas áreas de campos naturais, e os Argissolos nas áreas de Floresta, na transição presença de Gleissolos. Em ambiente de relevo ondulado a forte ondulado, ocorrem Argissolos e nas áreas de relevo suave ondulado, Latossolos. Na área

localizada no ambiente de Várzea/Terra Firme, partindo da margem do Rio Madeira observa-se nas Várzeas a ocorrência de Gleissolos e Neossolos Flúvicos, na Terra Firme os Latossolos e na transição entre os dois ambientes os Argissolos (CAMPOS, 2012).

Tabela 2: Classificação de solo e localização dos perfis de solo da região sul do Amazonas

Perfil	Classe de solos	Município	Localização
1	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico plíntico.	Humaitá-AM	07°30'22,6"S 63°04'57,3"W
2	GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico.	Humaitá-AM	07°30'16,3"S 61°04'57,3"W
3	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico gleissólico.	Humaitá-AM	07°29'59,0"S 63°04'50,0"W
4	ARGISSOLO VERMELHO Alítico plíntico.	Humaitá-AM	07°29'55,1"S 63°04'51,3"W
5	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico.	Manicoré-AM	07°59'58,8"S 61°34'27,7"W
6	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico abrupto.	Manicoré-AM	07°59'51,6"S 61°34'36,7"W
7	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico.	Manicoré-AM	07°59'54,8"S 61°34'46,4"W
8	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico.	Manicoré-AM	07°59'56,2"S 61°34'51,5"W
9	LATOSSOLO AMARELO Distrófico plíntico.	Humaitá-AM	7°30'22"S 63°01'15"W
10	LATOSSOLO AMARELO Distrófico argissólico.	Humaitá-AM	7°30'22"S 63°01'15"W
11	NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico.	Humaitá-AM	7°30'22"S 63°01'15"W
12	NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico gleissólico.	Humaitá-AM	7°30'22"S 63°01'15"W

Fonte: Campos (2012)

3.2 Trabalho de campo

Para o desenvolvimento do trabalho foram coletadas amostras, nos locais descritos anteriormente. Na camada de 0,0 – 0,2 m foram retiradas dez subamostras simples, em um espaçamento de aproximadamente 3 m, para a formação de uma amostra composta, sendo uma no ponto central, oito de acordo com os pontos cardeais (L, O, N, S, NE, NO, SO e SE), e uma escolhida

de forma aleatória, totalizando 120 amostras simples, conforme a metodologia proposta por Silva (1999) considerou-se a homogeneidade entre as amostras quanto à cor, textura do solo, topografia, drenagem e cobertura vegetal.

Para as profundidades de 0,80 – 1,00 m foram coletadas três amostras simples, escolhidas de forma aleatória, para a formação de uma amostra composta. Assim, em cada área coletou-se quatro amostras compostas, totalizando 48 amostras simples da camada de 0,80 – 1,00m. As amostras foram coletadas com trado de aço inoxidável, de acordo com procedimentos adotados pela Cetesb (2001), de forma a evitar contaminação.

3.3 Preparo das amostras

As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e transportadas para o galpão da área de solos do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do IEAA/UFAM (Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente / Universidade Federal do Amazonas). Essas amostras foram secas ao ar e após perderem o excesso de umidade o material foi destorreado, homogeneizado e passado em peneira de 2,0 mm de abertura de malha, obtendo-se terra fina seca ao ar (TFSA). Seguindo posteriormente para o laboratório, no qual se processaram as análises físicas e químicas.

3.4 Análises físicas

As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do IEAA/UFAM. Os métodos utilizados, nas análises, consistiram naqueles preconizados pela EMBRAPA (1997). Foram determinadas: composição granulométrica, com o uso do dispersante hidróxido de sódio ($\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$) e a argila dispersa em água, pelo método da pipeta; e agitação mecânica de alta rotação por 15 minutos. A fração argila foi separada

por sedimentação, a areia grossa e fina por tamisação e o silte, calculado por diferença.

3.5 Análises químicas

As análises químicas foram também, em sua maioria, realizadas de acordo com o manual da EMBRAPA (1997), no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do IEAA/UFAM. Determinou-se potenciométricamente o pH em água e KCl 1 mol L⁻¹, na relação 1:2,5 de solo:solução. O teor de carbono orgânico foi determinado por meio da oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) 0,4 mol L⁻¹ em meio sulfúrico e titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol L⁻¹. O alumínio trocável foi determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹, em presença do indicador azul de bromotimol. A acidez potencial (Al + H) foi avaliada por extração com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0.

3.6 Digestão ácida das amostras e controle de qualidade das análises dos metais pesados

A digestão das amostras foi realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) em conformidade com o método 3051A, descrito pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1998).

Previamente, as amostras dos solos foram maceradas em almofariz de ágata, até que passassem em peneira de 0,3 mm de abertura (ABNT n° 50) com malha de aço inoxidável, a fim de impedir contaminações.

Posteriormente, transferiu-se um grama das amostras maceradas para tubos de teflon, adicionando nove mililitros de ácido nítrico (HNO₃) e três mililitros de ácido clorídrico (HCl). Após o fechamento hermético dos tubos, a abertura das amostras ocorreu no forno de microondas (Mars Xpress), sistema fechado, por 13

min e 10 seg, sendo 8 min e 40 seg, tempo necessário para o equipamento atingir a temperatura de 175°C e 4 min e 30 seg o tempo em que as amostras foram mantidas nesta temperatura. Depois do resfriamento (15 seg), as amostras foram transferidas para balões volumétricos certificados (NBR ISO/IEC) de 25 mL e o volume dos balões completado com água destilada. Os extratos foram filtrados através de papel de filtragem lenta, faixa azul (Marcherey-Nagel®).

As digestões foram realizadas em duplicata. Todos os ácidos usados nas análises eram de pureza elevada (Merck, P. A.). Para limpeza e descontaminação, após cada bateria de digestão, os tubos de teflon e vidrarias ficavam mantidos em solução de ácido nítrico (5%) por um período de 24 horas e enxaguados com água destilada.

Para o estabelecimento do controle de qualidade das análises, foi utilizada a amostra de solo com valores certificados para metais – SRM 2709 San Joaquin Soil (Baseline trace element concentrations). O solo SRM 2709 é certificado pelo National Institute of Standards and Technology (NIST, 2002).

3.7 Determinação dos teores de metais e análise estatística dos dados

A determinação dos teores de Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn foi efetuada por espectrometria de emissão ótica (ICP-OES/Optima 7000, Perkin Elmer) com modo de observação dupla (axial e radial) e detector de estado sólido, com sistema de introdução via amostrador automático AS 90 plus. O modo de observação dos elementos (axial ou radial) foi escolhido de acordo com os parâmetros operacionais do equipamento e as recomendações do fabricante.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva (média, mediana e desvio padrão) e correlações lineares de Pearson entre os metais analisados (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn) e destes com alguns atributos químicos (pH e MO) e físicos (argila) do solo, mediante o uso do programa estatístico Statistica 7.0 (STATITICA, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características físicas e químicas dos solos

Os atributos químicos e físicos avaliados apresentaram amplas faixas de variação, em decorrência da extensa área de estudo, variação geológica, topográfica e climática do estado, com teores bastante heterogêneos (Tabela 3).

Os valores de pH, em água, variaram de 3,4 a 4,6 na superfície e, na subsuperfície variou de 2,4 a 5,2 prevalecendo os solos ácidos nas áreas estudadas. De acordo Rieuwerts et al. (2006), o pH exerce grande influência na dinâmica dos íons metálicos catiônicos e, em ambientes de maior acidez, estes íons são mais móveis. Portanto, com base nos valores de pH determinados, os solos em análise parecem proporcionar a elevação do potencial de lixiviação das formas solúveis dos compostos metálicos.

Os teores de carbono orgânico (CO) variaram de 18,45 g kg⁻¹ para o Gleissolo, a 89,92 g kg⁻¹ para o Cambissolo (Tabela 3), essa ampla faixa de variação se deve ao fato das amostras serem originárias de solos e de ambientes fisiográficos diferentes.

A matéria orgânica apresentou os teores mais elevados nos solos oriundos do ambiente de Várzea/Terra Firme (Tabela 3). Tanto a matéria orgânica, quanto os teores de argila participam ativamente na retenção da grande maioria dos metais pesados no solo (ALLEONI et al., 2005; GUILHERME et al., 2005).

Em relação aos atributos físicos, foram observadas diferentes proporções de areia, silte e argila nas amostras analisadas (Tabela 3), essa variação pode estar relacionada aos diferentes tipos de solos estudados.

A maior concentração de areia foi determinada no horizonte subsuperficial de amostras de áreas de Várzea/Terra Firme; o silte destacou-se nas amostras superficiais provenientes de Campo/Floresta; enquanto que a argila sobressaiu nos solos provenientes do Relevo movimentado, tanto para o horizonte superficial, quanto para o subsuperficial,.

Tabela 3: Caracterização física e química dos solos nos diferentes ambientes fisiográficos na região sul do Amazonas.

Perfil	Classes de solos	Prof. cm	Areia	Silte	Argila g kg ⁻¹	C.O.	M.O.	pH (H ₂ O)	pH (KCl) (1:2,5)	ΔpH	H + Al cmolc kg ⁻¹	Al
Campo/Floresta, Humaitá - Am												
1	Cambissolo	0 - 20	239,8	614,3	145,9	26,14	45,07	4,6	3,8	-0,7	5,61	3,15
		80 - 100	238,7	479,9	281,4	19,34	33,34	5,2	3,7	-1,5	8,33	6,00
2	Gleissolo	0 - 20	96,3	688,0	215,8	36,71	63,29	4,4	4,0	-0,4	9,90	2,75
		80 - 100	34,1	529,5	436,5	18,45	31,82	5,1	3,5	-1,6	10,14	9,30
3	Cambissolo	0 - 20	274,8	595,9	129,2	24,97	43,05	3,9	3,7	-0,2	7,01	3,15
		80 - 100	308,3	200,6	491,0	19,40	33,44	2,4	3,7	1,3	7,50	5,35
4	Argissolo	0 - 20	66,0	736,7	197,3	32,91	56,74	4,5	3,5	-1,0	10,97	4,50
		80 - 100	49,4	705,2	245,4	19,85	34,23	4,9	3,6	-1,3	8,16	5,45
Relevo Movimentado, Manicoré - Am												
5	Latossolo	0 - 20	223,3	478,8	297,9	40,0	68,96	4,0	3,9	-0,1	13,28	1,70
		80 - 100	184,9	269,6	545,6	30,54	52,65	4,6	4,3	-0,3	6,43	0,65
6	Argissolo	0 - 20	231,0	546,8	222,3	28,85	49,74	4,4	4,1	-0,4	5,03	0,65
		80 - 100	536,9	0,8	462,4	21,25	36,64	5,2	4,6	-0,6	1,73	0,45
7	Latossolo	0 - 20	598,9	177,7	223,4	28,00	48,27	3,9	3,8	0,0	3,30	1,75
		80 - 100	364,9	265,0	370,1	19,60	33,79	4,5	3,8	-0,7	3,46	1,70
8	Latossolo	0 - 20	255,2	120,0	624,8	29,40	50,68	3,7	3,7	-0,1	8,49	2,50
		80 - 100	174,3	322,0	503,7	23,05	39,75	4,7	4,1	-0,5	3,30	0,95
Várzea/Terra Firme, Humaitá - Am												
9	Latossolo	0 - 20	347,3	490,6	162,0	89,92	155,02	3,4	3,4	-0,1	13,86	3,45
		80 - 100	121,8	784,7	93,5	79,68	137,36	3,9	3,5	-0,4	8,00	4,85
10	Latossolo	0 - 20	499,1	316,8	184,1	26,56	45,78	3,4	3,2	-0,2	11,22	4,80
		80 - 100	681,6	190,1	128,3	19,52	33,65	3,9	4,5	0,6	4,45	3,30
11	Neossolo	0 - 20	16,9	472,9	510,2	87,04	150,05	3,8	3,1	-0,7	12,87	4,65
		80 - 100	6,0	609,8	384,2	83,52	143,98	4,2	3,1	-1,1	7,75	3,20
12	Neossolo	0 - 20	12,3	659,1	328,6	86,72	149,5	4,0	3,2	-0,8	16,58	7,10
		80 - 100	1,1	859,4	139,5	75,20	129,64	4,5	3,3	-1,2	16,33	8,40

4.2 Teores naturais de metais nas amostras de solos da região sul do Amazonas

Dos metais analisados o cádmio, apresentou os valores mais baixos em relação aos demais, sendo detectado tanto no horizonte superficial, quanto na subsuperfície das amostras de Neossolo Flúvico e, foi identificado também no Gleissolo Háptico, no horizonte superficial (Amostra 2, Tabela 4).

De modo geral, observou-se que o ferro apresentou os teores mais elevados, com média de $12,88 \text{ g kg}^{-1}$ para o horizonte superficial e de $18,19 \text{ g kg}^{-1}$ para a subsuperfície dos solos estudados, sendo que as médias mais elevadas para o ferro ocorreram nos solos de várzea (Neossolo Flúvico). Bário, cromo e cobre, respectivamente, constituíram-se como os elementos mais abundantes, após o ferro, manganês e alumínio no horizonte superficial (Tabela 4), enquanto que bário, cromo e zinco, respectivamente, apresentaram os teores mais elevados no horizonte subsuperficial (Tabela 5), após o ferro, manganês e alumínio.

Para a maioria dos metais pesados (Ba, Cd, Co, Zn, Cu, Pb e Fe) analisados neste trabalho, os teores mais altos foram verificados nas áreas de Várzea/Terra Firme; com exceção do cromo, manganês e alumínio, que foram mais abundantes na área de relevo movimentado.

Os teores mais elevados de bário foram observados no horizonte superficial do Neossolo Flúvico ($150,45 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 4), já os valores mais baixos detectados neste horizonte superficial apareceram no Latossolo Vermelho ($3,03 \text{ mg kg}^{-1}$), Latossolo Vermelho-Amarelo ($4,03 \text{ mg kg}^{-1}$) e o Argissolo Vermelho-Amarelo ($4,95 \text{ mg kg}^{-1}$).

Ainda em relação ao bário, porém no horizonte subsuperficial, notou-se que os teores médios, também, foram elevados nos solos provenientes da várzea com variação de $55,48$ a $98,50 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabela 5). Neste horizonte o teor mais baixo para o bário ($1,68 \text{ mg kg}^{-1}$) foi determinado em uma amostra de Latossolo vermelho, oriunda do Relevo movimentado, Manicoré-Am.

Tabela 4: Estatística descritiva dos teores dos metais pesados dos horizontes superficiais de solos da região sul do Amazonas.

Perfil	Classes de solos	Ba	Cd	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Fe	Mn	Al
		----- mg kg ⁻¹ -----						----- g kg ⁻¹ -----			
Campo/Floresta, Humaitá – Am											
1.	Cambissolo Háplico	12,63	0,00	0,20	1,85	2,43	6,08	7,58	8,24	0,03	5,16
2.	Gleissolo Háplico	33,78	0,03	0,28	8,05	16,75	14,28	8,33	3,37	0,13	9,91
3.	Cambissolo Háplico	7,88	0,00	0,25	1,93	1,85	4,20	5,48	6,57	0,26	3,97
4.	Argissolo Vermelho	26,00	0,00	0,45	5,70	3,00	6,85	6,60	8,62	0,37	5,23
Relevo Movimentado, Manicoré – Am											
5.	Latossolo Vermelho	3,03	0,00	0,10	2,63	6,63	6,95	33,50	23,76	0,56	26,02
6.	Argissolo Vermelho-Amarelo	4,95	0,00	1,63	1,55	3,95	9,23	25,85	16,67	7,20	8,78
7.	Latossolo Vermelho-Amarelo	4,03	0,00	1,85	1,10	3,78	8,45	9,08	12,24	6,00	7,18
8.	Latossolo Vermelho-Amarelo	6,83	0,00	3,38	2,95	7,45	11,43	13,63	16,07	7,55	6,12
Várzea/Terra Firme, Humaitá – Am											
9.	Latossolo Amarelo	8,75	0,00	0,05	1,28	3,10	2,55	5,20	5,87	0,01	4,36
10.	Latossolo Amarelo	9,95	0,00	0,20	0,60	3,63	4,93	7,13	7,06	0,19	3,83
11.	Neossolo Flúvico	150,45	0,23	6,48	46,93	21,40	20,18	17,15	22,32	3,07	11,27
12.	Neossolo Flúvico	80,18	0,08	8,28	49,43	16,25	12,63	13,90	23,80	5,74	8,35
	Média	29,04	0,03	1,93	10,33	7,52	8,98	12,78	12,88	2,59	8,35
	Mediana	9,35	0,00	0,36	2,28	3,86	7,70	8,70	10,43	0,47	6,65
	Máxima	150,45	0,23	8,28	49,43	21,40	20,18	33,50	23,80	7,55	26,02
	Mínima	3,03	0,00	0,05	0,60	1,85	2,55	5,20	3,37	0,01	3,83
	Desvio padrão	43,96	0,07	2,76	17,81	6,71	4,96	8,86	7,41	3,12	6,07
	Coeficiente de assimetria	2,36	2,90	1,65	2,00	1,26	1,01	1,52	0,45	0,70	2,55
	Coeficiente de curtose	5,51	8,71	1,73	2,50	0,12	1,00	1,69	-1,39	-1,51	7,45

Tabela 5: Estatística descritiva dos teores dos metais pesados dos horizontes subsuperficiais de solos da região sul do Amazonas.

Perfil	Classes de solos	Ba	Cd	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Fe	Mn	Al
		----- mg kg ⁻¹ -----						----- g kg ⁻¹ -----			
Campo/Floresta, Humaitá – Am											
1.	Cambissolo Háplico	17,33	0,00	0,50	1,68	3,15	8,78	14,63	19,74	0,12	5,30
2.	Gleissolo Háplico	21,88	0,00	0,88	2,80	3,43	12,10	12,35	20,45	0,06	6,03
3.	Cambissolo Háplico	14,23	0,00	0,48	1,00	2,43	6,63	16,70	22,76	0,08	5,95
4.	Argissolo Vermelho	22,65	0,00	0,48	2,28	3,18	6,60	6,13	7,15	0,04	4,27
Relevo Movimentado, Manicoré – Am											
5.	Latossolo Vermelho	1,68	0,00	0,03	1,60	8,85	5,05	24,45	14,32	0,46	19,90
6.	Argissolo Vermelho-Amarelo	8,25	0,00	0,80	0,35	3,93	7,35	24,28	12,45	1,76	11,62
7.	Latossolo Vermelho-Amarelo	5,73	0,00	2,03	2,43	5,85	9,70	9,23	11,50	3,79	7,26
8.	Latossolo Vermelho-Amarelo	15,23	0,00	2,18	2,63	8,55	10,30	19,80	25,96	6,73	10,65
Várzea/Terra Firme, Humaitá – Am											
9.	Latossolo Amarelo	8,40	0,00	0,85	0,00	3,48	2,68	13,73	14,39	0,41	6,87
10.	Latossolo Amarelo	14,45	0,00	0,35	0,00	3,78	4,55	12,03	14,48	0,26	5,37
11.	Neossolo Flúvico	55,48	0,05	6,38	43,53	19,63	19,33	19,15	28,67	1,97	11,69
12.	Neossolo Flúvico	98,50	0,13	8,68	24,88	14,43	8,48	15,95	26,45	7,45	10,40
	Média	23,65	0,01	1,97	6,93	6,72	8,46	15,70	18,19	1,93	8,77
	Mediana	14,84	0,00	0,83	1,98	3,85	7,91	15,29	17,11	0,44	7,06
	Máxima	98,50	0,13	8,68	43,53	19,63	19,33	24,45	28,67	7,45	19,90
	Mínima	1,68	0,00	0,03	0,00	2,43	2,68	6,13	7,15	0,04	4,27
	Desvio padrão	27,27	0,04	2,72	13,38	5,36	4,31	5,59	6,80	2,66	4,39
	Coeficiente de assimetria	2,29	2,78	1,97	2,41	1,65	1,40	0,10	0,10	1,44	1,56
	Coeficiente de curtose	5,34	7,81	3,02	5,35	2,13	3,08	-0,44	-1,14	0,79	2,88

Os teores de bário foram variáveis entre as ordens de solo e crescentes na sequência: Neossolo > Gleissolo > Argissolo > Cambissolos > Latossolo, para os horizontes superficiais (Tabela 4). O teor mais elevado ($150,45 \text{ mg kg}^{-1}$) nesse horizonte foi verificado no perfil 11 (Neossolo Flúvico). Nos horizontes subsuperficiais (Tabela 5) os teores de bário também foram variáveis entre as ordens de solo e crescentes na sequência: Neossolo > Argissolo > Gleissolo > Cambissolos > Latossolo. E o teor mais elevado ($98,50 \text{ mg kg}^{-1}$) foi observado no perfil 12 (Neossolo Flúvico). Os perfis onde ocorreram os teores mais elevados do bário são provenientes de áreas de várzea, seu material de origem são originados de sedimentos inconsolidados de planície fluvial, com sedimentos aluviais, não apresentam rochas e sua formação geológica é proveniente dos aluviões atuais (CAMPOS, 2009).

Savazi (2008) afirma que o bário é oriundo do intemperismo de fontes naturais. Podendo, em alguns ambientes, ser constatada a presença de bário como substituto do potássio (K) na composição de alguns minerais. O teor mais elevado deste metal em solos de Pernambuco ($446,03 \text{ mg kg}^{-1}$), segundo Biondi et al. (2011a), foi encontrado em um Nitossolo. Avaliando solos do cerrado brasileiro, Marques et al. (2004) detectaram teor médio de 41 mg kg^{-1} para o bário, enquanto que os resultados obtidos nesta pesquisa apontam para um teor médio (Tabela 4 e 5), de $29,04 \text{ mg kg}^{-1}$ (horizontes superficiais) e de $23,65 \text{ mg kg}^{-1}$ (horizontes subsuperficiais) para os solos estudados da região Sul do Amazonas.

Quanto ao cádmio, verificou-se que este elemento não foi detectado na maioria das amostras analisadas, estando presente somente no horizonte superficial (Tabela 4), da amostra de Gleissolo Háplico (perfil 2) com teor médio de $0,03 \text{ mg kg}^{-1}$. Esses solos segundo Campos (2009) possuem formação geológica proveniente de aluviões indiferenciados ou antigos e material de origem constituído por sedimentos aluviais, e neste ambiente ocorre a transição campo/floresta.

Nas amostras de Neossolo Flúvico (perfil 11 e 12), os teores de cádmio variaram de $0,23$ e $0,08 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Nos horizontes subsuperficiais (Tabela 5), esse metal foi observado apenas nos solos provenientes da várzea, ou seja, nos perfis 11 e 12, com teores de $0,05$ e $0,13 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente.

Os teores de cobalto, no horizonte superficial (Tabela 4), apresentaram uma ampla faixa de variação de $0,20 \text{ mg kg}^{-1}$ (Cambissolo Háplico) a $8,28 \text{ mg kg}^{-1}$

(Neossolo Flúvico). Essas amostras são originárias do ambiente de Várzea/Terra Firme. Quanto ao horizonte subsuperficial (Tabela 5), a faixa de variação também foi alta obtendo-se de $0,03 \text{ mg kg}^{-1}$ (Latossolo Vermelho) a $8,68 \text{ mg kg}^{-1}$ (Neossolo Flúvico), é notório que a variação do teor de cobalto em ambos os perfis foi bastante similar, verificando-se vastas diferenças entre os teores de cobalto tanto nos horizontes superficiais, quanto nos subsuperficiais. O teor médio verificado para os horizontes superficiais ($1,93 \text{ mg kg}^{-1}$), de maneira geral, é inferior aos obtidos por Biondi et al. (2011b), para solos das três regiões fisiográficas do estado de Pernambuco, e situa-se, também, abaixo dos teores determinados por Santos (2011), para solos dos estados de Mato Grosso e Rondônia, e por Caires (2009), para solos do estado de Minas Gerais.

Os teores médios de zinco (Tabela 4), observados para horizontes superficiais apresentaram ampla variação de $0,60 \text{ mg kg}^{-1}$ no perfil 10 (Latosolos) a $49,43 \text{ mg kg}^{-1}$ no perfil 12 (Neossolo Flúvico). Os Latossolos, em geral, apresentaram os menores teores desse metal, provavelmente em função dos diferentes materiais de origem. Contudo, nos horizontes superficiais, o teor médio ($10,33 \text{ mg kg}^{-1}$), deste elemento, ficou muito abaixo quando comparado com os valores obtidos para os solos de Minas Gerais (CAIRES, 2009) e para os solos de Pernambuco (BIONDI et al. 2011b), cujo valor foi de aproximadamente 61 mg kg^{-1} em Cambissolos no horizonte superficial. Nos horizontes subsuperficiais a variação também foi bastante expressiva variando de $0,00$ a $43,53 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabela 5), em solos de terra firme e várzea, respectivamente. Na maioria dos perfis analisados, o zinco apresentou teores baixíssimos, detectando-se os teores mais elevados no Neossolo Flúvico, permitindo que seu teor médio neste horizonte ficasse em torno de $6,93 \text{ mg kg}^{-1}$.

Assim, como os demais elementos descritos anteriormente, o cobre apresentou ampla faixa de variação em seus teores, tanto nos horizontes superficiais (Tabela 4), quanto nos subsuperficiais (Tabela 5). Cerca de 66,7% dos valores foram inferiores a 7 mg kg^{-1} . Porém, os teores médios ficaram próximos aos obtidos para solos continentais de Pernambuco por Biondi et al. (2011b). Contudo, de forma geral, esses valores podem ser considerados baixos quando comparados aos de solos de outras regiões brasileiras, onde os teores de cobre variaram de 3 e 238 mg kg^{-1} , conforme observado por Campos et al. (2003) ao analisarem 19

Latossolos de diferentes regiões. Neste estudo os teores mais elevados foram observados para a ordem dos Neossolos, para ambos os horizontes avaliados. Os teores de cobre variaram de 1,85 a 21,40 mg kg⁻¹ nos horizontes superficiais e de 2,43 a 19,63 mg kg⁻¹ horizontes subsuperficiais.

Os teores totais de chumbo nos solos analisados apresentaram-se bastante variável. Na camada superficial ficou entre 2,55 mg kg⁻¹ e 20,18 mg kg⁻¹ (Tabela 4), enquanto que na camada subsuperficial variou de 2,68 mg kg⁻¹ a 19,33 mg kg⁻¹ (Tabela 5), nos perfis 09 e 11, respectivamente, Argissolo e Neossolo. Ressalta-se, porém, que estes perfis são pertencentes à mesma área, sendo o primeiro de ambiente de terra firme e o outro de área de várzea. O Neossolo apresentou um teor total pouco acima do VRQ (17,00 mg kg⁻¹) determinado pelo CONAMA (2009). Porém, quando comparados com os valores definidos em outras regiões do Brasil, os valores obtidos neste estudo são considerados baixos. Em Pernambuco, análises realizadas por Biondi (2010), determinaram teores de chumbo variando entre 41,45 e 61,90 mg kg⁻¹ em Argissolo Vermelho, no horizonte superficial e subsuperficial, respectivamente.

Os teores naturais de cromo (Tabela 4 e 5) variaram de 5,20 a 33,50 mg kg⁻¹ na camada superficial (perfil 9 e 5, respectivamente) e de 6,13 a 24,45 mg kg⁻¹ na camada subsuperficial (perfil 4 e 5, respectivamente). Tais valores ficaram dentro da faixa estabelecida por Biondi et al. (2011b) para Solos de Referência de Pernambuco (1,45 – 120,00 mg kg⁻¹). Os teores médios de cromo (12,78 e 15,70 mg kg⁻¹, camada superficial e subsuperficial, respectivamente) encontrados foram inferiores aos obtidos por Preston (2014) (23,04 mg kg⁻¹), Fadigas et. (2010) (26,80 mg kg⁻¹), Biondi (2010) (27,14 mg kg⁻¹) e por Caires (2009) (131,9 mg kg⁻¹). Estudos realizados por Preston (2014) no Rio Grande do Norte permitem concluir que o material de origem e os processos pedogenéticos refletem diretamente nos teores de cromo nos solos, visto que, em sua pesquisa os solos mais argilosos, desenvolvidos sobre sedimentos calcários, apresentaram os teores mais elevados deste elemento.

Os teores de ferro observados nos horizontes superficiais variaram de 3,37 (Gleissolo Háptico) a 23,80 g kg⁻¹ (Neossolos Flúvicos) (Perfis 2 e 12, Tabela 4). Nos horizontes subsuperficiais a variação foi bem similar aos horizontes anteriores ficando sua média em torno 18,19 g kg⁻¹ (Tabela 5). Contudo, estes teores são bem

menores que os relatados por outros pesquisadores que analisaram solos associados a rochas máficas e ultramáficas (BURAK, 2008; CAIRES, 2009). Embora o ferro não esteja diretamente referenciado em legislações ambientais, o conhecimento do seu teor natural, em solos da região Sul do Amazonas é importante, pois, além de ser um micronutriente vegetal, a presença deste elemento como constituinte de rochas faz com que tenham importância no estudo da geoquímica dos solos, inclusive indicando, indiretamente, os teores de outros metais pesados (BIONDI, 2010).

Assim como o elemento ferro, o manganês também é um micronutriente de plantas que se destaca na constituição de rochas e sua presença, mesmo que indireta, influencia nos teores de outros metais. Os teores de manganês foram bastante variáveis. Sua concentração na camada superficial (Tabela 4) ficou entre 0,01 g mg⁻¹ (perfil 9) e 7,55 g mg⁻¹ (perfil 8) ambas em amostras de Latossolo, apresentando um teor médio de cerca de 2,59 g mg⁻¹. Na camada subsuperficial (Tabela 5) os valores dos teores naturais foi de 0,04 g mg⁻¹ (perfil 4, Argissolo) a 7,45 g mg⁻¹ (perfil 12, Neossolo), com o valor médio em torno de 1,93 g mg⁻¹.

Os valores definidos para o manganês, neste trabalho, são considerados baixos quando comparados aos valores determinados para outras regiões brasileiras. Altos teores de manganês podem aparecer em solos onde este elemento encontra-se associado à presença de rochas máficas na litologia da região (CAIRES, 2009; HADLICH et al., 2007).

Burt et al. (2003), ao compararem teores de manganês em solos com e sem ação antropogênica, confirmou que a atividade humana não altera o teor deste elemento, e, portanto, considerou esta ocorrência como sendo reflexo da relativa abundância e intensa dinâmica deste elemento, o qual possui distintos estados de oxidação no solo e cuja especiação é dependente do pH e potencial de oxi-redução. Podendo ser essa a razão da inexistência de valores orientadores deste metal em solos definidos por órgãos ambientais.

Na camada superficial os teores totais de alumínio (Tabela 4), das amostras de solos analisadas, apresentaram variação de 3,83 g kg⁻¹ (perfil 10, Latossolo Amarelo) a 26,02 g kg⁻¹ (perfil 5, Latossolo Vermelho). Já na camada subsuperficial (Tabela 5) a variação entre os teores foi consideravelmente menor, destacando o perfil 4 (Argissolo) com 4,27 g kg⁻¹ e o perfil 5 (Latossolo) com 19,90 g

kg⁻¹. Os teores médios foram 8,35 e 8,77 g kg⁻¹, na camada superficial e subsuperficial, respectivamente. Esses valores ficaram abaixo dos valores definidos por Caires (2009), para solo de Minas Gerais, os quais ficaram em torno 20 a 180 g kg⁻¹. Acredita-se que por não estarem definidos os valores desse elemento na legislação ambiental, muitos pesquisadores não fazem a determinação de seus teores nos solos estudados. Porém, assim como os elementos descritos anteriormente, o alumínio também tem sua presença destacada nos solos, influenciando indiretamente os teores de outros metais.

4.3 Teores naturais de metais pesados nos solos dos diferentes ambientes fisiográficos

Os teores naturais médios de cobalto (0,29 mg kg⁻¹), chumbo (6,99 mg kg⁻¹), cromo (7,85 mg kg⁻¹), ferro (6,70 g kg⁻¹), manganês (0,20 g kg⁻¹), alumínio (6,07 g kg⁻¹) dos horizontes superficiais (Tabela 6) e de cobalto (0,58 mg kg⁻¹), cobre (6,79 mg kg⁻¹), cromo (12,45 mg kg⁻¹), manganês (0,08 g kg⁻¹), alumínio (5,38 g kg⁻¹) dos horizontes subsuperficiais (Tabela 7) determinados para a área de Campo/Floresta foram muito baixos, quando comparados aos demais pedoambientes da região. Isso pode ter ocorrido porque solos de campos naturais podem está mais expostos e, portanto, mais propensos a ocorrência de erosão, além da baixa reposição de matéria orgânica (Xavier, 2013).

No ambiente de relevo movimentado os valores dos teores naturais, da minoria, dos metais pesados analisados, apresentaram-se entre as médias estimadas para os solos oriundos do Campo/Floresta e os solos provenientes da Várzea/Terra Firme. Porém, outros elementos, apresentaram valores mais altos em relação aos demais ambientes, tais como: o cromo (20,51; 19,44 mg kg⁻¹), o manganês (5,33; 3,19 g kg⁻¹) e o alumínio (12,02; 12,36 g kg⁻¹), nos horizontes superficiais (Tabela 6) e subsuperficiais (Tabela 7), respectivamente. O ferro (17,18 g kg⁻¹) teve um teor mais elevado somente no horizonte superficial.

Tabela 6: Estatística descritiva dos teores naturais de metais pesados nos horizontes superficiais dos diferentes ambientes fisiográficos da região sul do Amazonas.

Parâmetros	Ba	Cd	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Fe	Mn	Al
	----- mg kg ⁻¹ -----						----- g kg ⁻¹ -----			
	Campo/Floresta, Humaitá – Am									
Média	20,07	0,01	0,29	4,38	6,01	7,85	6,99	6,70	0,20	6,07
Mediana	19,31	0,00	0,26	3,81	2,71	6,46	7,09	7,41	0,20	5,20
Máxima	33,78	0,03	0,45	8,05	16,75	14,28	8,33	8,62	0,37	9,91
Mínima	7,88	0,00	0,20	1,85	1,85	4,20	5,48	3,37	0,03	3,97
Desvio padrão	11,93	0,01	0,11	3,04	7,18	4,43	1,23	2,39	0,15	2,63
Coeficiente de assimetria	0,22	2,00	1,50	0,49	1,97	1,62	-0,36	-1,28	0,03	1,70
Coeficiente de curtose	-3,35	4,00	2,65	-3,23	3,91	2,95	-1,16	0,99	-1,98	3,21
	Relevo Movimentado, Manicoré – Am									
Média	4,71	0,00	1,74	2,06	5,45	9,01	20,51	17,18	5,33	12,02
Mediana	4,49	0,00	1,74	2,09	5,29	8,84	19,74	16,37	6,60	7,98
Máxima	6,83	0,00	3,38	2,95	7,45	11,43	33,50	23,76	7,55	26,02
Mínima	3,03	0,00	0,10	1,10	3,78	6,95	9,08	12,24	0,56	6,12
Desvio padrão	1,62	0,00	1,34	0,87	1,87	1,87	11,19	4,80	3,25	9,39
Coeficiente de assimetria	0,70	-	0,00	-0,11	0,16	0,52	0,25	0,97	-1,76	1,92
Coeficiente de curtose	0,34	-	1,36	-4,12	-5,01	0,84	-3,15	1,97	3,09	3,72
	Várzea/Terra Firme, Humaitá – Am									
Média	62,33	0,08	3,75	24,56	11,09	10,07	10,84	14,76	2,25	6,95
Mediana	45,06	0,04	3,34	24,10	9,94	8,78	10,51	14,69	1,63	6,35
Máxima	150,45	0,23	8,28	49,43	21,40	20,18	17,15	23,80	5,74	11,27
Mínima	8,75	0,00	0,05	0,60	3,10	2,55	5,20	5,87	0,01	3,83
Desvio padrão	67,57	0,11	4,25	27,29	9,17	7,99	5,62	9,61	2,72	3,51
Coeficiente de assimetria	0,85	1,41	0,15	0,01	0,26	0,64	0,18	0,01	0,77	0,54
Coeficiente de curtose	-1,32	1,50	-5,12	-5,96	-4,47	-1,76	-3,90	-5,81	-1,73	-2,76

Tabela 7: Estatística descritiva dos teores naturais de metais pesados nos horizontes subsuperficiais dos diferentes ambientes fisiográficos da região sul do Amazonas.

Parâmetros	Ba	Cd	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Fe	Mn	Al
	----- mg kg ⁻¹ -----						----- g kg ⁻¹ -----			
	Campo/Floresta, Humaitá – Am									
Média	19,02	0,00	0,58	1,94	3,04	8,53	12,45	17,52	0,08	5,38
Mediana	19,60	0,00	0,49	1,98	3,16	7,70	13,49	20,10	0,07	5,62
Máxima	22,65	0,00	0,88	2,80	3,43	12,10	16,70	22,76	0,12	6,03
Mínima	14,23	0,00	0,48	1,00	2,43	6,60	6,13	7,15	0,04	4,27
Desvio padrão	3,97	0,00	0,20	0,78	0,43	2,59	4,58	7,03	0,03	0,81
Coeficiente de assimetria	-0,47	-	1,98	-0,23	-1,48	1,21	-1,16	-1,80	0,40	-1,19
Coeficiente de curtose	-3,04	-	3,92	-1,14	2,77	0,53	1,32	3,42	-0,07	0,46
	Relevo Movimentado, Manicoré – Am									
Média	7,72	0,00	1,26	1,75	6,79	8,10	19,44	16,06	3,19	12,36
Mediana	6,99	0,00	1,41	2,01	7,20	8,53	22,04	13,39	2,78	11,14
Máxima	15,23	0,00	2,18	2,63	8,85	10,30	24,45	25,96	6,73	19,90
Mínima	1,68	0,00	0,03	0,35	3,93	5,05	9,23	11,50	0,46	7,26
Desvio padrão	5,69	0,00	1,03	1,03	2,34	2,40	7,14	6,71	2,73	5,36
Coeficiente de assimetria	0,70	-	-0,45	-1,07	-0,54	-0,68	-1,51	1,82	0,71	1,26
Coeficiente de curtose	0,89	-	-3,27	0,05	-2,84	-1,74	1,96	3,36	-0,49	2,28
	Várzea/Terra Firme, Humaitá – Am									
Média	44,21	0,04	4,06	17,10	10,33	8,76	15,21	20,99	2,52	8,58
Mediana	34,96	0,03	3,61	12,44	9,10	6,51	14,84	20,46	1,19	8,63
Máxima	98,50	0,13	8,68	43,53	19,63	19,33	19,15	28,67	7,45	11,69
Mínima	8,40	0,00	0,35	0,00	3,48	2,68	12,03	14,39	0,26	5,37
Desvio padrão	41,80	0,06	4,11	21,16	8,02	7,45	3,08	7,63	3,38	2,96
Coeficiente de assimetria	0,81	1,19	0,25	0,63	0,35	1,42	0,59	0,07	1,71	-0,06
Coeficiente de curtose	-1,35	0,44	-4,43	-2,49	-4,00	1,83	-0,55	-5,58	2,84	-3,93

A área de Várzea/Terra Firme foi a que apresentou os maiores teores naturais de metais pesados para a maioria dos elementos, destacando-se o bário (62,33; 44,21 mg kg⁻¹), cádmio (0,08; 0,04 mg kg⁻¹), cobalto (3,75; 4,06 mg kg⁻¹), zinco (24,56; 17,10 mg kg⁻¹), cobre (11,06; 10,33 mg kg⁻¹), chumbo (10,07; 8,76 mg kg⁻¹), nos horizontes superficiais (Tabela 6) e subsuperficiais (Tabela 7), respectivamente. O ferro (20,99 g kg⁻¹) apresentou teor mais alto somente no horizonte subsuperficial. Segundo Xavier (2013) em área de várzea, as baixas taxas de decomposição de material vegetal contribuem para a mínima lixiviação através do perfil do solo, o que ocasiona o acúmulo de metais pesados, e outras substâncias, nos solos desses ambientes. De modo geral, todos os teores naturais de metais pesados estabelecidos para as três áreas de estudo foram considerados inferiores em comparação aos teores determinados pelo CONAMA (2009), e também para os solos de outras regiões brasileiras.

Os teores de bário, cádmio e cobre apresentaram ampla variação média nesses ambientes. Nos horizontes superficiais (Tabela 6) ficaram entre 4,71; 20,07 e 62,33 mg kg⁻¹, 0,00; 0,01 e 0,08 mg kg⁻¹, 0,29; 1,74 e 3,75 mg kg⁻¹, respectivamente. Enquanto, que nos horizontes subsuperficiais (Tabela 7) essa variação ficou em torno de 7,72; 19,02 e 44,21 mg kg⁻¹ (Ba), 0,00 e 0,04 mg kg⁻¹ (Cd) e 0,58; 1,26 e 4,06 mg kg⁻¹ (Co).

Contudo, nas áreas de Campo/Floresta predominou os valores mais baixos para esses elementos (Ba, Cd e Co), enquanto que na Várzea/Terra Firme observaram-se os teores mais elevados desses elementos. Essa concentração de metais pesados, indica a predisposição de mantimento destes elementos, pois essa área apresenta solos localizados em ambientes mais conservadores, como as várzeas, para os quais, constantemente, são depositados elementos lixiviados de solos do entorno, provavelmente, conservando-se durante o tempo de formação. Assim, resultando em teores naturais mais elevados em relação aos demais solos da região sul do estado do Amazonas, os quais podem ser constituídos por material de origem imensamente pobre quanto à presença destes elementos.

Os valores de zinco, cobre, chumbo e cromo variaram nas três regiões fisiográficas. O zinco apresentou médias de 4,38; 2,86 e 24,56 mg kg⁻¹ nos horizontes superficiais (Tabela 6), e 1,94; 1,75 e 17,10 mg kg⁻¹, em subsuperfície (Tabela 7), para as regiões de Campo/Floresta, Relevo Movimentado e Várzea/Terra

Firme, respectivamente. Os valores de cobre foram maiores, em média, para os solos da Várzea/Terra Firme, com 11,09 e 10,33 mg kg⁻¹ (Tabela 6), para horizontes superficiais e sub superficiais, respectivamente, seguidos pelo Relevo Movimentado, com valores de 5,45 e 6,79 mg kg⁻¹, e Campo/Floresta 6,01 e 3,04 mg kg⁻¹.

O chumbo apresentou uma pequena faixa de variação, mantendo as médias bem próximas nas três regiões fisiográficas, destacando-se no horizonte superficial (Tabela 6), os valores médios de 7,85; 9,01 e 10,07 mg kg⁻¹, para Campo/Floresta, Relevo Movimentado e Várzea/Terra Firme, respectivamente. E na subsuperfície 8,76; 8,10 e 8,53 mg kg⁻¹, neste último horizonte as variações foram mínimas (Tabela 7).

Os teores médios de cromo (Tabela 6), nos horizontes superficiais foram de 6,99 mg kg⁻¹; 20,51 mg kg⁻¹ e 10,84 mg kg⁻¹ no Campo/Floresta, Relevo Movimentado e Várzea/Terra Firme, respectivamente. Teor médio semelhante ao da superfície foi observado nos horizontes subsuperficiais (Tabela 7) com média de 12,45; 19,44 e 15,21 mg kg⁻¹, Campo/Floresta, Relevo Movimentado e Várzea/Terra Firme, respectivamente.

Nos solos do Relevo Movimentado (Tabela 6) foram observados os teores mais elevados de ferro, em horizontes superficiais (17,18 g kg⁻¹). Estes valores foram seguidos pelos teores de ferro na Várzea/Terra Firme (14,76 g kg⁻¹) e no Campo/Floresta (6,70 g kg⁻¹). Nos horizontes subsuperficiais (Tabela 7) encontraram-se teores mais elevados que em superfície, com médias de 20,99; 17,52 e 16,06 g kg⁻¹ para as regiões de Várzea/Terra Firme, Campo/Floresta e relevo Movimentado, respectivamente.

Os teores naturais de manganês (Tabela 6) foram bastante similares nas três áreas fisiográficas, tanto na superfície (5,33; 2,25 e 0,20 g kg⁻¹), para os solos do Relevo Movimentado, Várzea/Terra Firme e Campo/Floresta, respectivamente; quanto na subsuperfície (3,19; 2,52 e 0,08 g kg⁻¹).

Nos solos provenientes do Relevo Movimentado (Tabela 6 e 7), o alumínio apresentou os maiores teores naturais (12,02 e 12,36 g kg⁻¹), nos horizontes superficiais e subsuperficiais, respectivamente; sendo esses valores muito semelhantes para ambos os horizontes. Os solos coletados em áreas de Campo/Floresta apresentaram as menores concentrações tanto na superfície (6,07 g kg⁻¹), quanto na subsuperfície (5,38 g kg⁻¹). Finalmente, os solos oriundo da

Várzea/Terra Firme (Tabela 6 e 7) exibiram os teores médios intermediários entre os dois ambientes anteriores, com média de 6,95 e 8,58 g kg⁻¹, para o horizonte superficial e subsuperficial, respectivamente.

4.4 Teores naturais de metais pesados nas classes de solos estudadas na região Sul do Amazonas

Após as análises dos teores de metais pesados por classes de solos tanto nos horizontes superficial (Tabela 8), quanto no subsuperficial (Tabela 9), constatou-se que os Neossolos apresentaram os teores mais abundantes de metais pesados, na seguinte ordem crescente: Cd > Co > Pb > Cu > Zn > Ba > Mn > Fe.

Apesar desses valores serem mais elevados em relação às demais classes de solos estudadas neste trabalho, quando comparados com os solos de São Paulo (CETESB, 2014) e de Minas Gerais (COPAM, 2011), por exemplo, tais teores podem ser considerados relativamente baixos e inferiores. As características químicas e físicas dos solos, bem como o material de origem e a pedogênese da região, podem ter contribuído para os reduzidos teores naturais obtidos nos solos da região Sul do Amazonas.

Os teores naturais definidos durante as análises foram muito semelhantes aos valores determinados para os solos do estado da Paraíba (ALMEIDA JÚNIOR, 2014) e aos valores estabelecidos para os solos de referência de Pernambuco (BIONDI, 2010). Contudo, nas principais classes de solos os teores naturais de metais pesados apresentaram a seguinte ordem crescente no horizonte superficial (Tabela 8): Cd > Co > Cr > Pb > Cu > Zn > Ba > Mn > Al > Fe; e no horizonte subsuperficial (Tabela 9): Cd > Co > Pb > Cu > Cr > Zn > Ba > Mn > Al > Fe. Somente o cromo tem sua posição alterada, de uma maneira geral, aparece como o terceiro elemento mais abundante no horizonte subsuperficial, enquanto que no horizonte subsuperficial surge em quinta posição.

Tabela 8: Estatística descritiva de teores naturais de metais pesados encontrados nos horizontes superficiais das principais classes de solos da região sul do Amazonas.

Parâmetros	Ba	Cd	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Fe	Mn	Al
	----- mg kg ⁻¹ -----					----- g kg ⁻¹ -----				
CAMBISSOLO										
Média	10,25	0,00	0,23	1,89	2,14	5,14	6,53	7,41	0,14	4,56
Mediana	10,25	0,00	0,23	1,89	2,14	5,14	6,53	7,41	0,14	4,56
Máxima	12,63	0,00	0,25	1,93	2,43	6,08	7,58	8,24	0,26	5,16
Mínima	7,88	0,00	0,20	1,85	1,85	4,20	5,48	6,57	0,03	3,97
Desvio padrão	3,36	0,00	0,04	0,05	0,41	1,33	1,48	1,18	0,17	0,84
GLEISSOLO										
Média	33,78	0,03	0,28	8,05	16,75	14,28	8,33	3,37	0,13	9,91
Mediana	33,78	0,03	0,28	8,05	16,75	14,28	8,33	3,37	0,13	9,91
Máxima	33,78	0,03	0,28	8,05	16,75	14,28	8,33	3,37	0,13	9,91
Mínima	33,78	0,03	0,28	8,05	16,75	14,28	8,33	3,37	0,13	9,91
ARGISSOLO										
Média	15,48	0,00	1,04	3,63	3,48	8,04	16,23	12,64	3,78	7,01
Mediana	15,48	0,00	1,04	3,63	3,48	8,04	16,23	12,64	3,78	7,01
Máxima	26,00	0,00	1,63	5,70	3,95	9,23	25,85	16,67	7,20	8,78
Mínima	4,95	0,00	0,45	1,55	3,00	6,85	6,60	8,62	0,37	5,23
Desvio padrão	14,88	0,00	0,83	2,93	0,67	1,68	13,61	5,69	4,83	2,51

LATOSSOLO										
Média	6,52	0,00	1,12	1,71	4,92	6,86	13,71	13,00	2,86	9,50
Mediana	6,83	0,00	0,20	1,28	3,78	6,95	9,08	12,24	0,56	6,12
Máxima	9,95	0,00	3,38	2,95	7,45	11,43	33,50	23,76	7,55	26,02
Mínima	3,03	0,00	0,05	0,60	3,10	2,55	5,20	5,87	0,01	3,83
Desvio padrão	2,97	0,00	1,47	1,02	1,98	3,38	11,50	7,28	3,62	9,33
NEOSSOLO										
Média	115,31	0,15	7,38	48,18	18,83	16,40	15,53	23,06	4,40	9,81
Mediana	115,31	0,15	7,38	48,18	18,83	16,40	15,53	23,06	4,40	9,81
Máxima	150,45	0,23	8,28	49,43	21,40	20,18	17,15	23,80	5,74	11,27
Mínima	80,18	0,08	6,48	46,93	16,25	12,63	13,90	22,32	3,07	8,35
Desvio padrão	49,69	0,11	1,27	1,77	3,64	5,34	2,30	1,05	1,89	2,07

Tabela 9: Estatística descritiva de teores naturais de metais pesados encontrados nos horizontes subsuperficiais das principais classes de solos da região sul do Amazonas.

Parâmetros	Ba	Cd	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Fe	Mn	Al
	----- mg kg ⁻¹ -----					----- g kg ⁻¹ -----				
CAMBISSOLO										
Média	15,78	0,00	0,49	1,34	2,79	7,70	15,66	21,25	0,10	5,62
Mediana	15,78	0,00	0,49	1,34	2,79	7,70	15,66	21,25	0,10	5,62
Máxima	17,33	0,00	0,50	1,68	3,15	8,78	16,70	22,76	0,12	5,95
Mínima	14,23	0,00	0,48	1,00	2,43	6,63	14,63	19,74	0,08	5,30
Desvio padrão	2,19	0,00	0,02	0,48	0,51	1,52	1,47	2,13	0,02	0,46
GLEISSOLO										
Média	21,88	0,00	0,88	2,80	3,43	12,10	12,35	20,45	0,06	6,03
Mediana	21,88	0,00	0,88	2,80	3,43	12,10	12,35	20,45	0,06	6,03
Máxima	21,88	0,00	0,88	2,80	3,43	12,10	12,35	20,45	0,06	6,03
Mínima	21,88	0,00	0,88	2,80	3,43	12,10	12,35	20,45	0,06	6,03
ARGISSOLO										
Média	15,45	0,00	0,64	1,31	3,55	6,98	15,20	9,80	0,90	7,94
Mediana	15,45	0,00	0,64	1,31	3,55	6,98	15,20	9,80	0,90	7,94
Máxima	22,65	0,00	0,80	2,28	3,93	7,35	24,28	12,45	1,76	11,62
Mínima	8,25	0,00	0,48	0,35	3,18	6,60	6,13	7,15	0,04	4,27
Desvio padrão	10,18	0,00	0,23	1,36	0,53	0,53	12,83	3,75	1,22	5,20

LATOSSOLO										
Média	9,10	0,00	1,09	1,33	6,10	6,46	15,85	16,13	2,33	10,01
Mediana	8,40	0,00	0,85	1,60	5,85	5,05	13,73	14,39	0,46	7,26
Máxima	15,23	0,00	2,18	2,63	8,85	10,30	24,45	25,96	6,73	19,90
Mínima	1,68	0,00	0,03	0,00	3,48	2,68	9,23	11,50	0,26	5,37
Desvio padrão	5,77	0,00	0,97	1,27	2,55	3,36	6,18	5,64	2,87	5,85
NEOSSOLO										
Média	76,99	0,09	7,53	34,20	17,03	13,90	17,55	27,56	4,71	11,04
Mediana	76,99	0,09	7,53	34,20	17,03	13,90	17,55	27,56	4,71	11,04
Máxima	98,50	0,13	8,68	43,53	19,63	19,33	19,15	28,67	7,45	11,69
Mínima	55,48	0,05	6,38	24,88	14,43	8,48	15,95	26,45	1,97	10,40
Desvio padrão	30,42	0,05	1,63	13,19	3,68	7,67	2,26	1,57	3,88	0,91

De modo geral, os Neossolos (Tabela 8 e 9) apresentaram os teores médios mais elevados de metais pesados, principalmente Cd, Co, Cu, Zn e Ba, em relação ao demais tipos de solos. Analisando apenas o Cádmio nota-se que na maioria das classes de solos este elemento não foi detectado, porém, nos Neossolos apresentou uma média natural de 0,15 e 0,09 mg kg⁻¹, nos horizontes superficial e subsuperficial, respectivamente. Os demais metais como colbato (7,38 – 7,53 mg kg⁻¹), cobre (18,83 – 17,03 mg kg⁻¹), zinco (48,18 – 34,20 mg kg⁻¹) e bário (115,31 – 76,99 mg kg⁻¹) apresentaram valores muito acima da média dos teores naturais definidos para as demais classes.

Certamente as características químicas e físicas dessa classe, bem como, a topografia da região onde se encontravam contribuíram para essa elevada concentração desses metais. Uma vez que, as amostras foram retiradas de ambientes de várzea, situada as margens do rio Madeira, do qual adquire diversos materiais, originários de diferentes locais. Acredita-se que os elementos depositados nesses solos podem ser trazidos em consequência da lixiviação de áreas de terra firme das proximidades da Várzea, ou ainda, podem ser oriundos de locais mais longínquos, provavelmente dos Andes e, possivelmente ser assentados nesse ambiente durante o período das cheias, nas quais essas áreas ficam submersas nas águas do rio Madeira.

Além disso, os Neossolos são considerados solos “novos”, pois foram originados recentemente, no período Holoceno; sua litologia é formada por sedimentos aluviais e; sedimentos inconsolidados de planícies fluviais constituem seu material de origem. As amostras desse tipo de solo foram coletadas em área de Várzea, de maneira geral não apresentavam rochas, com relevo do tipo plano, sem erosão aparente e com drenagem do tipo moderada a imperfeita (Campos, 2009).

O solo do tipo Gleissolo foi encontrado em apenas um perfil das áreas de coleta, exatamente no ambiente de Campo/Floresta. Os teores naturais de metais pesados encontrados neste solo foram os que mais se aproximaram dos valores definidos para os Neossolos. O cádmio foi detectado apenas nesses dois tipos de solos, sendo que no Gleissolo, somente no horizonte superficial (Tabela 8) foi possível definir seu teor (0,03 mg kg⁻¹). Nos horizontes superficiais sobressaíram além do cádmio, o cobre (16,75 mg kg⁻¹) e o chumbo (14,28 mg kg⁻¹), enquanto que

no horizonte subsuperficial (Tabela 9), somente o chumbo ($12,10 \text{ mg kg}^{-1}$) apresentou teor natural próximo ao determinado para os Neossolos.

O Gleissolo foi coletado em uma área levemente deprimida, sob Campo Natural; aluviões indiferenciados ou antigos constituem a litologia do local; seu período de formação corresponde ao Holoceno e é formado por sedimentos Aluviais. Sendo proveniente de um ambiente não pedregoso e não rochoso. O relevo do local é plano e as amostras foram coletadas em Campo Baixo, sem a presença de erosão, pois o ambiente é mal drenado (CAMPOS, 2009).

Devido às amostras de Argissolos serem provenientes de dois pedoambientes distintos (Campo/Floresta e Relevo Movimentado), esta classe sobressaiu das demais, especialmente pela diferença de valores máximos e mínimos observados na maioria dos elementos analisados (Ba, Co, Cr, Mn, Fe e Al). Provavelmente, essa variação nos teores de metais pesados esteja diretamente relacionada com diferença no processo de formação e material de origem do solo, em cada ambiente fisiográfico.

As amostras de Argissolos coletadas no ambiente de Campo/Floresta, especificamente, em uma área de topo plano sob Floresta, onde a litologia do local é constituída por aluviões indiferenciados ou antigos e, portanto, o material de origem é formado por sedimentos aluviais. A área não possui rochas e/ou pedras. Localizado em área de Floresta, o relevo é plano apresentando erosão do tipo laminar ligeira, sendo moderada a imperfeitamente drenado. Por outro lado, as amostras de Argissolos coletadas em ambiente de Relevo Movimentado, situado em posição de encosta, estavam sob Floresta Tropical Subperenifolia. A litologia é formada por granitos rondonianos e o material de origem constituído por produtos de alteração dos granitos. O relevo é suave ondulado, não pedregoso, porém, ligeiramente rochoso. Apresenta erosão do tipo laminar moderada e é moderadamente drenado (CAMPOS, 2009).

Nos Latossolos (Tabela 8 e 9) observou-se as que as concentrações de teores naturais de manganês e alumínio, apresentaram os valores mais elevados após os Neossolos. A abundância desses elementos neste tipo de solo pode estar relacionada à sua composição química e física, bem como ao seu material de origem. De um modo geral, as amostras de Latossolos apresentaram valores, de máxima e mínima, bastante divergente para alguns elementos, provavelmente

porque essas amostras eram provenientes de áreas de coleta diferentes, Relevo Movimentado e de Várzea/Terra Firme. O primeiro ambiente tem sua litologia composta por granitos rondonianos e material de origem formado por produtos da alteração dos granitos. Sua formação corresponde ao período Pré-Cambriano Superior. O relevo do local é plano sem a presença de pedras e/ou rochas. Situado em topo baixo, com erosão do tipo laminar ligeira e bem drenado (Campos, 2009).

Os teores naturais de metais pesados observados nas amostras de Cambissolos (Tabela 8) foram consideravelmente baixos quando comparados as demais classes. No horizonte superficial os metais que apresentaram os menores teores naturais foram: Co ($0,23 \text{ mg kg}^{-1}$), Cu ($2,14 \text{ mg kg}^{-1}$), Pb ($5,14 \text{ mg kg}^{-1}$), Cr ($6,53 \text{ mg kg}^{-1}$) e Al ($4,56 \text{ mg kg}^{-1}$). E, no horizonte subsuperficial os teores mais baixos foram observados no Co ($0,49 \text{ mg kg}^{-1}$), Cu ($2,79 \text{ mg kg}^{-1}$) e Al ($5,62 \text{ mg kg}^{-1}$). Assim como nas demais classes, a composição do solo e seu material de origem podem estar relacionados a esta reduzida concentração de metais pesados nesse tipo de solo.

As amostras de Cambissolos deste trabalho eram pertencentes ao mesmo ambiente fisiográfico, sendo somente duas amostras coletadas em áreas de Campo/Floresta. Ressalta-se que os teores das amostras não apresentaram variação divergente, estando seus valores de máximas e mínimas bastante próximos. As amostras foram coletadas no campo alto, área sob Campo Natural (Cerrado). A litologia do local é originária de aluviões indiferenciados ou antigos. Sedimentos aluviais compõem ao material de origem. Apresentando relevo plano com ausência de pedras e/ou rochas. Com erosão do tipo laminar ligeira, sendo moderada a imperfeitamente drenado (Campos, 2009).

Analisando minuciosamente os dados obtidos nas análises dos teores de metais pesados, é possível notar que a concentração de metais pesados, de maneira geral, apresentou-se a seguinte ordem crescente: Argissolos > Cambissolos > Latossolos > Gleissolos > Neossolos.

4.5 Correlações entre teores dos metais e atributos dos solos

Correlações significativas ($p < 0,01$) foram formadas entre os teores de ferro e argila somente no horizonte superficial ($r = 0,62$), isso ocorre porque boa parte do elemento encontrar-se centralizado em argilominerais e óxidos de ferro que compõem esta fração. O ferro correlacionou positiva e significativamente ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) com o Cobalto ($r = 0,71$; $r = 0,65$), e com Zn ($r = 0,61$; $r = 0,64$), nos horizontes superficial e subsuperficial, respectivamente (Tabela 10). Essa ocorrência pode estar relacionada à associação destes elementos no material de origem, pois o ferro é um dos principais constituintes de rochas, sendo os demais metais elementos acessórios. Na superfície, o ferro, também demonstrou correlação positiva e significativa com o cromo ($r = 0,77$). Enquanto que na subsuperfície correlacionou-se com o bário ($r = 0,60$), cobre ($r = 0,64$) e chumbo ($r = 0,61$).

Dessa forma, Biondi (2010) destaca a importância do ferro em estudos de geoquímica, pois este elemento pode indicar, mesmo que, indiretamente os teores de outros metais pesados. Óxidos de Fe juntamente com teores de argila funcionam como amenizantes e adsorventes químicos para metais pesados em solos minerais.

Apesar de não ter apresentando correlação positivas no horizonte subsuperficial, o teor de argila foi o atributo que melhor se correlacionou ($p < 0,01$) com os metais pesados no horizonte superficial, cobalto ($r = 0,64$), chumbo ($r = 0,68$) e manganês ($r = 0,58$) (Tabela 10). Este fato deve-se a íntima relação desta fração, seja contribuindo para a liberação de metais no sistema solo ou pela afinidade com alguns metais em processos de sorção, que limitam a mobilidade destes no sistema (BIONDI, 2010). Contudo, segundo Xavier (2013), é de se esperar que um solo mais argiloso apresente em seu complexo sortivo uma quantidade maior de metais pesados, se for levado em consideração apenas esta característica.

O cobre estabeleceu correlação ($p < 0,01$) com o bário ($r = 0,85$; $r = 0,70$), cádmio ($r = 0,82$; $r = 0,72$), zinco ($r = 0,83$; $r = 0,93$), cobalto ($r = 0,72$; $r = 0,85$) e chumbo ($r = 0,91$; $r = 0,67$) nos horizontes superficiais e subsuperficiais, respectivamente.

O teor de matéria orgânica, na superfície, correlacionou-se positivamente apenas com o teor de alumínio ($r = 0,61$). A ausência de correlação do teor de maté-

Tabela 10: Coeficientes de correlação linear simples entre os teores de metais e destes com atributos dos solos nos horizontes superficial e subsuperficial dos solos da região Sul do Amazonas.

	Horizontes Superficiais									
	Ba	Cd	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Fe	Mn	Al
Cd	0,98**									
Co	0,77**	0,73**								
Zn	0,92**	0,86**	0,91**							
Cu	0,85**	0,82**	0,72**	0,83**						
Pb	0,81**	0,81**	0,72**	0,73**	0,91**					
Cr	0,07 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,27 ^{ns}				
Fe	0,48 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,71**	0,61*	0,46 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,77**			
Mn	0,10 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,59**	0,25 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,55 ^{ns}		
Al	0,10 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,85**	0,63*	-0,02 ^{ns}	
pH	-0,06 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,11 ^{ns}
MO	-0,43 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-0,46 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,42 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,61*
Argila	0,47 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,64*	0,46 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,68*	0,35 ^{ns}	0,62*	0,58*	0,24 ^{ns}
	Horizontes Subsuperficiais									
	Ba	Cd	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Fe	Mn	Al
Cd	0,97**									
Co	0,93**	0,94*								
Zn	0,78**	0,74*	0,86**							
Cu	0,70**	0,72*	0,85**	0,93**						
Pb	0,41 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,76**	0,67*					
Cr	-0,02 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,10 ^{ns}				
Fe	0,60*	0,55 ^{ns}	0,65*	0,64*	0,64*	0,61*	0,36 ^{ns}			
Mn	0,56 ^{ns}	0,63*	0,70*	0,36 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,48 ^{ns}		
Al	0,04 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,81**	0,17 ^{ns}	0,25 ^{ns}	
pH	-0,1 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,37 ^{ns}
MO	-0,11 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,45 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Argila	-0,3 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,27 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,31 ^{ns}

** Significativo a 1% (p<0,01); *Significativo a 5% (p<0,05); ns não significativo.

ria orgânica com os demais metais (Ba, Cd, Co, Cu, Zn, Pb, Fe, Mn e Co) ocorre, provavelmente, devido os teores totais desses metais, em solos não contaminados estarem associados a frações minerais, como pode ser observado pela correlação significativa entre alguns desses elementos e o teor de argila dos solos (Tabela 10).

5. CONCLUSÃO

Os teores naturais de metais pesados em solos da região sul do estado do Amazonas variam em função da classe de solo e do material de origem. No entanto, solos de uma mesma classe, mas provenientes de ambientes fisiográficos distintos podem apresentar teores diferentes para um determinado metal pesado.

De maneira geral, os teores naturais de metais pesados analisados para essa região foram menores que os teores normalmente observados em outras regiões brasileiras.

Os Neossolos apresentaram os teores naturais médios mais elevados e, os Cambissolos, os mais baixos, para a maioria dos metais avaliados.

Correlações significativas foram obtidas entre os metais pesados, a matéria orgânica e a argila.

Os teores naturais médios definidos para todos os metais pesados analisados neste trabalho indicam que os solos da região sul do Amazonas, apresentam teores que atendem ao critério de valor de qualidade estabelecido pelo CONAMA, pois não superaram o valor de prevenção proposto por esse Órgão.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, C.A.; RAIJ, B. V.; ABREU, M. F.; PAZ-GONZÁLEZ, A. **Avaliação da disponibilidade de manganês e ferro em solos pelo uso do método modificado da resina de troca iônica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, nº 3, p. 579-584, 2004.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR. Disponível em: <[http:// www.atsdr.cdc.gov/SPL/index.html](http://www.atsdr.cdc.gov/SPL/index.html)>. Acesso em: 10 jan. 2015.

ALEONI, L. R. F.; FERNANDES A. R. & SANTOS, S. N. **Valores de referência de elementos potencialmente tóxicos nos Estados do Pará, Rondônia e Mato Grosso.** Boletim - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, nº 1, 2013.

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

ALEONI. L. R F.; BORBA. R P.; CAMARGO, O. A. **Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros.** In: VIDAL-TORRADO, P.; ALEONI, L.R F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E.I. Tópicos de Ciência do Solo, Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2005a. P.1-42

ALLOWAY, B. J. **The origins of heavy metals in soil.** In: ALLOWAY, B. J (ed.). Heavy metals in soils. 2ed. London: Blackie Academic. 38 – 57, 1995.

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**, Ed. Blackie Academic & Professional. New York, John Wiley & Sons, 1990. 1-39 p.

ALMEIDA JÚNIOR, A. B. **Teores naturais e valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Estado da Paraíba.** 93p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Pernambuco. Recife - Pe. 2014.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B; COSTA, L. M.; DIAS, L. E.; BARROS, N. F., **Aplicação de resíduo siderúrgico em latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados,** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.17, p. 299-304, 1993.

ARAÚJO, W. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; GOMES, P. C. **Relação entre adsorção de metais pesados e atributos químicos e físicos de classes de solo do Brasil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, nº 1, p. 17-27, 2002.

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.** The Science of the Total Environment, 264:127-139, 2001.

BARROS, Y. J.; MELO, V. F.; ZANELLO S.; ROMANÓ, E. N. L.; LUCIANO, P. R. **Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do cemitério municipal de Santa Cândida**, Curitiba (Pr). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, nº 4, p.1763-1773, 2008.

BIONDI, C. M. **Teores Naturais de metais pesados nos Solos de Referência do Estado de Pernambuco**. 2010. 58p. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciências do Solo). Universidade Federal de Pernambuco, Recife-Pe.

BIONDI, C.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; FABRICIO NETA, A.B. **Teores Naturais de Bário em Solos de Referência do Estado de Pernambuco**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 35, nº 5, p. 1819-1826, 2011b.

BIONDI, C.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; FABRICIO NETA, A.B.; RIBEIRO, M.R. **Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em Solos de Referência de Pernambuco**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 35, nº 3, p. 1057-1066, 2011a.

BORGES JR., M. **Distribuição e contaminação de Zn Cd e Pb em perfis de solo e obtenção de valores de referência local no município de Vazante - MG**. 2002. 152p. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil**, folha SB. 20, Purus. 561 p. Rio de Janeiro, 1978.

BRAUN, E.H.G.; RAMOS, J.R.A. **Estudo agroecológico dos campos Puciarí-Humaitá (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia)**. Revista Brasileira de Geografia, v. 21, p. 443-497, 1959.

BRAZ, A. M. S. **Coeficiente de distribuição de metais pesados em solos paraenses**. 87 p. 2011. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, Universidade de São Paulo.

BURAK, D.L. **Geoquímica e distribuição de metais pesados em solos na Região de Unaí, Paracatu e Vazante, MG**. 173p. (Tese de Doutorado) Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2008.

BURT, R.; WILSON, M.A.; MAYS, M.D. & LEE, C.W. **Major and trace elements of selected pedons in the USA**. J. Environ. Qual., 32:2109-2121, 2003.

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**. 2009. 304p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG,.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. **Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo**. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. V.; ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/POTAFOS, p. 89 – 119, 2001.

CAMARGO, O. A.; BORBA, R. P.; ALEONI, L. R. F. **Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros**. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29:

CD-ROM. (Abstr.). 2003.

CAMPOS, M. C. C. **Caracterização e gênese de solos em diferentes ambientes fisiográficos na região Sul do Amazonas**. Goiânia: Ed. da PUC Goiás 2012.

CAMPOS, M. C. C. **Pedogeomorfologia aplicada a ambientes amazônicos do médio Rio Madeira**. 2009. 242 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife-Pe.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; JÚNIOR, V. S. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C. **Relações solo-paisagem em uma topossequência sobre substrato granítico em Santo Antônio do Matupi, Manicoré (AM)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, nº 1, p. 13-23, 2011.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA, V. S. J.; RIBEIRO, M. R. F.; ALMEIDA M. C.; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. **Topossequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas**. Acta Amazonica. 387 – 398. vol. 42(3) 2012a.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA, V. S. J.; RIBEIRO, M. R. F.; ALMEIDA M. C. **Relações solo-superfície geomórfica em uma topossequência várzea-terra firme na região de Humaitá (AM)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, nº 2, p. 325-336, 2012b.

CAMPOS, M. L.; PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES J. J.; CURI, N. **Baseline Concentration of Heavy Metals in Brazilian Latosols**. Comm. Soil Sei, and Plant. Anal. vol.34, p.547-557, 2003.

CETESB – Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. 2005. Decisão da Diretoria nº 195/2005. **Valores orientadores para solos e águas subterrâneas do estado de São Paulo**. 4p

CETESB – 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. 73p. (Série Relatórios Ambientais).

CETESB – 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). 2014.

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

CHEN, M.; MA, L.Q.; HARRIS, W.G.; HORNESBY, A.G. **Background Concentrations of Trace Metals in Florida Surface Soils: Taxonomic and Geographic Distributions of Total-total and Total-recoverable Concentrations of Selected Trace Metals**. Soil and Water Science Department University of Florida. 1999.

CHOLOPECKA, A.; BACON, J.R.; WILSON, M.J. & KAY, J. **Forms of cadmium, lead, and zinc in contaminated soils from southwest Poland.** J. Environ. Quality, 25:69-79, 1996.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. Deliberação Normativa Nº 166, de 29 de junho de 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução na 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. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 249, p. 81-84,30 dez. 2009. Seção 1. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620> (Acessado em 10 Jun 2014)

COSTA, M.C.R. **Avaliação da contaminação ambiental por metais pesados em áreas rurais próximas a uma indústria de reciclagem de chumbo no vale do rio Paraíba do Sul – SP.** 2002. 234 f. Tese (Doutorado em Agronomia e Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. **Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no parque estadual turístico do Alto Ribeira - Petar, São Paulo, Brasil.** Química Nova, v. 29, p. 40-45, 2006.

CPRM. Centro de Pesquisa de Recursos Minerais. **Geodiversidade do Estado do Amazonas** - Programa geologia do Brasil. (Relatório Técnico) 275p. Manaus, 2010.

CPRM. Centro de Pesquisa de Recursos Minerais. **Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens.** (Relatório Técnico) 93p. Manaus, 2001.

CUNHA, R.C.A.; KINJO, T.; CAMARGO, O.A. **Eluição de duas fontes de zinco aplicadas em horizonte superficial de um Podzólico e de um Latossolo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.20, p.371-378, 1996.

DA VIES, B. E. LEAD. In: ALOWAY, B.J. **Heavy metals in soils, Ed Blackie Academic & Professional.** New York, John Wiley & Sons. p.177-196, 1990.

DOMINGUES, T. C. G. **Teor de metais pesados em solo contaminado com resíduo de sucata metálica, em função de sua acidificação.** 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Resíduos Agroambientais) Instituto Agrônomo, Campinas.

DUDKA, S. **Factor analysis of total element concentrations in surface soils of Poland.** Sci Total Environ., 121:39-52, 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, p. 212, 1997.

EYSINK, G. G. J.; MORAES, R. P. **Subsídios para manejo e recuperação de ecossistemas aquáticos contaminados por metais pesados.** In: Dias, LE & MELLO, J. W. V., eds. Recuperação de áreas degradadas. Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas. Viçosa-MG, 1998, p. 251.

FABRICIO NETA, A.de B. **Teores naturais de metais pesados em solos da Ilha de Fernando de Noronha.** 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, 2012.

FADIGAS, F. S. **Estimativas das concentrações naturais (pseudo-total) de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em solos brasileiros e proposição de valores de referência utilizando técnicas da estatística multivariada.** 2002. 94f. Tese (Doutorado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

FADIGAS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. ; ANJOS, L. H. c.; 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, v. 10, nº 3, p. 699-705, 2006

FADIGAS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N; ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. **Concentrações naturais de metais pesados de metais pesados em algumas classes de solos Brasileiros.** Bragantia (São Paulo), Campinas, v. 61, nº 2, p.151-159, 2002.

FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. D. A.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, F. D.; BARBOSA, R. I.; NOGUEIRA, E. M. **Modeling of deforestation and greenhouse-gas emissions in the area of influence of the Manaus-Porto Velho (BR-319) highway.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, n. 2, p. 208-233, 2009.

FERNANDEZ, R. O.; CERVERA, J. V. G.; VANDERLINDEN, K.; BOJOLLO, R. C.; FERNÁNDEZ, P. G. **Temporal and spatial monitoring of the pH and heavy metals in a soil polluted by mine spill.** Post cleaning effects. Water Air Soil Pollution, Amsterdam, v.178, p.229–243, 2007.

FREITAS, H. A.; PESSEDA, L. C. R; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S. E. M.; IBEIRO, A. S.; BOULET, R. **Florestas X Savanas no passado na Amazônia.** Ciência Hoje , São Paulo, v. 32, n. 189, p. 40-46, 2002.

FURLANI, P. R; BATAGLIA, O. C.; VALADARES, J. M. A. S. **Cobalto em solos do Estado de São Paulo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 1, p.65-67, 1977.

GHIDIN, A. A.; MELO, V. F.; LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. **Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. I – mineralogia da fração argila.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, nº 2, p. 293-306, 2006.

GOUGH, L. P.; SEVERSON, R. C.; JACKSON, L. L. **Baseline element concentrations in soils and plants, Bull Island, Cape Romain Wildlife Refuge, South Carolina, USA.** Water Air Soil Pollution, Heidelberg, v. 74, p. 1-17, 1994.

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: VIDAL-TORRADO, P.; ALEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E.J. Tópicos de Ciência do Solo, vol. A. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, P.345-390, 2005.

GUO, G. L.; ZHOU, Q. X., KOVAL, P. V., BELOGOLOV, A. G. A **Speciation distribution of Cd, Pb, Cu and Zn in contaminated Phaeozem in north-east China using single and sequential extraction procedures**. Australian Journal of Soil Research, vol.144, p.135-142, 2006.

HADLICH, G.M.; CELINO, J.J.; UCHA, J.M. & SANTIAGO J.S. **Geoquímica de metais traços em Apicuns (Planícies Hipersalinas) do campo de produção de petróleo Dom João, São Francisco do Conde, Bahia..** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 11. Atibaia, 2007. Anais... Atibaia, Sociedade Brasileira de Geoquímica, 2007. CD ROM.

HOFER, C.; BORER, F.; BONO, R.; KAYSER, A.; PAPRITZ, A. **Predicting topsoil heavy metal content of parcels of land: An empirical validation of customary and constrained lognormal block kriging and conditional simulations**. Geoderma, v.193-194, 200–212, 2013.

HOLMGREN, G.S.; MEYER, M.W.; CHANEY, R.L. & DANIELS, R.B. **Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America**. J. Environ. Qual., 22:335-348, 1993.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha geométrica dos municípios brasileiros**. Censo Demográfico, 2010. Disponível em: <<http://www.baixarmapas.com.br/mapa-de-mesorregioes-do-amazonas/>>. Acesso em 12 de janeiro de 2015.

IMPELLITTERI, C. A.; ALLEN, H. E.; YIN, Y.; YOU, S. J.; SAXE, J. K. **Soil properties controlling metal partitioning**. In: SELIM, H. M.; SPARKS, D. L. (ed.). Heavy metals release in soils. Boca Raton: Lewis Publishers, p. 149 – 165, 2001.

LEMOS, M. M. G.; RUBY, E. C.; MODESTO, R. P.; DIAS, C. L.; CASARINI, D. C. P.; TOFFOLI, F. F. & OHBA, M. S. **Valores de referência de qualidade de solo do Estado de São Paulo**. Boletim - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, vol. 38, nº 1, 2013.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. Viçosa, 2001. 176f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. **Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, nº 1, p. 59-68, 2006.

LOGAN, T.J.; MILLER R.H. **Background levels of heavy metals in Ohio farm soils**. Soil contamination analysis Res. Circ. Ohio Agric. Res. Dev. Cent., 275:3-15, 1983.

LU, A.; WANG, J.; QIN, X.; WANG, K.; HAN, P.; ZHANG, S. **Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and origin of heavy metals in the agricultural soils in Shunyi, Beijing, China.** Science of the Total Environment, v. 425, p. 66-74, 2012.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificações e fatos.** São Paulo: ProduQuímica, 1994. 153p.

MARQUES, J.J.G.S.M.; SCHULZE, D.G.; CURTI, N.; MERTZMAN, S.A. **Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils.** Geoderma, Amsterdam, 121:31-43, 2004.

MARTINS, C. A. da S. NOGUEIRA, N. O.; RIBEIRO, P. H.; RIGO, M. M.; CANDIDO, A. O. **A dinâmica de metais-traço no solo.** Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas, v.17, nº 3, p. 383-391, 2011.

MATOS, A.T.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M.; MARTINEZ, M.A. **Mobility of heavy metals as related to soil chemical and mineralogical characteristics of Brazilian soils.** Environmental Pollution, v. 111, p. 429-435, 2001.

MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. **Geochemical background – can we calculate it?** Environmental Geology, v. 39, p. 9, 2000.

McLEAN, J.E.; BLEDSOE, B.E. **Behavior of metals in soils.** Washington: USEPA, 1992. p.25. (Ground Water Issue, EPA/540/S-92/018).

MELLO, J. W. V.; ABRAHÃO, W. A. P. **Valores de referência de qualidade para elementos traço nos solos de Minas Gerais e Espírito Santo: os bastidores de uma experiência.** Boletim - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, nº 1, 2013.

MELO, V. F.; SOUZA, L. C. de P.; BUSCHLE, B. N. **Desdobramentos metodológicos da resolução CONAMA nº420/2009: representatividade de amostragem e análises mineralógicas dos solos do Paraná.** Boletim - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, nº 1, 2013.

MENDES, A. M. S.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; LIMA, J. A. G.; MEDEIROS, A. D. L. **Acúmulo de metais pesados e alterações químicas em cambissolo cultivado com meloeiro.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, nº.8, p.791–796, 2010.

MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. **Solução do solo.** In: Fundamentos de química do solo. 3ed. Porto Alegre: Evangraf, p. 91 – 116, 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. 2, 407p.

NASCIMENTO, C.W.A. (Ed.). **O desafio de definir valores de referência para solos contaminados no Brasil.** Boletim - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,

v. 38, nº 1, 2013.

NASCIMENTO, C.W.A.; BIONDI, C.M. **Teores orientadores de qualidade do solo em Estados do Nordeste**. Boletim - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, nº 1, 2013.

NIST-National Institute of Standards and Technology. **Standard Reference Materials** – SRM 2709, 2710 and 2711 Addendum Issue Date: 18 January 2002

OLIVEIRA, T. S.; COSTA, L. M. **Metais pesados em solos de uma topolitossequência do triângulo mineiro**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, nº 4, p. 785-796, 2004.

OLIVEIRA, T. S.; COSTA, L.M.; CRUZ, C.D. **Importância relativa dos metais pesados do solo na identificação e separação de materiais de origem**. Revista Ceres, v.45, nº 260, p. 359-371, 1998.

ORRUTEA, A. G.; MELO, V. F.; MOTTA, A. C. V.; LIMA, V. C. **Mineralogia e reserva de K de Cambissolos submetidos a diferentes manejos após derrubada e queima da floresta na Amazônia Meridional**. Acta Amazonica, 42 (4): 461-470, 2012.

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**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. V. 36, nº 3, p. 1031-1041, 2012.

PAYE, H.S.; MELLO, J.W.V.; ABRAHÃO, W.A.P.; FERNANDES FILHO, E.I.; 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**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 34, nº 6, p. 2041-2051, 2010.

PÉREZ, D.V.; SALDANHA, M.F.C.; MENEGUELLI, N.A.; MOREIRA, J.C.; V AITSMAN, D.S. **Geoquímica de alguns solos brasileiros**. Pesq. And. CNPS, v. 4, p. 1-14, 1997.

PIERANGELI, M. A P.; EGUCHI, E. S.; RUPPIN, R. F.; VIEIRA, F.V; COSTA, R. B. F. **Teores de As, Pb, Cd e Hg e fertilidade de solos da região do Vale do Alto Guaporé, sudoeste do estado de Mato Grosso**. Acta Amazonica, v. 39, p. 59-67, 2009.

PRESTON, W.; NASCIMENTO, C.W.A.; BIONDI, C. M.; SOUZA JUNIOR V. S.; SILVA, W.R.; FERREIRA, H.A. **Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 38, nº 3, p. 1028-1037, 2014.

RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. **Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, nº 7, p. 1289-1303, 2000.

REIMANN, C.; GARRETT, R.G. **Geochemical background – concept and reality**. Science of the Total Environment, v. 350, p. 12-27, 2005.

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.

ROCA, N. PAZOS.; M, S. BECH. J. **The relationship between WRB soil units and heavy metals content in soils of Catamarca (Argentina).** Journal of Geochemical Exploration, v. 96, p.77- 85, 2008.

SALDANHA, M. F. C.; PÉREZ, D. V.; MENEGUELLI, N. A; MOREIRA, J. C.; VAITSMAN, D. S. **Avaliação de cinco tipos de abertura para determinação dos teores de ferro, manganês e zinco em alguns solos brasileiros.** Pesquisa em andamento EMBRAPA-CNPS, n.l, p.l-10, 1997. Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/88367/1/pesquisaand-011997.pdf>>. (Acessado em 13 de maio de 2014).

SÁNCHEZ, L.E.; ANJOS, J.Â.S.A. **Plano de gestão ambiental para sítios contaminados por resíduos industriais - O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA.** Bahia Análise & Dados, v. 10, p. 306-309, 2001.

SANTANA, G.P. **Elemento-traço ou metal pesado.** Disponível em: http://www.clubedaquimica.com/index.php?option=com_content&view=article&id=77:elemento-traco-ou-metal-pesado&catid=31:artigos&Itemid=2 Acesso em: 04 jun. 2013.

SANTOS, R. D., LEMOS, R. C., SANTOS, H. G., KER, J. C., ANJOS, L. H. C. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo.** 5ª ed. Revista e ampliada. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2005.

SANTOS, S. N. dos. **Valores de referência de metais pesados em solos de Mato Grosso e Rondônia.** 2011. 104f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba/SP.

SANTOS, S. N.; ALEONI, L. R. F. **Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia.** Environmental Monitoring and Assessment, 2012.

SAVAZI, E. A. **Determinação da presença de Bário, Chumbo e Crômio em amostras de água subterrânea coletadas no Aquífero Bauru.** 2008. 21f. Universidade de São Paulo. Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto/São Paulo.

SCHMITT, H. W.; STICHER, H. **Heavy metal compounds in the soil.** In: MERIAN, E., ed. Metals and their compounds in the environment. New York, VCH Verlagsgesellschaft mbH, p.311-331, 1991.

SHENG, J.; WANG, X.; GONG, P.; TIAN, L.; YAO, T. **Heavy metals of the Tibetan top soils: Level, source, spatial distribution, temporal variation and risk assessment.** Environmental Science and Pollution Research, v. 19, p. 3362–3370, 2012.

SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; ABREU JUNIOR, J. de S. **Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo**. R. Un. Alfenas, v.5, p.21-26,1999

SILVA, A. K. T.; GUIMARAES, J. T. F.; LEMOS, V. P.; COSTA, M. L.; KERN, D. C. **Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com Terra Preta Arqueológica de Bom Jesus do Tocantins, sudeste da Amazônia**. Acta Amazônica, 42 (4): 477-490, 2012.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. **Composição da fase sólida orgânica do solo**. In: Fundamentos de química do solo. 3 ed. Porto Alegre: Evangraf, p. 63 – 90, 2006.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C. **Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta à adição de lodo de esgoto no solo**. Scientia Agricola. (Piracicaba, Braz.), vol.59, nº 3, p. 555-563, 2002.

SOUZA, E. S. de. **Atributos dos solos do Estado do Pará e teores naturais de elementos potencialmente tóxicos em solos no entorno da Rodovia Transamazônica, Amazônia-Oriental**. 2012. 63f Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal Rural do Pará, Belém.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. 2ed. New York: Oxford University Press, 342p., 2008.

STATISTICA. **Statistica 7.0**, EUA Software. Tucksá: StatSof, 2008.

USDA – **United States Department of Agriculture**. Disponível em <<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/site/soils/home/>>. (Acessado em abril de 2013).

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils**. 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2014.

VALADARES, J. M. A. S. **Cobre em solos do Estado de São Paulo**: 1: cobre total. Bragantia, Campinas, v.34, n.1, p.125-132, 1975a.

VALADARES, J.M.A.S.; CAMARGO, O.A de. **Manganês em solos do Estado de São Paulo**. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Campinas, v. 7, nº 2, p. 123-130, 1983.

VALADARES, J.M.A.S.; CATANI, R.A. **Zinco em solos do Estado de São Paulo**. Bragantia, Campinas, v. 34,n.1, p. 133-139, 1975b.

VÁZQUEZ, F. M.; ANTA, R. C. **Niveles genéricos de metales pesados y otros elementos traça em suelos de Galicia**. Ed: Xunta de Galicia, 2009. 229 p.

VISSER, W.J.F. **Contaminated land policies in some industrialized countries**. 2 ed. The Hague: Technical Soil Protection Committee, 1994. 149p.

XAVIER, B. T. de L. **Mineralogia e teores naturais de metais pesados em**

solos da bacia sedimentar amazônica. 110f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, MG. 2013.

ZHAO, F.I; MCGRANT, S. P.; MERRINGTON. **Estimates of ambient background concentrations of trace metals in soil for risk assessment.** Environmental Pollution, V. 1148, p. 221-229, 2007.

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO SUL-SUDESTE DO AMAZONAS – ZEE, AM. **Zoneamento Ecológico Econômico do Sul-Sudeste do Amazonas.** IPAAM, 53p. 2008.