

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA
Universidade Estadual do Amazonas – UEA
Mestrado Acadêmico em Clima e Ambiente – CLIAMB

**VARIAÇÃO ESPACIAL DAS CONCENTRAÇÕES
DE METAIS-TRAÇO NO SOLO E LITEIRA DE UMA ÁREA DE FLORESTA
NATURAL**

Ananda Gabrielle de Matos Rebêlo

Manaus

2019

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA
Universidade Estadual do Amazonas – UEA
Mestrado Acadêmico em Clima e Ambiente – CLIAMB

**VARIAÇÃO ESPACIAL DAS CONCENTRAÇÕES
DE METAIS-TRAÇO NO SOLO E LITEIRA DE UMA ÁREA DE FLORESTA
NATURAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Clima e Ambiente do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/UEA, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre.

Mestranda: Ananda Gabrielle de Matos Rebêlo

Orientadora: Prof^a. Dra. Maria Terezinha Ferreira Monteiro

Co-orientador: Dr. Sávio José Filgueiras Ferreira

Área: Clima e Ambiente

Linha de Pesquisa: Clima e funcionamento dos ecossistemas amazônicos

Financiamento: Bolsa de pesquisa Capes

Manaus

2019



ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E
AMBIENTE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA
AMAZÔNIA E UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS.

Aos 22 dias do mês de julho do ano de 2019, às 09:00 horas, no Auditório do Prédio COCAP, INPA/Campus I, sito à Av. André Araújo, 2936 – Bairro Petrópolis, reuniu-se a Comissão Julgadora de Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. Maria Terezinha Ferreira Monteiro (Presidente), Prof. Dr. Sergio Duvoisin Junior (UEA) e o Prof. Dr. Eduardo Antônio Rios-Villamizar (INPA), tendo como suplente o Prof. Dr. João Baptista Silva Ferraz (INPA), sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública do trabalho de dissertação de Ananda Gabrielle de Matos Rebêlo “VARIAÇÃO ESPACIAL DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS-TRAÇO NO SOLO E LITEIRA DE UMA ÁREA DE FLORESTA NATURAL”, orientada pela Profa. Dra. Maria Terezinha Ferreira Monteiro (INPA) e co-orientada pelo Prof. Dr. Sávio José Filgueiras Ferreira (INPA).

O Presidente da Comissão Julgadora deu início à seção e informou os procedimentos do exame. A aluna fez uma exposição do seu estudo e foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Julgadora de Defesa Pública. A Comissão Julgadora, então, se reuniu e os membros emitiram os seguintes pareceres:

Nome	Parecer	Assinatura
Maria Terezinha Ferreira Monteiro	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	
Sergio Duvoisin Junior	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	
Eduardo Antônio Rios-Villamizar	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	

Nada mais havendo a relatar, foi lavrada a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Julgadora.



R291v Rebêlo, Ananda Gabrielle de Matos
VARIAÇÃO ESPACIAL DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS-
TRAÇO NO SOLO E LITEIRA DE UMA ÁREA DE FLORESTA
NATURAL / Ananda Gabrielle de Matos Rebêlo;
orientadora Maria Terezinha Ferreira Monteiro;
coorientador Sávio José Filgueiras Ferreira. --
Manaus:[s.l], 2019.
72 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós Graduação em
Clima e Ambiente) -- Coordenação do Programa de Pós-
Graduação, INPA, 2019.

1. Amazônia Central. 2. Floresta Natural. 3.
Metais pesados. 4. Solo. 5. Liteira. I. Monteiro,
Maria Terezinha Ferreira, orient. II. Ferreira,
Sávio José Filgueiras , coorient. III. Título.

CDD: 551.66813

As minhas mães, Márcia e Jóia pelo amor incondicional,
além dos valores ensinados,

Aos meus queridos irmãos, Amanda, Alanda e Enzo pelo
amor, amizade e companheirismo,

E a minha melhor amiga Helinara, pelo amor, paciência e
parceria longe de casa e da família durante essa jornada.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A elaboração de um trabalho só é possível com a ajuda de muitas pessoas. Deixo aqui o meu sincero obrigado a todos aqueles que, de uma maneira ou outra, ajudaram neste trabalho que, mesmo seus nomes não constando na lista, estiveram presentes e foram importantes.

A Deus, pela saúde e por abrir portas na minha vida.

A minha mãe Márcia Matos e mãe-avó Jóia Matos por toda preocupação, carinho e apoio que sempre me deram ao longo curso.

Ao meu pai-avô já falecido Walter Matos por ter cuidado sempre de mim desde pequena e ter me ajudado a chegar onde estou.

Ao meu pai por todo o apoio durante o decorrer do curso.

Aos meus irmãos Enzo Matos, Amanda Matos e Alanda Matos pelos incentivos e torcida durante minha caminhada longe de casa.

À minha orientadora Dra. Maria Terezinha Monteiro, pela orientação, disponibilidade e importantes sugestões para a realização deste trabalho;

Ao Dr. Sávio Ferreira, pela co-orientação, pela ajuda e valiosos comentários e correções;

A melhor amiga Helinara Laís Vieira Capucho, onde junto comigo longe de casa, me incentivou sempre a alcançar os meus objetivos. Foi a pessoa que me amparou nos momentos de desânimo e pouca fé, acreditando sempre no melhor que eu podia alcançar. Te agradeço imensamente por todo carinho e amizade que me proporcionastes.

Aos referes, Dr. Alberto Quesada e Dr. Sergio, pela colaboração e contribuições nas correções e dados deste estudo;

Ao Laboratório de Triagem, Laboratório Temático de Solo e Planta e ao Laboratório em Química Analítica e Ambiental (COTI/INPA), pela ajuda no beneficiamento e análise de amostras;

Ao Dr. Ézio Sargentini (INPA), Marcos Bolson (INPA) e Roberta (INPA), por toda paciência e ajuda para com as minhas análises;

A mestre Adriana Castro pela amizade e pelo seu fundamental trabalho na coleta de liteira.

Aos colegas de Pós-Graduação Silvana, Janaina, Regison, Nayandra, Gleice e Alexandre por todos os momentos e conhecimentos compartilhados.

Aos amigos que conheci em Manaus e se fizeram sempre presente, torcendo e me apoiando, Marieta Castro, Dilmara Ferreira e Wesley.

Aos Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e ao Programa de Clima e Ambiente (CLIAMB) pelo apoio oferecido para a realização do curso de mestrado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal a Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo;

Com muito carinho agradeço a toda turma do mestrado, pelo convívio, solidariedade e amizade.

“Seja luz no mundo!”

(Mãe-vó Jóia)

RESUMO

Para considerar que um determinado solo está livre de contaminação, faz-se necessário conhecer os teores de metal neste solo em condições natural, sem introdução antrópica, assim como na vegetação, devido à importância do ciclo biogeoquímico na Amazônia. Portanto, a determinação de teores naturais de metais em solo e na liteira é essencial para a construção de um parâmetro que sirva de base ao monitoramento e remediação de áreas contaminadas e que seja adequada à realidade pedológica e florística local. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi determinar os teores naturais de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), alumínio (Al), boro (B), bário (Ba), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), silício (Si), estrôncio (Sr), titânio (Ti), vanádio (V), zinco (Zn) e cádmio (Cd), como base de referência de qualidade para solos e para liteira em uma floresta na Amazônia central, no Estado do Amazonas. De acordo com os resultados, as concentrações dos elementos químicos trocáveis ou assimiláveis no solo seguiram a seguinte ordem: $Al > Ca > Mg > K > Na$, no qual de forma geral, a maioria encontrou-se em maior concentração na área de Platô/Vertente. Para os elementos metálicos obteve-se uma ACP, na qual os componentes principais 1 e 2, explicaram 89,12% e 10,87% respectivamente da variabilidade total dos dados. Os *loadings* do componente principal 1 correlacionaram-se positivamente com a maioria dos metais, exceto para B, Cr, Mo, Ni, sendo estes correlacionados positivamente no componente principal 2 (mais baixa representatividade). A média dos teores de macronutrientes na liteira em ordem decrescente para área de platô e baixio foram $Ca > K > Mg > Na$. Para os micronutrientes, a ordem foi de $Al > Mn > Fe > Sr > Zn > Cu > Ba > Cr > Ni > Co > Cd$ para o Platô e $Al > Mn > Fe > Sr > Zn > Cu > Ba > Cr > Ni > Cd > Co$ para o baixio. Dentre as frações, o Ca teve sua maior concentração no material lenhoso; o K no material reprodutivo, enquanto o Mg, Na e Al, tiveram maiores concentrações na fração foliar. Os demais elementos estiveram em baixíssimas concentrações em todos os compartimentos da liteira. Observou-se também que o retorno para o solo dos elementos metálicos via liteira, foi maior na estação seca. O Ca e Al diferiram significativamente dentro de uma mesma área. Al e Zn diferiram significativamente entre as áreas estudadas, com maior retorno para ambos os elementos na área de platô.

Palavras-Chave: Amazônia Central; metais pesados; solo; liteira.

ABSTRACT

To consider that a certain soil is free of contamination, it is necessary to know the metal contents in this soil in natural conditions, without anthropic introduction, as well as in the vegetation, due to the importance of the biogeochemical cycle in the Amazon. Therefore, the determination of natural levels of metals in soil and litter is essential for the construction of a parameter that serves as a basis for the monitoring and remediation of contaminated areas and that is adequate to the local pedological and floristic reality. In this context, the objective of this research was to determine the natural calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K), sodium (Na), aluminum (Al), boron (B), barium (Ba), cobalt (Co), chromium (Cr), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), molybdenum (Mo), nickel (Ni), silicon (Si), strontium (Sr), titanium (Ti), vanadium (V), zinc (Zn) and cadmium (Cd), as a reference base of quality for soils and for litter in a forest in central Amazonia, in the State of Amazonas. According to the results, the concentrations of the exchangeable or assimilable chemical elements in the soil followed the order: Al > Ca > Mg > K > Na, in which, in general, the majority was found in greater concentration in the Plateau / Slope. For the metallic elements a PCA was obtained, in which the main components 1 and 2, explained 89.12% and 10.87%, respectively, of the total variability of the data. The loadings of the main component 1 correlated positively with the majority of the metals, except for B, Cr, Mo, Ni, and these were positively correlated in the main component 2 (lower representativity). The mean macronutrient contents in the litter in decreasing order for plateau and valley area were Ca > K > Mg > Na. For the micronutrients, the order was from Al > Mn > Fe > Sr > Zn > Cu > Ba > Cr > Ni > Co > Cd for Plateau and Al > Mn > Fe > Sr > Zn > Cu > Ba > Cr > Ni > Cd > Co for the valley. Among the fractions, Ca had its highest concentration in the woody material; the K in the reproductive material, while the Mg, Na and Al had higher concentrations in the leaf fraction. The other elements were in very low concentrations in all compartments of the litter. It was also observed that the return to the soil of the metallic elements via litter, were higher in the dry season. Ca and Al differed significantly within the same area. Al and Zn differed significantly among the studied areas, with higher returns for both elements in the plateau area.

Key words: Central Amazon; heavy metals; ground; litter.

SUMÁRIO

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Amazônia Central.....	3
2.2 Vegetação da área.....	5
2.3 Produção de liteira.....	5
2.4 Solos.....	7
2.5 Metais-traço.....	9
2.6 Análise dos Componentes Principais (PCA).....	11
3 JUSTIFICATIVA.....	13
3.1 Hipóteses.....	14
3.2 Questões de Pesquisa Científica.....	14
4 OBJETIVOS.....	14
4.1 Objetivo Geral.....	14
4.2 Objetivos Específicos.....	14
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
5.1 Área de estudo.....	15
5.2 Caracterização fisiográfica.....	16
5.3 Amostras de solo.....	16
5.4 Amostras de liteira.....	16
5.5 Método laboratorial.....	17
5.5.1 Determinação dos atributos físicos e químicos do solo.....	17
5.5.2 Digestão das amostras de liteira e controle de qualidade das análises...17	
5.5.3 Determinação dos metais na liteira por espectroscopia óptica.....	18
5.5.4 Taxa de recuperação.....	18

5.6 Análise dos resultados.....	19
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
6.1 Atributos físicos e químicos dos solos estudados.....	19
6.2 Elementos disponíveis ao solo propostos como referência.....	20
6.3 Elementos totais ao solo propostos como referência.....	21
6.4 Concentração dos elementos traço na liteira produzida.....	26
6.5 Concentração dos elementos traço nas frações de liteira	33
6.6 Retorno de nutrientes ao solo.....	36
7 CONCLUSÃO.....	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da área de estudo e amostragem da distribuição dos coletores de liteira para as diferentes posições topográficas.....	15
Figura 2. PCA: (a) Gráfico de <i>loadings</i> (b) gráfico dos <i>scores</i> correspondentes as três áreas topográficas para os 14 metais traço (Platô/Vertente: P/V; Campinara: C; Baixio: B).....	22
Figura 3. PCA: (a) Gráfico dos <i>scores</i> (b) gráfico de <i>loadings</i> correspondentes à classificação espaço-temporal dos metais pesados na liteira. No gráfico 3a, os números indicam os meses e as letras P (platô) e B (baixio).....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos físico e químico de solo nos diferentes tipos topográficos em ambiente de floresta natural na Amazônia Central.....	20
Tabela 2. Concentrações disponíveis dos principais elementos encontrados no solo em três diferentes topografias em ambiente de floresta natural na Amazônia Central.....	20
Tabela 3. Concentrações dos elementos metálicos encontrados no solo em três diferentes topografias.....	23
Tabela 4. Recuperação média dos metais na liteira utilizados nas análises em comparação aos valores de referência.....	26
Tabela 5. Concentração de macro (g/kg) e micronutrientes (mg/kg) na liteira total para as áreas de Platô e Baixio e para as demais formações florestais brasileiras.....	28
Tabela 6. Concentração dos metais pesados na liteira para os dois ambientes em estudo de uma floresta natural na Amazônia Central.....	30
Tabela 7. Valores da concentração espacial dos macronutrientes nas frações folha, material lenhoso e material reprodutivo nas estações seca e chuvosa em floresta natural na Amazônia Central.....	34
Tabela 8. Valores da concentração espacial dos elementos metálicos nas frações folha, material lenhoso e material reprodutivo nas estações seca e chuvosa em floresta natural na Amazônia Central.....	35
Tabela 9. Conteúdo de macronutrientes que retornam ao solo através da liteira em uma área de floresta natural na Amazônia Central.....	37
Tabela 10. Conteúdo de micronutrientes que retornam ao solo através da liteira em uma área de floresta natural na Amazônia Central.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS

MOS – Matéria Orgânica do Solo

INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

PCZ – Alto Ponto de Carga Zero

ACP – Análise dos Componentes Principais

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

LBA - Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia

NH₄Ac - Acetato de Amônio

KCl - Cloreto de Potássio

H₂SO₄ - Ácido Sulfúrico

H₂O₂ - Peróxido de Hidrogênio

AAS - Espectrometria de Absorção Atômica

H₂O – Água

Ag-TU – Tioureia de Prata

ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

ICP-OES - Espectrometria de Emissão Ótica

COTI - Laboratório em Química Analítica e Ambiental

VRQs - Valores de Referência de Qualidade

CP1 – Componente Principal 1

CP2 - Componente Principal 2

P/V - Platô/Vertente

B – Baixio

C – Campinarana

PV – Padrão Vegetal

P - Fósforo

Fe – Ferro

Al – Alumínio

Na – Sódio

K – Potássio

Ca - Calcio

Zn – Zinco

Cu – Cobre

Ni – Níquel

Mg – Magnésio

As – Arsênio

Pb – Chumbo

Cd – Cadmio

Ag – Mercúrio

Ti – Titânio

Sn – Estanho

W – Tungstênio

Cr – Cromo

Co – Cobalto

Mn – Manganês

Ba – Bário

B – Boro

Si – Silício

Sr – Estrôncio

V – Vanádio

1. INTRODUÇÃO

O termo “metais-traço” tem sido utilizado dentro da literatura na denominação de elementos com densidade superior a 5 mg.cm^{-3} , e número atômico maior que 20. Esses elementos podem vir a constituir uma fonte potencial para a poluição ambiental, pelo fato de os metais-traço serem encontrados no ambiente, em baixas concentrações, sendo denominados de “elementos potencialmente tóxicos”, devido às propriedades prejudiciais que estes apresentam, tais como a bioacumulação (SANTANA, 2010).

Para avaliar os efeitos destes metais sobre os ecossistemas florestais é importante obter informações sobre a concentração dos elementos e os fluxos pelos quais eles transitam no sistema atmosfera/vegetação/solo; sendo muito importante distinguir as fontes externas (atmosfera) e internas (solo), bem como os mecanismos de transferência (deposição, absorção).

A atmosfera acima das florestas tropicais desempenha uma parte muito ativa nos ciclos biogeoquímicos, criticamente importantes nos processos que mantêm o ecossistema, que incluem processos relativos à vegetação e solo, auxiliando nos mecanismos de ciclagem e redistribuição de vários elementos (ARTAXO et al., 2009). A transferência de elementos químicos da atmosfera para a superfície terrestre ocorre por caminhos diretos de deposição, através da deposição úmida (precipitação) e seca (na ausência de chuva), e através de caminhos indiretos, primeiro por deposição sobre a superfície continental e subsequente remoção por escoamento (AYARS e GAO, 2007).

A vegetação então tem as funções de fornecer matéria orgânica no solo (MOS), produzir liteira, acelerar a liberação de nutrientes dos minerais por meio do intemperismo biogeoquímico, assim como extrair elementos químicos do solo (BRADY e WEIL, 2013). A análise qualitativa e quantitativa do material orgânico da liteira, assim como sua taxa de decomposição, é de grande importância pois constitui um importante processo de transferência de nutrientes da fitomassa para os solos tropicais (SILVEIRA et al., 2007; DELARMINA et al., 2015). Além disso, a decomposição e a mineralização da liteira são estabelecidas principalmente por um limitado número de elementos, sendo de grande importância alguns nutrientes essenciais e alguns metais potencialmente tóxicos (TYLER, 2005).

As árvores tendem a reduzir a lixiviação, controlar a erosão e adicionar matéria orgânica ao solo, o que pode levar à complexação dos metais pesados. Por outro lado, as

árvores também podem acidificar o solo, pois a maior absorção de cátions que de ânions, libera H^+ , e com isso o pH diminui, além disso, as árvores produzem matéria orgânica solúvel podendo causar a lixiviação de metais (PEREIRA, 2012). Outro fator importante, é a variabilidade genética nas plantas nativas, que é tal que podem existir indivíduos capazes de vencer condições adversas.

No solo, a origem primária dos metais-traço é o material de origem (rochas), uma vez que a maioria delas contém em sua composição grande número de metais. O solo tem, então, um papel depurador de metais-traço, imobilizando grande parte desses, a depender das propriedades químicas do solo e natureza dos metais (MARTINS et al, 2011). Dessa forma, solos desenvolvidos em ambientes tropicais apresentam uma vantagem na imobilização dos metais-traço por serem predominantemente constituídos de óxidos, além de serem ácidos e não apresentarem em sua constituição silicatos do tipo 2:1, que seriam fatores de retenção muito fortes para metais (FONTES e WEED, 1996).

Neste sentido, vários autores atribuem ao material de origem o componente principal na distribuição dos metais pesados no solo, devendo-se esperar que, mesmo em condições severas de intemperismo (pedogênese), como a dos trópicos, o material de origem ainda possa exercer papel importante no conteúdo de grande parte dos metais pesados, definindo níveis característicos e representativos dos materiais que deram origem ao solo (OLIVEIRA e COSTA, 2004).

Os metais pesados no solo podem estar presentes em formas solúveis, trocáveis, oclusos ou fixados nos minerais, precipitados com outros compostos e complexados na matéria orgânica (AMARAL SOBRINHO et al., 2009), sendo, por isso, importante conhecer a concentração e o comportamento dos metais nessas frações e assim estimar a sua mobilidade e disponibilidade para as plantas.

O conhecimento de teores naturais possibilita definir valores padrão de qualidade do solo, além de avaliar o potencial de suprimento de nutrientes na vegetação (BIONDI et al., 2011; PELOZATO et al., 2011). A avaliação dos teores naturais de metais e da variabilidade da sua concentração em uma região pode ser obtida pela utilização de classes de solo representativas. Esses solos de referência devem ser coletados em locais com ausência mínima de atividade antrópica e possuir características conhecidas de classificação (BIONDI et al., 2011).

Pode-se considerar que metais pesados são passíveis de acumulação, sobretudo no sistema solo, devido às suas características e por poder tornar-se fonte de

disponibilização a outros sistemas ambientais (HUGEN et al., 2013). Portanto, valores de referência de qualidade para solos, devem refletir a concentração natural de determinada substância no solo e, desse modo, fornecem a base para a avaliação da sua qualidade (TENG et al., 2009).

Sendo assim, não basta determinar apenas a concentração total dos metais pesados no solo para avaliar a presença significativa destes, mas também investigar a biodisponibilidade dos metais, através da quantificação do teor desses metais-traço na liteira, visando a compreensão de sua dinâmica no ambiente natural, pois esses passam a ser mais severos em florestas tropicais, devido à eficiente ciclagem de nutrientes nesses ecossistemas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Amazônia Central

A floresta amazônica é uma das poucas reservas naturais que ainda detém os maiores níveis de biodiversidade do mundo, ocupando, aproximadamente, 6.000.000 km² da América do Sul, composta basicamente de formações vegetais diversificadas em termos de idade, composição florística e estrutura (OLIVEIRA e AMARAL, 2004). As inúmeras fisionomias dessa floresta fazem-na uma província fitogeográfica bem individualizada, complexa, heterogênea e frágil, caracterizada pela floresta tropical úmida, que interage com os diversos tipos de solos, bem como, sazonalidade do regime de chuvas, que se torna uma condição climática favorável para a vasta diversidade biológica (RIBEIRO et al., 1999).

Os solos da Amazônia central em geral são antigos, e remontam à era paleozoica. Essas áreas são compostas por uma bacia sedimentar, entre os escudos guianense e brasileiro. O vale tem formação sedimentar fluvial, que foram depositados entre o Cretáceo e Terciário. Em resumo, este é o processo de formação dos solos de terra-firme, tendo como ordens principais: latossolos e argissolos. São solos ácidos, com pH de extremamente a moderadamente ácidos, e pobres em nutrientes (FERRAZ et al., 1998; FERREIRA et al., 2001; MAIA e MARMOS, 2010).

As variações físicas e nutricionais nas propriedades dos solos ao longo da bacia Amazônica estão relacionadas intrinsecamente as variações na idade dos solos e a geomorfologia (QUESADA et al., 2009). A Amazônia central é caracterizada por solos

extremamente intemperizados e frequentemente de baixa fertilidade, portanto o estabelecimento e desenvolvimento da vegetação irão depender da ciclagem de nutrientes contidos na biomassa e na liteira presente em cada tipo de solo (LUIZAO, 2007). As variações na topografia influenciam os estoques de biomassa, distribuição de plantas e a variação de processos ecológicos nas florestas de terra firme (TOLEDO, 2009). O relevo é caracterizado por florestas de platô, vertente, campinarana e baixio que apresentam flora e solo diferenciados.

Nas áreas de platôs, localizados nas áreas mais elevadas, a floresta tem maior biomassa, caracterizando-se por vegetação com dossel entre 35-40 metros, com muitas árvores emergentes com altura superior a 45 m, solos argilosos, porém permeáveis, pobres em nutrientes, e profundos (HIGUCHI et al., 2004). A floresta das vertentes, caracterizadas por elevada declividade, apresenta dossel de 25 a 30 m, com menos árvores emergentes, implicando solos ora semelhantes aos platôs, ora semelhante aos baixios. As florestas de campinaranas são ecossistemas amazônicos, frequentemente sujeitos ao alagamento periódico consequente da flutuação do lençol freático, cujas espécies possuem elevada esclerofilia e são caracterizados por apresentarem baixa produtividade, baixa diversidade e solo com elevado oligotrofismo e acidez, quando comparados às florestas de terra firme (VICENTINI, 2004). Já as áreas de baixio, caracterizam-se pela presença de poucas árvores emergentes, com sub-bosque denso formado por plantas com muitas raízes superficiais e árvores que sofrem influências de cursos de água, com raízes escoras adventícias e seu dossel varia entre 20 e 35 m e possui solos arenosos, onde os igarapés de águas pretas ricas em matéria orgânica determinam a paisagem (HIGUCHI et al., 2004).

A exuberância da floresta amazônica sobre solos de baixa fertilidade de química natural é garantida devido a um eficiente sistema de ciclagem de nutrientes essenciais à sua manutenção. A ciclagem de nutrientes é um método unilateral de entrada e saída de nutrientes que as florestas utilizam para resgatar e reciclar através das perdas de material orgânico como folhas, galhos e raízes mortas (liteira) alinhados com condicionantes básicas de calor e umidade (FRANKEN et al., 1985).

A vegetação devolve os nutrientes pela decomposição de liteira, galhos grossos e troncos, e pela morte de raízes, através da ação de uma alta diversidade biológica que atuam na decomposição da liteira, criando um sistema de conservação de nutrientes, disponibilizando novamente estes para as plantas, encontrando assim subsídios para

permanecerem com suas dinâmicas, e interações ecológicas, perpetuando-se mesmo em solos pobres (NETA e NISHIWAKI, 2018).

2.2 Vegetação da área

Os estudos estruturais e florísticos desenvolvidos na Amazônia têm demonstrado que os ambientes florestais de terra firme, como as florestas de platô e vertente apresentam alta diversidade, representada por poucos indivíduos de cada espécie (LIMA FILHO, 2001; OLIVEIRA e AMARAL, 2004) e alta dissimilaridade florística entre parcelas adjacentes.

A comunidade vegetal da vertente representa uma faixa de transição entre as florestas de platô e baixio (RIBEIRO et al., 1999). Nas partes mais altas é floristicamente semelhante à comunidade de platô e, nas mais baixas, fisionomicamente parecida com as de baixio, porém sem apresentar as espécies que as caracterizam. Por outro lado, outras espécies são exclusivas desse ecossistema florestal (RIBEIRO et al., 1999).

Estudos realizados na Estação Experimental ZF-2 do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, localizado à noroeste da cidade de Manaus - AM, indicaram que a fitofisionomia desse ambiente florestal se caracterizou por muitas árvores altas e finas, com mais de 50% dos indivíduos situando-se entre 14 e 25 m. O dossel possui aspecto rugoso, com copas globosas, próximas umas das outras, resultando na pouca passagem de luz para os estratos inferiores (OLIVEIRA et al., 2008).

Com relação à composição florística presente na área, foram anotados 670 indivíduos, distribuídos em 48 famílias, 133 gêneros e 245 espécies. As dez famílias que apresentaram maior riqueza de espécies foram: Fabaceae, Sapotaceae, Lecythidaceae, Euphorbiaceae, Annonaceae, Moraceae, Caesalpiniaceae, Lauraceae, Chrysobalanaceae e Mimosaceae, correspondendo, em conjunto, a 60% das espécies identificadas. Esses resultados confirmam os inventários florísticos realizados em florestas de terra firme na Amazônia central (AMARAL et al., 2000; LIMA FILHO et al., 2001; OLIVEIRA e AMARAL, 2004), onde essas famílias destacam-se entre as dez mais diversificadas.

Portanto, o estudo da vegetação é de fundamental importância no entendimento do ecossistema e não somente as descrições fisionômicas que, apesar de valiosas, constituem a fase inicial de estudos fitogeográficos.

2.3 Produção de liteira

A formação da camada de liteira, típica dos solos florestais, depende basicamente da quantidade de resíduos orgânicos despejada da parte aérea das plantas e da taxa de decomposição desses resíduos. O tapete formado pela liteira e a devolução de nutrientes em ecossistemas florestais constituem a via mais importante do ciclo biogeoquímico de nutrientes (fluxo no sistema solo-planta-solo) (VILLA et al., 2016). Esse ciclo, juntamente com o bioquímico (circulação de nutrientes no interior da planta), permite que as árvores possam sintetizar a matéria orgânica através da fotossíntese, reciclando os nutrientes, que tem papel de grande relevância em solos altamente intemperizados onde a biomassa vegetal passa a funcionar como principal reservatório de nutrientes (SCHUMACHER et al., 2003; GOMES et al., 2010).

A liteira consiste no material de origem vegetal que cai constantemente sobre o solo (folhas, ramos, flores, frutos, cascas, partes vegetais não identificadas) e, em menor proporção o de origem animal (insetos, restos animais e material fecal) (ABREU et al., 2010) e pode ser classificada em: fina (que inclui material lenhoso com diâmetro até 2 cm) e grossa (material lenhoso – galhos e troncos – com diâmetro superior a 2 cm) (LUIZÃO, 2007).

A liteira representa o material base para a formação da matéria orgânica do solo, principal fornecedora de nutrientes, como o nitrogênio, fósforo, enxofre e cálcio às plantas, sendo utilizada para comparar a eficiência de nutrientes em diferentes ecossistemas florestas (SELLE, 2007). A fração folhas da liteira tem maior importância por apresentar pequena variação espacial no conteúdo de nutrientes, e por ser a responsável pela maior parte da transferência anual de nutrientes ao solo, torna-se a fração mais adequada para comparação entre ecossistemas florestais, no tocante à eficiência de seus componentes vegetais na utilização de nutrientes (TOLEDO et al., 2002; SELLE, 2007).

Dessa forma a liteira desempenha dois dos maiores papéis nos ecossistemas florestais: o primeiro está relacionado à queda desse material que é parte inerente do ciclo de nutrientes, e o segundo, trata-se da formação de uma camada protetora, sobre o solo, devido ao acúmulo de liteira, regulando as condições microclimáticas (SAYER, 2006). Para Gonçalves (2008) o processo de ciclagem de nutrientes é composto essencialmente pelas etapas de: deposição, acúmulo e decomposição do material vegetal.

O monitoramento da dinâmica da liteira tem sido um dos mais utilizados por ser um método não destrutivo de avaliar a produtividade florestal e, quando associado a outras variáveis, permite observar e analisar a resposta da floresta às tensões sofridas, quer sejam elas bióticas ou abióticas. Devido à importância da liteira no funcionamento de ecossistemas florestais nativos ou plantados, muitos pesquisadores têm realizado estudos, visando caracterizar a dinâmica de produção e decomposição da liteira e o retorno de nutrientes ao solo (TOLEDO et al., 2002; CORRÊA et al., 2006).

O conhecimento da dinâmica da liteira é o ponto de partida para a compreensão dos processos, que mantêm grande parte dos fluxos de nutrientes no solo, que são altamente relacionados à produtividade primária, regulação do fluxo de energia nos ecossistemas, atividade biológica do solo e com o grau de perturbação dos ecossistemas. O padrão de distribuição espacial e temporal da liteira se constitui como um indicador eficiente da função dos ecossistemas com relação aos estoques e fontes de nutrientes, aspectos da estabilidade da vegetação e interação da vegetação ao clima (NOVAIS et al., 2017).

2.4 Solos

Os solos são produtos de intemperismo físico e químico das rochas e suas propriedades dependem de fatores ambientais como clima, material de origem, topografia, drenagem e idade. O solo é um corpo complexo composto principalmente por material mineral, água, ar ou gases e matéria orgânica (SIVAPULLAIAH, 2015).

Na Amazônia, a diversidade de solos é um reflexo dos fatores da combinação de uma diversidade de fatores geológicos, geomorfológicos, vegetação e clima (VALE JÚNIOR et al., 2011). A porção mais central (estado do Amazonas) é caracterizada por uma região sedimentar, ou seja, sedimentos terciários a holocênicos, associados aos Latossolo Amarelo Distrófico e Distrocoeso, Argissolo Amarelo Distrófico e Plintossolos (VALE JUNIOR et al, 2011).

Com uma contextualização bidimensional dos solos ao longo de um perfil topográfico (topossequência), obtém-se informações sobre a organização da cobertura pedológica e a distribuição dos solos em função das variações geológicas e geomorfológicas (BOULET et al., 1982).

As topossequências são, então, bastante utilizadas para o entendimento da pedogênese, sobretudo por permitir estabelecer correlações entre atributos do solo e sua posição no relevo. Por exemplo, a redistribuição dos metais pesados ao longo das vertentes, por erosão e/ou em soluções, constitui processos que podem explicar as

concentrações elevadas de metais nos pedoambientes associados às zonas mineralizadas (BRUAND, 2002).

Em relação aos diferentes tipos de solo presentes em uma topossequência (platô, vertente e baixio), Ferraz et al., (1998) mostraram que eles apresentam variações na textura, no teor de umidade e nas concentrações de nutrientes a nível de microescala. Os mesmos autores afirmam que esta relação explica a elevada relação encontrada entre a topografia e as propriedades físicas e químicas do solo: umidade, estrutura, macro e micronutrientes. Pequenas variações nas características do solo e na topografia estão associadas às mudanças na decomposição da liteira fina e na ciclagem de nutrientes (LUIZÃO et al., 2004), interferindo na disponibilidade de nutrientes nos diferentes compartimentos topográficos.

A grande maioria dos solos de terra firme da Amazônia são considerados pobres em nutrientes, ácidos e com baixa capacidade de troca de cátions (VIEIRA e SANTOS, 1987). O clima da região, quente e úmido, favorece os processos de intemperização de rochas e a exposição do solo por longo tempo à ação das chuvas abundantes, que com as temperaturas elevadas, torna o intemperismo mais intenso e contribui para o aparecimento de metais traço de fonte natural (SCHUBART et al., 1984). O solo de terra firme (especificamente o Latossolo Amarelo) sob floresta primária de terra firme, devido a sua pobreza em nutrientes, bem como sua baixa capacidade de troca catiônica, atua apenas promovendo uma resistência a lixiviação dos nutrientes, suficiente para que os mesmos sejam eficientemente assimilados pela vegetação (FERREIRA et al., 2006).

Por outro lado, esses solos formados nos trópicos com clima quente e úmido são considerados como limitantes ao crescimento de algumas espécies de plantas e ao alcance de produtividades adequadas (ALEVA, 1994), devido sua mineralogia ser constituída principalmente por caulinita e oxihidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (SCHWERTMANN e HERBILLON, 1992) e assim causar à alta toxicidade por Al quando este estiver em grande concentração no solo (SEHGAL, 1998). Essa mineralogia promove uma baixa capacidade de retenção de nutrientes, alto ponto de carga zero (PCZ), baixas reservas de nutrientes e alta adsorção de fósforo (P) (VAN RANST, 1995).

Esse processo tem como causa, as características específicas do material de origem ou a forte sorção que ocorre entre o fosfato (PO_4^{-3}) e os óxi-hidroxidos de Fe (goethita e hematita) e óxidos de Al (gibbsita); o qual transforma uma grande parte do P total em formas não disponíveis (SOLOMON et al., 2002), contribuindo para uma

grande deficiência de P nesses solos. Segundo Gérard (2016), a adsorção de P sobre minerais de argila silicatadas pode ser próxima ou mesmo maior que a dos oxihidróxidos de Fe e Al, dependendo da área de superfície específica desses constituintes do solo.

Surgiram assim, vários conceitos de qualidade do solo, entre os quais está o de DORAN & PARKIN (1994), que define a qualidade do solo como sendo a sua capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal de forma saudável na face da terra. A qualidade do solo é influenciada por diversos fatores, entre os quais, destaca-se o teor de metais traço no solo, que é variável de um solo para outro, devido às condições edafoclimáticas da região (APARECIDA, 2011).

2.5 Metais-traço

Metais-traço são elementos químicos relativamente estáveis, não degradáveis e com densidade maior ou igual a cinco (mg/cm^3). A concentração natural de metais no solo pode estar presente naturalmente no solo, devido à ação de intemperismo e de outros processos pedogênicos em rochas e no material de origem do solo. Esses elementos participam da estrutura cristalina de diferentes minerais em consequência do seu comportamento geoquímico e da sua partição durante a cristalização dos componentes mineralógicos da rocha (OLIVEIRA e MARTINS, 2011).

Segundo Kawai et al., (2012), existem três classes de metais, os conhecidos como *elementos essenciais*, ou seja, a manutenção da vida depende deles, representados por sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) e magnésio (Mg); os *microcontaminantes* que possuem um grau de necessidade em nossa sociedade mas como sugere a nomenclatura, contaminam, representados por arsênio (As), chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Ag), alumínio (Al), titânio (Ti), estanho (Sn) e tungstênio (W) e os *essenciais e simultaneamente microcontaminantes* que possui as duas características, logo, é necessário a utilização consciente, representados pelos elementos cromo (Cr), zinco (Zn), ferro (Fe), cobalto (Co), manganês (Mn) e níquel (Ni).

Os metais-traço se acumulam em diversas fases geoquímicas do sedimento por meio de adsorção, co-precipitação e complexação e podem ser encontrados no solo das seguintes formas: (a) na solução do solo; (b) adsorvidos eletrostaticamente aos sítios de

troca (adsorção não específica) em partículas inorgânicas e orgânicas; (c) incorporados na superfície e na estrutura da fase inorgânica, como óxidos de alumínio (Al), ferro (Fe) e Mn (adsorção específica); (d) participando de reações de precipitação e dissolução; (e) ligados a compostos orgânicos (ALLOWAY, 1995, MARTINS et al., 2011).

Entre os elementos em questão, alguns são ligados à nutrição mineral de plantas (Cu, Mn, Zn, Co, entre outros), que são também chamados de micronutrientes. É importante ressaltar, que dependendo dos teores e das condições físico-químicas ambientais, tais elementos podem passar de micronutrientes à condição de elementos tóxicos aos seres humanos, às plantas e aos animais, agindo como agentes contaminantes do solo, da água e também do ar (LARCHER, 2004, MARTINS et al., 2011).

O entendimento da mobilidade dos metais traço e de sua disponibilidade aos organismos passa necessariamente pelo entendimento do seu comportamento químico no sistema solo. Constituintes mineralógicos, orgânicos e biológicos interagem de tal maneira resultando em diversas formas de distribuição dos metais-traço na fase líquida e na fase sólida do solo.

De acordo com Stevenson (1994) a matéria orgânica apresenta grande afinidade por metais traço presente no solo, em função de sua configuração e profusão de grupos fenólicos e carboxílicos. Sendo esse comportamento capaz de gerar sítios de adsorção, atuando via ligação iônica (troca de elétrons) e/ou como agente quelante na solução do solo. A quelação poderá manter o metal em solução, favorecer o transporte ou torná-lo indisponível pela precipitação e envelhecimento do complexo formado.

Estudos sobre a adsorção/atenuação dos metais pesados em solos arenosos demonstraram que estes são os principais mecanismos de retenção dos metais lixiviados que se encontram nas camadas superiores de solos contaminados. Os resultados indicaram que a matéria orgânica é o principal fator responsável pela mobilidade do Cd, Zn e Ca. Entretanto, a retenção dos elementos não é muito forte e é intensamente dependente do pH (HORCKMANS et al., 2007).

YIN, (2002) relacionou a mobilidade e a biodisponibilidade dos metais com diferentes tipos de solo através do coeficiente de distribuição. Os resultados mostraram que o Cu tem uma forte afinidade com a matéria orgânica dissolvida, que foi baseada no carbono orgânico total. Já o Ni e o Zn são fortemente relacionados à matéria orgânica do solo.

Cornu et al. (2005) encontraram diferentes associações dos metais pesados com minerais do solo em função do relevo, que influenciou a dinâmica da água e, conseqüentemente, as condições de hidromorfismo. Alleoni et al., (2005) encontraram altas correlações positivas para o Cu e Cd com os óxidos de Fe e Al em horizontes B de Latossolos, indicando assim a baixa mobilidade dos metais nestes solos.

O crescimento das plantas e do acréscimo de matéria orgânica sobre o transporte do cromo nos solos foi estudado em laboratório por Banks et al., (2006). As plantas contribuem com menos de 1% de remoção do cromo do solo. Entretanto, a adição de matéria orgânica apresenta forte influência na mobilidade do cromo. Observou-se que as colunas de solo com grande quantidade de matéria orgânica apresentaram baixas concentrações de cromato.

Em plantas, os níveis tóxicos dos metais ainda são pouco conhecidos. Concentrações de alguns metais consideradas tóxicas no tecido vegetal foram sugeridas por alguns autores, porém esses valores são muito amplos, variáveis e totalmente desconhecidos para plantas não cultivadas, como as arbóreas tropicais (MARQUES et al., 2000).

Uma planta crescendo num habitat com metais pesados tem a vantagem de enfrentar menor competição, com a conseqüente vantagem de aumentar as grandes diferenças de adaptação. Existem vários fatores agindo e interagindo sobre as plantas, mas o fator edáfico é dominante e o maior responsável pelo controle na distribuição das espécies (VAREJÃO, 1997).

Em geral, os metais-traço ocorrem nos solos e na liteira, em quantidades pouco expressivas, mas apesar disso desempenham em sistemas naturais funções das mais importantes e influenciam diversas atividades humanas.

2.6 Análise dos Componentes Principais (ACP)

Um dos pressupostos básicos às técnicas de avaliação das concentrações de uma gama de elementos químicos na vegetação é o conhecimento da variabilidade dos atributos de solo e plantas, no espaço e no tempo. No entanto, para se conhecer a variabilidade espacial desses atributos adequadamente, é necessária à coleta de um grande conjunto de dados. As ferramentas que auxiliam no processo incluem diversos procedimentos estatísticos (correlação simples, análise fatorial, análise dos componentes principais e análise dos fatores) que podem ser utilizados para investigar essas relações complexas (FREDDI et al., 2008; NOGARA NETO et al., 2011).

Neste contexto, destaca-se o método da análise dos componentes principais (ACP), que consiste em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema mais conveniente para a análise de dados. Esse método permite a redução do número de variáveis avaliadas e pode ser usado para julgar a importância das próprias variáveis originais escolhidas, ou seja, aquelas que apresentam maior peso e são mais importantes do ponto de vista estatístico (MOITA NETO e MOITA, 1998). Normalmente, a ACP é utilizada com o objetivo de visualizar a estrutura dos dados, encontrar similaridades entre amostras, detectar amostras anômalas (outliers) e reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados (SOUZA e POPPI, 2012).

A ACP tem como principais vantagens: retirar a multicolinearidade das variáveis, pois permite transformar um conjunto de variáveis originais intercorrelacionadas em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas (componentes principais). Além disso, reduz muitas variáveis a eixos que representam algumas variáveis, sendo estes eixos perpendiculares (ortogonais) explicando a variação dos dados de forma decrescente e independente (REGAZZI, 2000; HONGYU, 2015).

Esta técnica pode ser utilizada para geração de índices e agrupamento de indivíduos. A análise agrupa os indivíduos de acordo com sua variação, isto é, os indivíduos são agrupados segundo suas variâncias, ou seja, segundo seu comportamento dentro da população, representado pela variação do conjunto de características que define o indivíduo, ou seja, a técnica agrupa os indivíduos de uma população segundo a variação de suas características (HONGYU, 2015).

Os componentes principais apresentam propriedades importantes: cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados (JOHNSON; WICHERN, 1998; HONGYU, 2015).

Pela proporção de explicação da variância total, que o modelo de k componentes principais é responsável, podemos determinar o número de componentes que deve-se reter. Em muitos casos, adota-se modelos que expliquem pelos menos 80% da variação total (JOHNSON; WICHERN, 1998). Em geral escolhe-se o componente principal de maior importância (o primeiro componente principal) como sendo aquele de maior variância, que explique o máximo de variabilidade dos dados, o segundo componente de

maior importância, o que apresenta a segunda maior variância e assim sucessivamente, até o componente principal de menor importância (MANLY, 1986). Por outro lado, os últimos componentes principais serão responsáveis por direções que não estão associadas a muita variabilidade. Em outras palavras, esses últimos componentes principais identificarão relações lineares entre as variáveis originais próximo de constante (JOHNSON; WICHERN, 1998; FERREIRA, 2011).

3. JUSTIFICATIVA

A área em estudo é um ambiente natural com diferentes tipos de solos distribuídos em uma topossequência de platô, vertente, campinarana e baixio, além de grande diversidade florística, constando de aproximadamente 245 espécies de plantas distribuídas em 48 famílias. A escolha deste sítio específico é justificada, em primeiro lugar, pela ausência de levantamentos de metais presentes no solo e na vegetação para a área da pesquisa, e, em segundo, por ser uma microbacia que acumula estudos nas mais diferentes áreas por um período de tempo acima de quinze anos, e a mesma poderá não só representar, mas ser referência para estudos que enfoquem a quantificação de metais tóxicos para a região.

Além disso, o clima da região, quente e úmido, favorece os processos de intemperização de rochas e a lixiviação dos metais alcalinos e alcalino terrosos; a exposição do solo por longo tempo à ação das chuvas abundantes e de temperaturas elevadas, como é o caso dessa região, aliada às grossas texturas do substrato geológico, permite fácil drenagem da água de percolação, tornando o intemperismo mais intenso (SCHUBART et al., 1984). Estas condições podem exercer papel importante no conteúdo de grande parte dos metais pesados nos solos, definindo níveis característicos e representativos dos materiais que deram origem ao solo.

Portanto, a determinação da concentração de metal pesado é um dos parâmetros de avaliação para a qualidade da vegetação e do solo, podendo vir a contribuir para a manutenção do ecossistema, e pode servir como valor de referência para áreas tropicais da Amazônia, uma vez que não possuímos referencial regional e quase sempre torna-se necessário confrontarmos nossos valores com os da Resolução CONAMA (Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009), que se baseia em dados referentes a áreas distintas e com características diferenciadas da região Amazônica. Além disso, este trabalho será

o pioneiro para área de estudo, em verificar o transporte de metais a partir de suas concentrações na liteira e seu aporte ao solo.

3.1 Hipóteses

Diante do exposto, as seguintes hipóteses são levantadas:

- Existe uma relação do metal-traço entre a vegetação e o solo.
- Há diferença na concentração do metal pesado para os diferentes tipos de solo em uma topossequência de platô, vertente, campinara e baixio.
- Existem diferenças significativas nas concentrações dos metais nas diferentes frações da liteira (folha, material reprodutivo e material lenhoso).
- A presença desses metais está associada ao intemperismo da rocha matriz.

3.2. Questões de pesquisa científica

Quais os quantitativos das concentrações de metais pesados presentes no solo e na liteira de uma floresta natural da região central da Amazônia? Esses valores variam conforme o gradiente topográfico e nas diferentes frações (folha, material vegetal e lenhoso) da liteira?

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Determinar as concentrações dos metais no solo e sua distribuição na liteira em uma topossequência (platô, vertente, campinarana e baixio) de uma microbacia na Amazônia central, avaliando a contribuição potencial da disponibilidade destes para o ambiente em estudo.

4.2 Objetivos Específicos

- Quantificar as concentrações químicas dos metais do solo e da liteira (Ca, Mg, K, Na, Al, B, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Si, Sr, Ti, V, Zn e Cd) verificando se existe relação entre esses metais para os dois componentes estudados (solo e liteira)
- Determinar diferenças nas concentrações dos metais para os solos encontrados nas áreas de platô/vertente, campinarana e baixio.

- Identificar a distribuição dos metais nos ambientes platô e baixio e sua variabilidade nos diferentes componentes da liteira (folhas, material lenhoso e material reprodutivo).
- Utilizando dados de produção de liteira para a área de estudo, calcular a quantidade de metais-traço que circulam via liteira anualmente.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

O estudo será realizado em uma área de pesquisa do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), localizada a 60 km ao norte da cidade de Manaus. A Reserva Biológica do Cuieiras tem acesso apenas pela estrada vicinal ZF-2, com entrada pelo km 50 da BR- 174, percorrendo 34 km de ramal de estrada de barro até o alojamento do LBA/INPA. A reserva fica localizada em uma área de floresta primária medindo cerca de 22.735 ha (Figura 1).

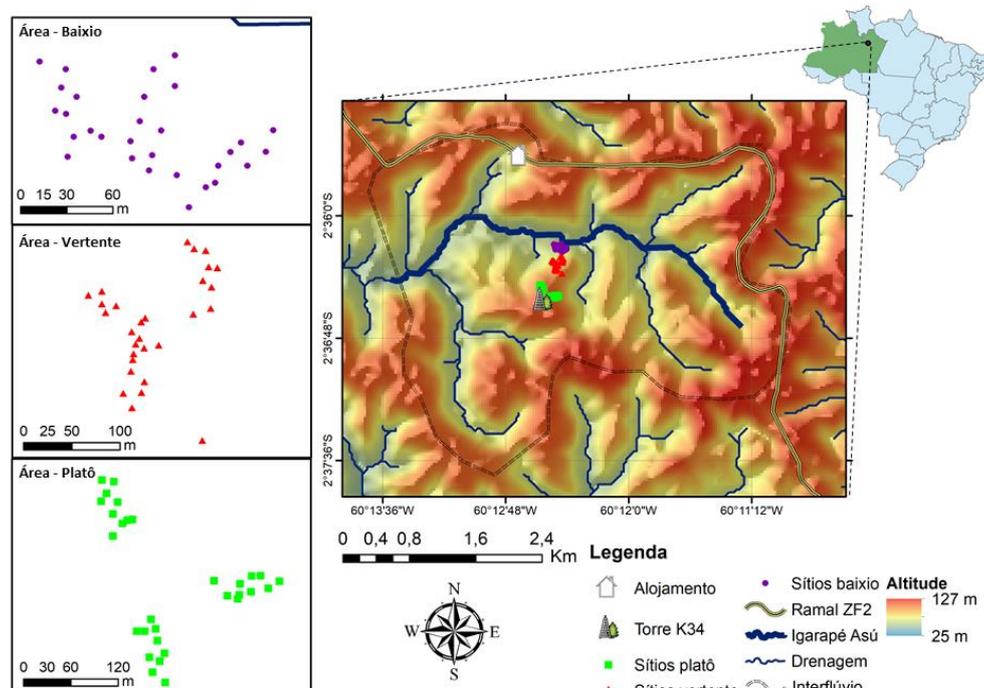


Figura 1. Mapa da área de estudo e amostragem da distribuição dos coletores de liteira para as diferentes posições topográficas (platô, vertente e baixio). Fonte: Regison Oliveira - Engenheiro Ambiental.

5.2 Caracterização fisiográfica

A Reserva Biológica de Cuieiras possui uma média anual de precipitação de 2.524 mm, com uma estação seca de julho a novembro. Pela classificação de Köppen o clima é do tipo “Am”, conceituado como megatérmico (tropical úmido). A média anual de temperatura é de 26°C com temperatura média do mês mais frio acima de 18°C. A variação térmica diurna é bem maior do que a anual, com temperatura média mínima e máxima entre 23.5°C e 31.2°C, respectivamente. Em valores médios mensais a temperatura varia de um mínimo de 24.5°C na estação chuvosa, para pouco mais de 27° na estação seca (NETA e NISHIWAKI, 2018).

5.3 Amostras de solo

As amostras de solo foram obtidas de pesquisas realizadas por Quesada et al., (2010) para o ano 2003 que seguiu um protocolo padrão disponibilizado no site (<http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/pages/manualstodownload.html>). Dentro de cada área amostrada, para cada profundidade (0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 metros) foram coletadas cinco amostras utilizando um amostrador de solo não perturbado (Eijkelkamp Agrisearch Equipment BV, Giesbeek, Países Baixos). Todas as amostras foram secas ao ar. Retirou-se das amostras raízes, detritos, pequenas pedras e partículas com mais de 2 mm e depois foram peneiradas com malhas a 2 mm.

5.4 Amostras de liteira

As amostras de liteira utilizadas neste estudo foram obtidas de pesquisas realizadas por Conceição (2017) que obteve dados da produção de liteira, de um período de dez anos, ao longo de um transecto (platô, vertente e baixio). Os detalhes da descrição da metodologia de coleta, secagem, triagem e armazenagem podem ser obtidos a partir do trabalho de Conceição (2017).

5.5 Método laboratorial

5.5.1 Determinação dos atributos físicos e químicos do solo

As amostras de solo foram analisadas no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Brasil. O pH do solo foi determinado com 1:2,5 de H₂O (água) extraído com 10 g de terra fina agitada com 25 mL de H₂O por 1 hora em um agitador circular.

Os cátions trocáveis (Ca, Mg, K, Na e Al) foram determinados pelo método da tioureia de prata (Ag-TU; PLEYSIER e JUO, 1980). Este é um método rápido e conveniente que permite uma extração centrífuga de uma etapa com solução 0,01 M Ag-TU através da qual a troca completa de cátions é alcançada. Outras vantagens deste método incluem a baixa molaridade do extrator, sua alta efetividade em uma ampla gama de pH do solo, e uma excelente comparação com outros métodos como NH₄Ac (acetato de amônio) e 1 MKCl (cloreto de potássio) (PLEYSIER e JUO, 1980). Para a concentração total de elementos, as amostras de solo foram extraídas por digestão ácida com ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado seguido de H₂O₂ (peróxido de hidrogênio). Mais detalhes estão descritos por Quesada et al., (2010).

A análise dos elementos químicos no extrato foi obtida por espectrometria de absorção atômica (AAS - do inglês Atomic Absorption Spectrometry).

5.5.2 Digestão das amostras de liteira e controle de qualidade das análises

Para a digestão das amostras de liteira, pesou-se 0,5 g de material vegetal moído em papel-manteiga e esse material foi transferido cuidadosamente para um tubo de digestão com a adição de 8 mL de solução digestora nitroperclórica. A digestão iniciou com a temperatura de 50°C onde foi ajustada a cada 30 minutos, por um período de 2 a 3 horas, até atingir a temperatura final de 210°C, em bloco digestor.

Ao final da digestão obteve-se um extrato incolor com um volume de ± 1 mL. A solução extratora então foi transferida para um tubo falcon de 50 mL, completando o volume com água destilada. As amostras foram homogeneizadas e transferidas para frascos de plástico para posterior determinação analítica.

O controle de qualidade da análise foi realizado utilizando 2 amostras de padrão vegetal reconhecido pela Esalq (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), apresentando valores de referência dos metais com concentrações conhecidas de alguns metais analisados (K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu). As curvas de calibração para

determinação dos metais foram preparadas a partir de padrões de 1 a 10.000 ppb utilizando-se água ultrapura (Sistema Direct-Q 3 Milipore) para diluição. Na confecção da curva de calibração foi adicionado o efeito matriz da amostra com a utilização de duas amostras de branco (H₂O e solução nitroperclórica). As concentrações dos metais nestas soluções foram dependentes da abundância de cada um deles nas amostras analisadas. Todas as curvas de calibração para os metais apresentaram valores de r² superiores a 0,999.

Os ácidos utilizados nas análises possuíam elevada pureza. Todas as soluções foram preparadas em água ultrapura. Para limpeza e descontaminação as vidrarias foram mantidas em solução de ácido nítrico 5% por 24 horas e enxaguadas com água destilada.

5.5.3 Determinação dos metais na liteira por espectroscopia óptica

A quantificação dos metais pesados foi efetuada por espectrometria de emissão óptica (ICP-OES 7600, Thermo Scientific) com modo de observação dupla (axial e radial) no Laboratório em Química Analítica e Ambiental (COTI/INPA). O modo de observação dos elementos pelo plasma variou de acordo com a concentração esperada nas amostras. A configuração na axial permite uma leitura com maior sensibilidade e menor limite de detecção comparado ao modo radial.

Através das curvas de calibração obteve-se os limites de detecção do aparelho. Os comprimentos de onda utilizados e o modo de observação foram: Ca (393.366; Radial), Mg (280.270; Radial), K (766.490; Axial); Al (396.152; Axial), Ba (455.403; Radial), Co (228.616; Axial), Cr (267.716; Axial), Cu (327.396; Axial), Fe (238.204, Axial), Mn (257.610, Axial), Ni (231.604, Axial), Sr (407.771, Radial), Zn (206.200, Axial), Cd (228.802, Axial) e Na (589.592, Axial).

5.5.4 Taxa de recuperação

Para a taxa de recuperação das amostras do Padrão Vegetal (PV) certificadas pela Esalq em relação aos valores obtidos neste estudo, utilizou-se a equação:

$$R = \frac{\text{Valor determinado}}{\text{Valor de referência}} \times 100$$

Em que: R = taxa de recuperação (%)

5.6 Análise dos resultados

O agrupamento do total das concentrações espacial dos metais traço no solo e na liteira foi realizado pela técnica de Análise de Componentes Principais, software [®], analisando as covariâncias e as correlações. A análise de agrupamento é um conjunto de técnicas estatísticas que identificam subgrupos ou classes distintas de metais na liteira com base nas similaridades existentes ou dissimilaridades, ou seja, os mais semelhantes pertencem ao mesmo grupo e os grupos que são heterogêneos entre si, pertencem a grupos distintos (LINDEN, 2009).

A liberação de nutrientes da liteira foi comparada por ANOVA simples entre os meses do ano e entre áreas para cada elemento. Quando os tratamentos apresentaram diferenças significativas ($p < 0.05$), foi aplicado o teste de Tukey.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Atributos físicos e químicos dos solos estudados

As amostras coletadas nos três diferentes tipos topográficos, apresentaram características típicas de solos extremamente a fortemente ácidos, com pH variando entre 3,94 e 4,73 (Tabela 1). Resultados de pH em água deste estudo foram semelhantes ao encontrados por Campos et al. (2012) que estudou solos não antropogênicos na região de Manicoré – MA.

Solos ácidos são comuns nas regiões sob condições tropicais onde a grandeza da precipitação pluviométrica é tal que os elementos alcalinos, notadamente o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , são lixiviados das camadas superiores pelas águas contendo CO_2 , sendo substituídos nos coloides pelos íons H^+ (RONQUIN, 2010). Essas condições, de modo geral, favorecem a solubilização e mobilização de metais pesados na solução do solo e, por extensão, as perdas desses elementos por lixiviação.

Em geral, para a reação C/N não houve grande variação para as três diferentes topografias estudadas. A ausência da diferença entre os estoques da relação C/N nas topografias pode ser resultado da menor quantidade de amostras coletadas e da variabilidade natural dos solos. A razão C/N é considerada um indicativo do grau de humificação da matéria orgânica presente em solos e sedimentos.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos de solo nos diferentes tipos topográficos em ambiente de floresta natural na Amazônia Central.

Área	pH	C/N	areia	argila	silte	Solo
			(%)			
Platô/Vertente	3,94	17,21	19,90	67,71	12,39	Latossolo
Campinarana	4,10	15,94	96,00	2,00	2,00	Podzólico
Baixio	4,73	17,63	89,00	9,00	2,00	Podzólico

6.2 Elementos disponíveis ao solo propostos como referência

A Tabela 2 apresenta os teores disponíveis dos elementos Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K), Sódio (Na) e Alumínio (Al) nos diferentes compartimentos topográficos do solo. De forma geral, todos os elementos foram encontrados em baixa quantidade. A baixa concentração de vários elementos considerados essenciais ao crescimento de plantas nos solos estudados pode ser em virtude da baixa concentração no material de origem destes solos e da lixiviação pelo intenso intemperismo.

Tabela 2. Concentrações disponíveis dos principais elementos encontrados no solo em três diferentes topografias em ambiente de floresta natural na Amazônia Central.

	Elementos Disponíveis (mmol _c kg ⁻¹)				
	Ca	Mg	K	Na	Al
Platô/Vertente	1,10	1,00	0,90	0,60	18,20
Campinarana	0,60	1,00	1,10	0,50	17,00
Baixio	0,30	0,50	0,40	0,10	1,80

As concentrações dos elementos químicos trocáveis ou assimiláveis seguiram a seguinte ordem: Al > Ca > Mg > K > Na. A acidez do solo e as condições fisiológicas que a acompanham resultam de uma deficiência de cátions metálicos adsorvidos, como é o caso do Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Potássio (K), denominados bases, em relação ao hidrogênio.

Calcio e Magnésio trocáveis apresentaram padrão idênticos de distribuição espacial, com teores mais altos nas áreas de platô, verificando assim o aumento das concentrações desses elementos em locais com acúmulo de matéria orgânica. Os valores destes elementos para as áreas de platô foram semelhantes ao encontrado por Zaninetti et al. (2016), que observaram valores de 1,0 mmol_c kg⁻¹ para Ca e 1,7 mmol_c kg⁻¹ para

Mg em Latossolo de uma floresta natural na região Amazônica. Barroco Neta e Nishiwaki (2018) também verificaram valores semelhantes ao deste estudo, com 0,7 a 1,3 mmol_c kg⁻¹ no Platô e 0,4 a 0,8 mmol_c kg⁻¹ na vertente e no baixio.

Os valores de potássio abaixo de Ca e Mg pode ser explicado pela sua facilidade em ser lixiviado, porque o Mg pode ocorrer como um constituinte de moléculas mais complexas e o Ca, além de fazer parte da parede celular, pode se apresentar na forma de cristais (ZAHARAH e BAH, 1999). As formas de K no solo estão relacionadas com a maneira com que este elemento se liga aos componentes sólidos do solo, assim como com a energia dessas ligações (VIEIRA, 2016). Segundo Pereira et al. (2008), a intensa redução dos teores de K é decorrente das maiores perdas por lixiviação, uma vez que o elemento não faz parte de nenhum componente estrutural dos tecidos orgânicos, sendo facilmente mineralizável. Barroco Neta e Nishiwaki (2018) encontraram valores iguais para as áreas de Platô (0,9 mmol_c.kg⁻¹) e semelhantes para o baixio (0,5 mmol_c.kg⁻¹).

O Na trocável foi o elemento de menor concentração para os três diferentes tipos topográficos. Segundo Tomé (1997) o sódio não é um elemento muito utilizado pelas plantas, mais poderá ser substituído para outras funções no metabolismo da planta, logo apresenta uma baixa quantidade no solo, além disso, o sódio dificulta a absorção de água, cátions e nutrientes pelas plantas. Os efeitos do excesso de Na, provocam redução do desenvolvimento vegetal, atribuído devido ao efeito osmótico, provocado pela redução do potencial osmótico; desbalanço nutricional em função da elevada concentração iônica e a inibição da absorção de outros cátions pelo sódio e o efeito tóxico dos íons de sódio (SCHOSSLER et al., 2012).

Encontrou-se altos valores de Al trocável neste estudo principalmente para as áreas de Platô/Vertente. É de se esperar a elevada presença deste elemento, visto que o Al é o metal mais abundante no solo, uma vez que a maior parte dos minerais primários e secundários das rochas formados pela ação do intemperismo são alumino silicatos, que, quando decompostos pela água carregada de gás carbônico, liberam o alumínio na forma trocável (Al³⁺) (MIGUEL et al., 2010). Os valores encontrados neste estudo foram similares ao estudo de Barroco Neta e Nishiwaki (2018), com valores de 20,0 mmol_c.kg⁻¹ para platô e aproximados para as áreas de baixio com 5,0 mmol_c.kg⁻¹.

6.3 Elementos totais no solo propostos como referência

Para os elementos metálicos (B, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Si, Sr, Ti, V e Zn) foi obtido um número relativamente alto de variáveis, portanto o emprego de

técnicas exploratórias, como é o caso da Análise dos Componentes Principais (ACP), permitiu reduzir uma grande quantidade da informação fornecida pelo conjunto das variáveis originais. A Figura 2 ilustra as similaridades entre as variáveis (*Loadings*) [Figura 2a] e a similaridade entre as amostras (*Scores*) [Figura 2b] e a Tabela 3 apresenta as concentrações médias dos elementos metálicos.

Pode-se observar que o modelo para a PCA foi obtido com 2 PCs, onde os componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2), explicaram 89,12 % e 10,87 % respectivamente da variabilidade total dos dados. Os *loadings* do componente principal 1 correlacionaram-se positivamente com a maioria dos metais, exceto para B (-0,11), Cr (-0,26), Mo (-0,28), Ni (-0,27), sendo estes correlacionados positivamente no componente principal 2.

A análise por componentes principais evidenciou que: 1) na área Platô/Vertente (P/V) prevaleceram os metais Cu, Zn, Ba, Co, Cu, Fe, Mn, Si, Sr, Ti, V e Zn, indicando uma maior concentração destes com solos mais argilosos e maior acúmulo de matéria orgânica; 2) na área do Baixio (B) a predominância foi dos metais B, Cr, Mo e Ni; 3) e na área de Campinarana (C) não houve representatividade de nenhum dos elementos.

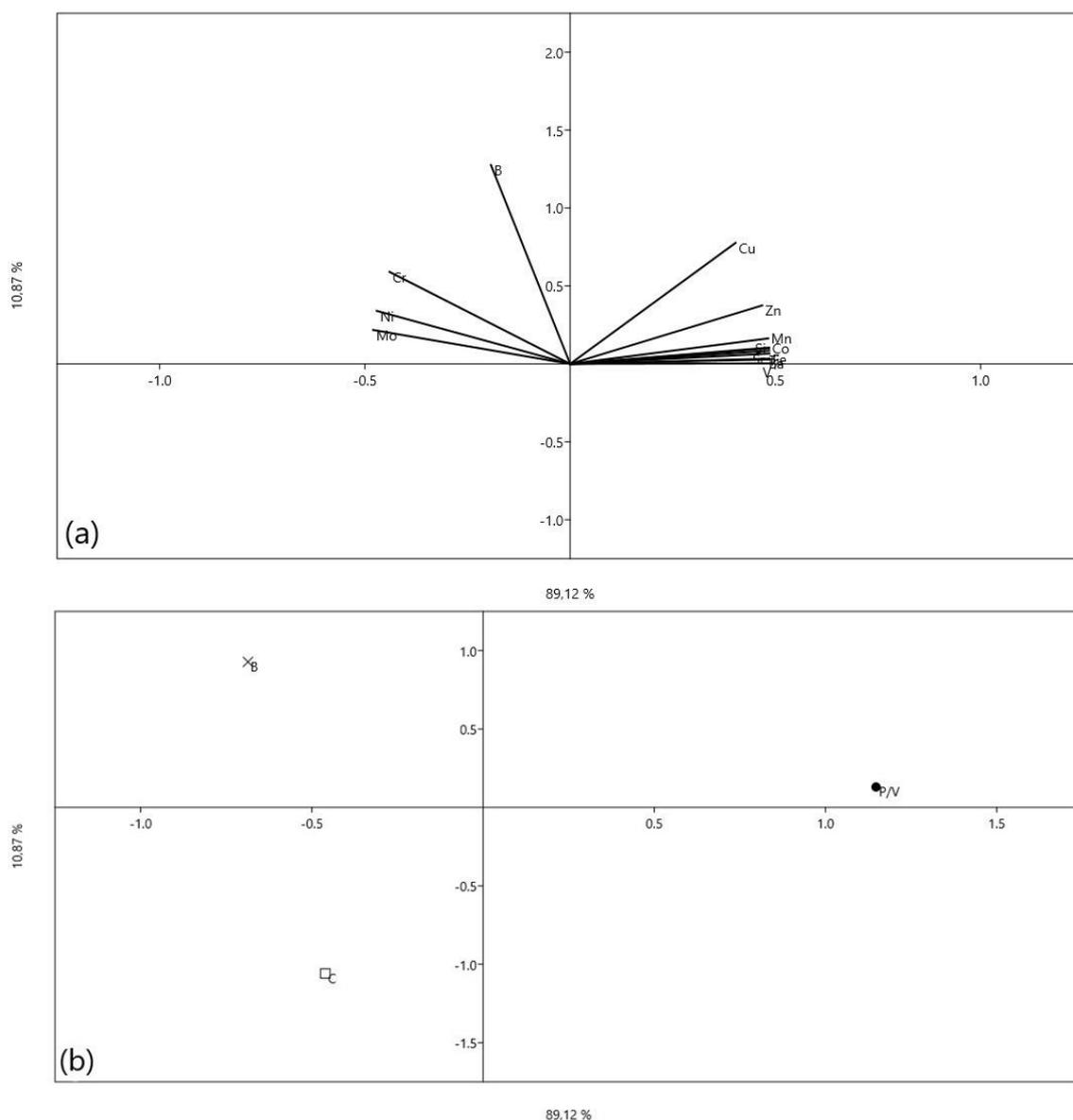


Figura 2. ACP: (a) Gráfico de *loadings* (b) gráfico dos *escores* correspondentes as três áreas topográficas para os 14 metais traço (Platô/Vertente: P/V; Campinarana: C; Baixo: B).

Tabela 3. Concentrações dos elementos metálicos encontrados no solo em três diferentes topografias.

	Elementos Totais (mg kg ⁻¹)		
	Platô/Vertente	Campinarana	Baixo
B	12,94	-	54,68
Ba	10,98	2,10	1,40
Cr	109,41	192,55	284,07
Co	17,65	2,10	1,40
Cu	3,53	2,70	3,08

Ni	3,53	7,21	9,25
Fe	20.372,55	4.137,28	2.289,40
Mn	88,24	29,14	29,44
Mo	1,57	12,62	16,83
Si	2.243,92	242,42	144,14
Sr	13,73	2,10	0,84
Ti	11.504,31	1.351,16	713,40
V	72,55	11,72	3,37
Zn	8,24	2,70	3,65

Os atributos físicos e químicos do solo contribuem decisivamente para o comportamento apresentado por um solo sem atividade antrópica. Com relação aos metais pesados é de se esperar que um solo mais argiloso apresente em seu complexo sortivo uma quantidade maior destes elementos, se levarmos em consideração apenas esta característica. Outra característica que influencia este processo é o pH do solo. Este atributo contribui para a formação de cátions metálicos, quando há uma diminuição de seus valores (XAVIER, 2013).

Apesar do Boro ser escasso em solos arenosos, uma vez que este é facilmente lixiviado (LIMA et al., 2007), ele foi o elemento mais encontrado no Baixio com 54,68 mg kg⁻¹ (solos arenosos). Esse resultado pode ser explicado pelo fato da matéria orgânica presente na área de Platô/Vertente ainda não ter sido mineralizada, diminuindo portanto o retorno desse elemento para o solo via tecido vegetal. Valor este diferente ao encontrado por Freitas (2014), no qual encontrou os maiores valores de B em solos argilosos em mata nativa do estado de São Paulo.

Pérez et al. (1997), analisando Ba em 15 solos distribuídos nas cinco regiões do país, encontraram teores variando entre 34.270,0 e 48.640,0 mg kg⁻¹ para um ambiente de floresta no Amazonas. Biondi et al. (2011b), encontram valores variando entre 5,38 e 446,03 mg kg⁻¹ em solos de referência do estado de Pernambuco. Tais valores são bem superiores aos encontrados nos solos deste estudo, em que se vê uma variação de 1,49 a 10,98 mg kg⁻¹.

Para o cromo, existe uma grande variedade na concentração entre as topografias estudadas. Salvador-Blanes et al. (2006) destaca o importante papel das formas do relevo no comportamento do Cr, segundo ele as condições geomórficas regulam as concentrações de Cr nos horizontes do solo, haja vista que as formas do relevo

condicionam os fluxos de água e com isso governam a ação do intemperismo. As maiores concentrações desse metal no Baixio, podem indicar que ele é fortemente influenciado pela lixiviação. Sugere-se então, que a qual a água carrega esse metal do Platô, passa pela Campinarana e se concentra no Baixio.

Os teores de Co, Cu e Ni nos solos foram considerados baixos em comparação a amplitude desses valores para solos de outras regiões do país. Por exemplo, Campos et al. (2003) analisando 19 Latossolos, de diferentes regiões do país e desenvolvidos a partir de vários materiais de origem, observaram teores de Cu variando entre 3 e 238 mg kg⁻¹, e Ni variando entre 3 e 45 mg kg⁻¹. Em um estudo realizado em solos de referência do estado do Pernambuco, Biondi (2011a) encontrou valores de 10,55 mg kg⁻¹ para o Ni e de 7,43 mg kg⁻¹ para o Co. Xavier (2013) em solos da Amazônia, verificou valores de 19,78 mg kg⁻¹ para Co, 52,39 mg kg⁻¹ para Cu e 11,71 mg kg⁻¹ para Ni em latossolo amarelo, enquanto que para argissolos verificou valores de 11,40 mg kg⁻¹ para Co, 50,22 mg kg⁻¹ para Cu e 9,77 mg kg⁻¹ para Ni. Falcão (2019) em solos arenosos da região metropolitana de Manaus, encontrou valores de 4,28 mg kg⁻¹ para Ni, valor este semelhante ao encontrado para solos de baixio deste estudo

De modo geral, o Fe apresentou altas concentrações em relação aos demais elementos, sendo maior na área de Platô/Vertente com 20.372,55 mg kg⁻¹. O Fe é o segundo metal mais abundante no solo, onde em alguns latossolos chegam a apresentar teores de Fe₂O₃ superiores a 600.000 mg kg⁻¹ (ZINDER et al., 1986; CARVALHO FILHO et al., 2010) A menor concentração no baixio pode ser explicado pela composição de solos arenosos, que têm como principal mineral o quartzo, e apresentam naturalmente pequenas quantidades de minerais que contém Fe em sua composição (MARQUES et al., 2004; BECEGATO e FERREIRA, 2005).

A relação do pH com as quantidades de Fe e Mn também pode ser um fator a ser considerado, visto que quanto menor o pH de um solo, como é observado nas áreas de platô (pH < 4), maiores as quantidades de Fe e Mn disponíveis para a planta, isso ocorre devido a formação de óxidos de ferro e manganês pouco solúveis (RAIJ, 2011).

O Si, Sr, Ti e V totais apresentaram tendência de decréscimo partindo das áreas de platô/vertente, passando pela campinarana, até o baixio, indicando maior teor desse elemento em Latossolos. Os altos valores nas áreas de Platô/Vertente, podem estar associados ao tipo de solo que possui uma grande quantidade de silte e argila, além de um menor pH, favorecendo na pouca solubilidade e tornando estes mais presentes no solo. A variação espacial da concentração de V no solo está dentro do encontrado para

solos naturais, que varia de 3 a 310 mg kg⁻¹, e está associado com as rochas que formam o solo (FIT, 2017).

As concentrações de Zn nos solos tropicais são baixas e geralmente encontram-se em formas pouco móveis, pois esse elemento possui capacidade de ser fixado pela MOS, argilas silicatadas e óxidos e hidróxidos de Fe (DECHEN e NACHTIGALL, 2006). A presença de maiores teores de Zn na área de Platô/Vertente é devida a seu teor ligeiramente maior em sedimentos argilosos e bem menor em arenitos (RAIJ, 2011). Hugen et al. (2013) também encontraram menores concentrações médias deste elemento em solos derivados de sedimentos arenosos, com valores de Zn em torno de 8,7 mg kg⁻¹.

Ressalta-se que as diferenças entre os teores naturais de metais pesados em solos são atribuídas sobretudo ao material de origem e a fatores pedogenéticos (PAYE et al., 2010). Mesmo em condições rigorosas de intemperismo durante a pedogênese e a exemplo do que ocorre com solos tropicais, a rocha mãe ainda exerce influência no conteúdo de metais pesados no solo. Essa influência é representativa quando o solo tem rochas básicas como material formador, em particular as rochas máficas que, devido à origem do magma, são naturalmente ricas em metais. Rochas sedimentares e ígneas ácidas cristalinas apresentam concentrações bem menores de metais pesados (HUGEN et al., 2013).

Verifica-se a existência de uma grande variação dos teores de metais nos solos do Amazonas que acompanha a diversidade de solos e rochas encontrados na região Amazônica (QUESADA et al., 2010). Considerando que o Brasil encontra-se em região de baixa latitude, apresenta grande extensão territorial e diversidade de regiões fisiográficas, que refletem as mais variadas classes de solos, a abordagem do tema, nestas condições, deve ser mais abrangente e ao mesmo tempo mais detalhada, respeitando as características e as condições ambientais em que cada solo se encontra.

Neste sentido e considerando a variabilidade de concentrações de teores naturais de metais em solos, Biondi et al. (2011a) reforçam a necessidade de estudos regionalizados para determinação desses elementos. Assim também, as condições de formação podem apresentar peculiaridades locais, essas variações podem ser atribuídas às propriedades químicas e físicas, não apenas da classe do solo, mas de cada perfil de solo.

Portanto, a variação observada nos Valores de Referência de Qualidade (VRQs), que é a concentração de determinada substância no solo, que define um solo como

limpo, estabelecidos nos solos da Amazônia central deste trabalho, em relação aos determinados nas diversas regiões do Brasil, reflete a diversidade dos materiais de origem, fatores e processos de formação dos solos, bem como as características intrínsecas de cada classe de solo e metal analisado (TUME et al., 2008; BINI et al., 2011). Esses resultados corroboram a ampla variação de VRQs, e que portanto, as determinações dos elementos metálicos realizados neste estudo, não devem ser comparados aos Valores de Referência de Qualidade pela Resolução CONAMA 420/09.21 devido a não serem valores determinados para o Estado do Amazonas, e sim para cada Estado da Federação, para fins de monitoramento dos impactos ambientais, em razão da enorme extensão territorial e diversidade geológica, geomorfológica e pedológica do país.

6.4 Concentração dos elementos traço na liteira produzida

As amostras do Padrão Vegetal (PV), base para comparação dos valores obtidos neste estudo, tem seus teores certificados determinados com base em métodos de determinação do teor total. De forma geral, quando comparados os valores determinados com os de referência, as taxas de recuperação foram satisfatórias (que é a quantificação, com valores acima de 80% (Tabela 4).

Tabela 4. Recuperação média dos metais na liteira utilizados nas análises em comparação aos valores de referência.

Metal	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	(g/kg)			(mg/kg)			
Valor determinado	28,47	41,16	6,00	553,58	77,32	39,45	66,42
Valor de Referência do padrão vegetal	28,88	47,77	6,14	665,52	91,72	43,99	85,24
Recuperação (%)	99	86	98	83	84	90	78

A liteira, por ser a principal via de transferência de matéria orgânica, é utilizada para comparar a disponibilidade e eficiência de utilização de elementos químicos, em diferentes florestas. Dada a grande variação que as espécies vegetais apresentam na capacidade de absorver e acumular metais pesados, o estabelecimento de faixas de

concentrações normais para as plantas não é um processo simples. Existe grande variação dessas concentrações entre ambientes de mesma região, portanto os estudos de influência de metais no tecido vegetal permitem comparar resultados de diferentes experimentos.

A influência temporal na variação dos teores de nutrientes da liteira normalmente é pequena. Este comportamento já foi relatado por diversos autores (CUEVAS e MEDINA, 1986; PAGANO, 1989; CUNHA et al., 1993; BARBOSA, 2000; GODINHO et al., 2013;). Cunha et al. (1993) afirmaram que a estabilidade nos teores dos elementos demonstra que a qualidade da liteira pouco se altera durante o ano e que, a influência na dinâmica anual de populações de organismos do solo e o fornecimento de nutrientes estão mais relacionados com a quantidade de liteira depositada do que com a variação em sua qualidade.

Os valores obtidos neste estudo, permitem a comparação deste com outros ambientes, uma vez que ainda não existe, para o Estado do Amazonas, valores aceitáveis de limites de metais pesados na liteira. A Tabela 5 permite a visualização dos metais encontrados para as áreas de platô e baixio, além de valores para estudos em outras regiões do país tanto para florestas naturais como para ambientes minimamente antropizados. Esta pesquisa mostra uma série completa de metais para todos os elementos analisados.

A concentração de elementos em plantas depende de diversos fatores como espécies de plantas presentes na vegetação, tipo de vegetação, disponibilidade ambiental do elemento em questão, concentração do mesmo no solo, parte da planta a ser analisada, a idade dessa parte da planta, condições climáticas da região e tipo de solo (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001). Portanto, seria razoável supor que, uma comparação da concentração de metais pesados em diferentes tipos de vegetação e em diversas partes do mundo, só poderia gerar uma gama de resultados diversos sem relação aparente. No entanto, uma comparação mais adequada pode ser realizada analisando-se os dados obtidos neste trabalho com dados da literatura do mesmo tipo de vegetação.

Tabela 5. Concentração de macro (g/kg) e micronutrientes (mg/kg) na liteira total para as áreas de Platô e Baixio e para distintas formações florestais brasileiras.

Fonte	Ca	Mg	Na	K	Al	Ba	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Sr	Zn	Cd
	(g/kg)					(mg/kg)									
Este estudo (Baixio)	15,1	7,1	1,6	8,6	0,3	9,2	0,2	3,0	11,0	161,0	338,2	1,2	144,2	62,7	0,3
Este Estudo (Platô)	12,9	5,5	2,6	6,6	2,9	5,0	0,2	2,9	19,8	210,3	414,1	2,6	120,2	53,6	0,1
Vital et al. (2004) ¹	22,8	4,4	-	6,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vieira et al. (2010) ²	19,5	2,4	-	1,7	-	-	-	-	6,0	3797,2	394,8	-	-	30,5	-
Godinho et al. (2013) ³	51,0	2,6	-	10,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Trecho de Floresta Estacional Semidecidual no estado de São Paulo; ² Fragmento de Floresta Estacional Decidual, Itaara, RS; ³ Trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES

Assim como o solo, a liteira apresentou um grande conjunto de dados que foi utilizado para uma ACP. A Figura 3 ilustra as similaridades entre as variáveis (*Loadings*) [Figura 3b] e a similaridade entre as amostras (*Scores*) [Figura 3a] e a Tabela 6 apresenta as concentrações dos elementos metálicos durante o ano para cada posição topográfica.

Pela Análise de Componentes Principais (ACP) pode-se ter uma melhor visualização dos principais metais traço presentes na liteira que melhor diferenciaram as áreas estudadas. A primeira e a segunda componente são responsáveis por 61,30 % da variância total, sendo 41,51 % na CP1 e 19,79 % na CP2. Os *loadings* do componente principal 1 correlacionaram-se positivamente com os metais Na (0,17), Al (0,34), Cu (0,34), Mn (0,27) e Ni (0,35), enquanto a CP2 com os elementos Ca (0,06), Ba (0,20), Co (0,52), Cr (0,51), Sr (0,10) e Cd (0,53).

A partir da análise do gráfico dos scores, observa-se a formação de dois grandes grupos principais (destacados na figura 3a), denominados de grupos A e B que caracterizam as diferenças das áreas e meses estudados. Os grupos estão divididos de acordo com as semelhanças e diferenças apresentadas pelas amostras. O grupo A foi subdividido em dois grupos, A1 (1P e 7P) e A2 (2P, 3P, 4P, 5P, 6, 8P, 9P 10P, 11P e 12P), enquanto que o grupo B foi constituído pelas amostras 1B, 2B, 3B, 4B, 5B, 6B, 8B, 9, 11B e 12B.

A análise por componentes principais evidenciou que: 1) o grupo A obteve elevadas concentrações de Mn, Ni, Na, Cu, Al e Fe e baixas concentrações de Sr, Ca ,

Ba e Mg para todos os meses do ano na área de platô, sendo que, no grupo A1, os meses janeiro e julho (1P e 7P, respectivamente), mostraram altíssimos valores de Fe, Co e Cr; 2) o grupo B foi constituído por todos os meses referentes a área de baixio (exceto os meses julho [1B] e outubro [10B]), que possuíam elevadas concentrações de Ba, Sr, Ca, Zn e Mg em comparação a área de platô. A exceção do mês de outubro na área de baixio é a extrapolação da concentração de metais Ca, Mg, K, Ba e Sr, enquanto julho nesta mesma área, extrapolou valores de Co.

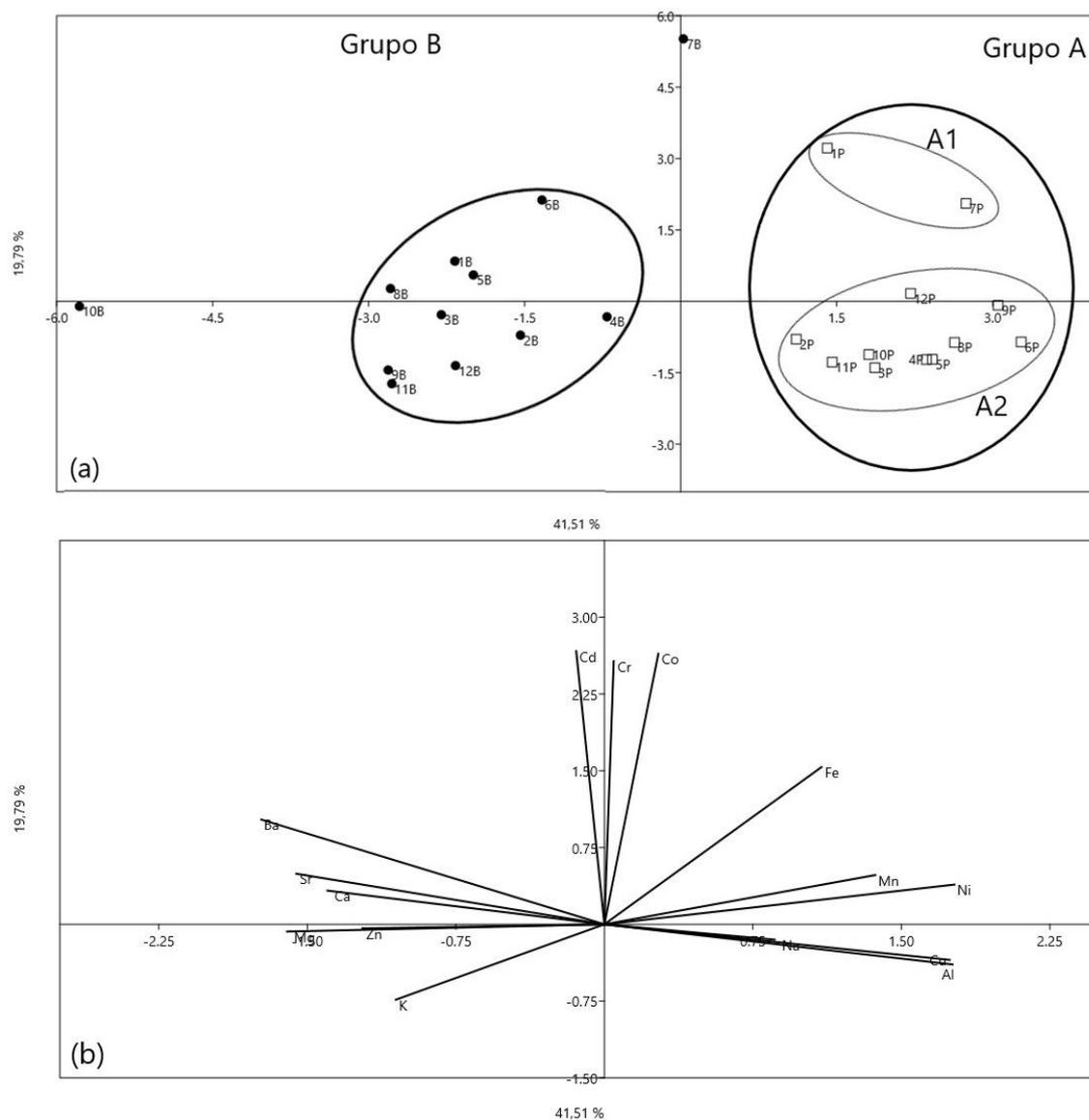


Figura 3. ACP: (a) Gráfico dos *escores* (b) gráfico de *loadings* correspondentes à classificação espaço-temporal dos metais pesados na liteira. No gráfico 3a, os números indicam os meses e as letras P (platô) e B (baixio).

Tabela 6. Concentração dos metais pesados na liteira para os dois ambientes em estudo (Platô e Baixio) de uma floresta natural na Amazônia central.

	Ca	Mg	Na	K	Al	Ba	Co	Cr	Cu	Mn	Fe	Ni	Sr	Zn	Cd	
	(g/kg)				(mg/kg)											
Platô																
Jan	17,1	5,9	3,4	9,6	3.134,2	6,9	0,8	3,7	21,1	424,0	251,8	2,8	158,0	48,7	0,8	
Fev	14,0	5,2	2,4	5,6	1.350,3	4,6	0,1	2,7	19,4	384,1	142,4	2,9	127,1	67,3	0,2	
Mar	13,1	4,7	1,8	4,0	2.406,6	4,0	0,1	2,5	18,6	381,6	143,5	2,0	113,3	44,6	0,0	
Abr	12,1	5,0	1,7	5,4	2.979,0	5,2	0,1	2,2	19,3	419,9	206,0	2,6	108,3	54,1	0,0	
Mai	11,2	4,9	2,4	4,5	2.272,5	3,5	0,1	2,5	18,2	360,3	198,7	2,4	105,7	49,0	0,0	
Jun	13,4	5,4	2,7	4,0	2.756,8	3,8	0,1	2,5	20,0	496,9	194,6	3,9	117,8	54,0	0,0	
Jul	12,2	5,2	2,0	4,0	2.670,7	5,2	0,5	3,7	18,7	411,1	257,9	2,9	110,6	50,6	0,5	
Ago	12,6	6,2	2,9	5,8	4.536,7	3,7	0,1	3,0	21,0	441,3	168,9	2,5	117,9	60,1	0,1	
Set	12,0	5,0	3,2	9,7	3.720,8	5,6	0,2	2,8	19,2	442,1	342,5	2,2	112,4	50,4	0,0	
Out	11,0	6,1	3,7	10,6	3.233,6	6,5	0,1	2,8	21,7	419,7	170,5	2,5	121,3	68,1	0,0	
Nov	14,3	6,1	3,1	11,6	2.731,2	6,1	0,1	2,4	19,8	399,1	197,5	2,5	128,1	44,4	0,0	
Dez	12,1	5,9	1,5	4,0	3.150,4	4,4	0,2	3,5	20,2	388,6	249,7	2,4	121,5	52,5	0,0	
Média	12,9	5,5	2,6	6,6	2.911,9	5,0	0,2	2,9	19,8	414,1	210,3	2,6	120,2	53,6	0,1	
Desvio	1,6	0,5	0,7	2,8	2.893,4	1,1	0,2	0,5	1,0	34,5	54,7	0,5	13,2	7,5	0,3	
Baixio																
Jan	14,9	6,8	1,3	6,5	437,1	10,8	0,3	3,0	10,2	307,3	149,2	1,4	143,1	51,3	0,5	
Fev	13,3	5,7	1,4	6,2	451,1	8,2	0,1	2,5	9,1	309,8	118,7	1,6	147,9	50,0	0,2	
Mar	14,6	5,5	1,0	4,0	303,9	9,1	0,1	2,9	9,5	262,7	133,1	0,8	148,8	55,8	0,2	
Abr	13,8	5,9	1,8	5,0	378,0	8,4	0,1	2,7	11,7	444,8	150,6	1,1	137,7	52,3	0,1	
Mai	17,0	6,2	1,5	5,3	338,2	8,9	0,1	3,2	11,9	380,0	183,5	1,2	173,2	56,2	0,2	
Jun	14,4	5,7	1,0	4,3	307,5	10,8	0,2	4,3	10,9	341,0	290,4	1,8	135,3	74,3	0,2	
Jul	12,2	6,7	1,8	5,5	288,9	9,2	1,1	4,1	12,0	401,8	237,3	2,1	120,2	56,1	1,5	
Ago	17,1	8,1	2,5	9,2	393,9	9,9	0,1	3,3	9,8	409,1	146,6	1,0	149,9	73,3	0,2	
Set	17,9	8,2	1,7	14,3	424,0	6,3	0,1	2,2	11,0	352,1	153,0	0,9	134,5	71,7	0,1	
Out	21,2	11,1	2,7	16,6	283,8	13,2	0,2	2,8	12,5	335,5	141,0	1,0	184,6	93,0	0,2	
Nov	12,3	8,4	1,7	15,1	277,0	8,7	0,1	2,2	10,4	276,1	116,9	0,9	133,2	56,7	0,1	
Dez	12,7	7,3	1,0	11,1	267,9	7,0	0,1	2,8	12,9	237,8	111,5	1,0	121,9	61,0	0,1	
Média	15,1	7,1	1,6	8,6	345,9	9,2	0,2	3,0	11,0	338,2	161,0	1,2	144,2	62,7	0,3	
Desvio	2,6	1,6	0,5	4,4	338,3	1,8	0,3	0,6	1,2	60,4	50,8	0,4	18,2	12,3	0,4	

A média total dos teores de macronutrientes na liteira, produzida em ordem decrescente na área de platô e baixio foram $Ca > K > Mg > Na$. Para os micronutrientes, a ordem foi $Al > Mn > Fe > Sr > Zn > Cu > Ba > Cr > Ni > Co > Cd$ para o Platô; e $Al > Mn > Fe > Sr > Zn > Cu > Ba > Cr > Ni > Cd > Co$ para o baixio.

Teores elevados de Ca na liteira, em relação a outros macronutrientes, se deve em parte à sua baixa mobilidade interna na planta (RAIJ, 2011). O Ca acumula-se

preferencialmente nas folhas e cascas (LARCHER, 2000), isto se deve à função estrutural que o elemento ocupa nos tecidos das plantas (MALAVOLTA, 1980). Além disso, a retenção ou acumulação de Ca na liteira tem sido atribuída à formação de oxalato de cálcio por certos fungos (QIU et al., 2012).

Para as amostras da área de baixio, os elementos ali presentes não apresentaram variação em função da sazonalidade. Com exceção do mês de outubro para esta topografia, no qual verificou-se altos valores principalmente de K, Mg e Ba. Vital et al. (2004) também encontraram maiores valores de K (11,0 g/kg) e Mg (6,0 g/kg) para o mês de outubro em uma área de mata para o estado de São Paulo.

Houve diferença entre os elementos nas diferentes áreas amostradas. Os valores mais baixos de cálcio e magnésio nas áreas de platô em relação ao baixio, pode ser resultado típico de áreas com solo muito ácido ($\text{pH} < 4$) e com alto teor de argila ($>60\%$) (SILVA, 1996), como é o caso desse ambiente que possui um pH de 3,94 e o teor de argila de 86%. Os valores de Ca e Mg mais elevados na liteira do baixio, indicam uma alta eficiência da ciclagem desses nutrientes nesse ambiente, visto que a quantidade desses elementos é baixa nesses solos, portanto, não possuindo uma dependência desse compartimento.

Os baixos teores de sódio na liteira para ambos os ambientes podem ser, primeiro, pelo fato das plantas conseguirem completar seu ciclo de vida na sua ausência e, segundo, porque esse nutriente é adsorvido pelos minerais argilosos e sua fixação é mais fraca quando comparado as outras bases trocáveis no solo (MALAVOLTA, 2006) o que pode vir a indicar uma deficiência de Na para a área de estudo. Além disso, as plantas não o absorvem em grandes quantidades e sua fixação no solo é baixa, contribuindo para sua lixiviação para camadas mais profundas (MALAVOLTA, 2006).

Dentre os micronutrientes, os teores de Al, Mn e Fe foram comparativamente mais altos que outros elementos. O teor desses elementos se deve provavelmente ao elevado teor no solo, sendo que a contaminação da liteira com partículas de solo pode ser uma justificativa para explicar a maior concentração (CALDEIRA et al., 2008). Esses valores elevados de concentração do Mn e Fe na liteira foram observados em outros estudos (BIANCHIN, 2013; WOICIECHOWSKI, 2015; SLOBODA et al., 2017).

As altas concentrações de Fe no mês de julho, pode ser atribuído ao mês de transição (chuvoso-seco) particularmente para o ano de 2009, no qual foi o último mês com maior índice pluviométrico antes do período seco. A entrada de ferro parece ser contínua durante o crescimento do vegetal, pois não há transferência do metal de uma folha para outra. Segundo Lima e Pedrozo (2001), o processo de obtenção do ferro pelos vegetais envolve a captação do metal do solo pela raiz e o seu transporte até as folhas, para isto este metal precisa estar solubilizado na solução do solo, para favorecer a absorção pela planta. Portanto, o mês de julho provavelmente foi a válvula de escape para que esse elemento esteja solúvel no solo e absorvido pela raiz, antes da estação seca.

Alguns metais como Cd, Co, Ni, Cr e Ba, além de não serem essenciais e, ou benéficos às plantas, podem ser extremamente tóxicos em concentrações elevadas, por se tratar de um ambiente natural, já era esperado que esses elementos fossem encontrados em menor quantidade neste estudo. Além disso a disponibilidade dos metais pesados é dependente de reações no complexo rizosférico envolvendo processos de trocas entre a solução do solo, a planta e microrganismos (SCHÜTZENDÜBEL e POLLE, 2002), como grande parte desses elementos metálicos estão como elementos totais, eles não estão disponíveis para absorção pelas plantas.

Grandes quantidades de nutrientes são transferidas por meio da deposição de liteira (CONCEIÇÃO, 2017), demonstrando a importância dessa deposição para a manutenção do equilíbrio nutricional do ecossistema florestal. A contínua ciclagem de nutrientes (no sistema solo-planta-solo), em ecossistemas florestais estabelecidos em solos de baixa fertilidade, como o verificado neste estudo, é fundamental para a manutenção do equilíbrio nutricional do sistema. Se esta camada não for ciclada, nutricional e continuamente, seja por via de deposição de serapilheira, de precipitação úmida ou seca, de intemperização de rochas, de decomposição de árvores e de animais mortos, dentre outros, poderão ocorrer perdas significativas no ecossistema florestal (MARAFIGA et al., 2012).

6.5 Concentração média dos elementos traço nas frações de liteira

A Tabela 7 apresentam as concentrações médias de macronutrientes ao longo do ano das frações de liteira (folha, material lenhoso e material reprodutivo) em duas estações do ano (chuvosa e seca).

Tabela 7. Valores da concentração sazonal dos macronutrientes nas frações folha, material lenhoso e material reprodutivo nas estações seca e chuvosa em floresta natural na Amazônia Central.

	Estação Chuvosa				Estação Seca			
	Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na
	Platô (g kg⁻¹)							
Folha	3,63	1,91	1,33	0,91	3,18	1,95	1,43	1,31
M. L.	7,60	1,73	1,38	0,64	6,17	1,57	1,26	0,53
M. R.	2,23	1,55	2,81	0,84	3,01	2,24	4,92	0,90
	Baixio (g kg⁻¹)							
Folha	3,59	2,21	1,51	0,61	5,01	2,89	2,19	0,76
M. L.	7,79	1,64	1,08	0,30	7,00	2,49	3,14	0,54
M. R.	3,30	2,11	2,62	0,39	3,55	2,95	6,64	0,60

Em que: M. L. = Material Lenhoso; M. R. = Material Reprodutivo

De forma geral o conteúdo de cálcio teve maior concentração no material lenhoso entre as frações da liteira para as duas áreas de estudo e nas diferentes estações. Segundo Selle (2007), a copa armazena em média, 24% do total dos nutrientes da árvore e é na casca que estão as maiores quantidades de cálcio, aproximadamente 60% do total. Nos galhos, está o maior teor de Ca, por ser um elemento pouco móvel na planta, ficando mais concentrado nas partes lignificadas, como galhos e casca.

O magnésio teve sua maior concentração na fração foliar. O maior teor de Mg nas folhas é atribuído provavelmente por esse elemento fazer parte da clorofila na proporção de 2,7% desta, sendo assim mais abundante nestes tecidos. Teores mais elevados de Mg nas folhas também foram observados por Espig et al. (2009) e podem ser explicados pelo fato de que, durante a decomposição da liteira, o Mg não é facilmente lixiviado, ao contrário dos carboidratos solúveis, o que contribui para elevar os teores desses nutrientes por unidade de massa de liteira foliar (PROTIL et al., 2009).

O potássio, no entanto, obteve maiores concentrações médias na fração de material reprodutivo. O maior teor de K nos órgãos reprodutivos e posteriormente nas folhas recém depositadas se deve ao fato de que essas frações apresentam menor grau de decomposição, sendo que há uma maior dificuldade de lixiviação do K desses tecidos (WOICIECHOWSKI, 2015). Além disso, as concentrações maiores do K nas estruturas reprodutivas se devem ao fato de ser um elemento altamente móvel no floema e prontamente redistribuído para os órgãos novos em crescimento, sendo uma de suas funções, proteger a planta contra doenças, além de auxiliar na manutenção dos frutos

(SHUMACHER et al., 2003). Godinho et al. (2013) e Holanda et al. (2017) também encontraram maiores tores de K no material reprodutivo.

A Tabela 8 apresenta as concentrações médias de micronutrientes ao longo do ano das frações de liteira (folha, material lenhoso e material reprodutivo) em duas estações do ano (chuvosa e seca).

Tabela 8. Valores da concentração sazonal dos elementos metálicos nas frações folha, material lenhoso e material reprodutivo nas estações seca e chuvosa em floresta natural na Amazônia Central.

Estação Chuvosa											
	Al	Ba	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Sr	Zn	Cd
Platô (mg kg⁻¹)											
Folha	1272,81	1,18	0,05	0,73	4,21	53,02	119,79	0,89	36,01	14,53	0,03
M. L.	1007,59	2,83	0,06	1,00	6,92	92,06	229,92	0,97	66,60	22,68	0,03
M. R.	202,83	0,68	0,12	0,95	8,30	44,43	61,42	0,91	19,09	15,73	0,11
Baixio (mg kg⁻¹)											
Folha	158,14	2,37	0,04	0,77	2,15	42,80	133,00	0,25	38,18	11,75	0,05
M. L.	85,46	4,81	0,04	0,92	2,89	49,73	109,04	0,31	75,49	22,32	0,09
M. R.	125,70	2,17	0,07	1,40	5,51	78,38	98,89	0,75	33,98	22,60	0,08
Estação Seca											
Platô (mg kg⁻¹)											
Folha	1743,37	1,24	0,04	0,81	3,73	59,08	119,46	0,85	31,45	11,55	0,01
M. L.	878,68	2,24	0,07	1,08	6,46	94,99	206,86	0,72	57,81	22,72	0,02
M. R.	718,52	1,77	0,10	1,13	9,93	77,11	90,67	0,94	29,37	20,08	0,08
Baixio (mg kg⁻¹)											
Folha	146,55	2,71	0,18	0,87	2,68	46,09	126,80	0,42	43,50	16,15	0,22
M. L.	105,82	4,10	0,05	0,94	3,73	45,09	117,90	0,25	63,77	29,30	0,07
M. R.	70,22	2,24	0,05	1,08	5,01	59,89	90,70	0,48	33,44	23,19	0,07

Em que: M. L. = Material Lenhoso; M. R. = Material Reprodutivo

De forma geral, o Al foi o metal de maior predominância em todas as partes da planta, principalmente na estrutura foliar. A hiperacumulação desse elemento em angiospermas, família esta de grande representatividade principalmente na área de platô, contribuiu para este resultado. Uma lista de hiperacumuladores de alumínio em angiospermas é compilada com base em dados da literatura (JANSEN et al., 2002).

As concentrações significativamente mais altas de manganês e ferro em todas as frações da liteira para as diferentes áreas e estações, podem indicar acúmulo deste elemento pelas espécies desta área. As grandes quantidades desses elementos presentes na liteira são devidas, em parte, a baixa mobilidade desses elementos na planta. As

plantas absorvem o manganês no estado bivalente, presente em maior concentração em solo com pH reduzido. Solos com tais características e não fertilizados, aumentam a solubilidade do metal e sua disponibilidade para as plantas.

Os demais elementos traço (cobre, cromo e níquel) foram encontrados em baixíssimas concentrações em todas as frações da liteira, tal que, não podem ser observadas no gráfico. De acordo a PEDROZO (2003), o cobre é requerido em pequenas quantidades para o crescimento normal da planta, 5 a 20 mg/kg, participando apenas no processo de resistência a doenças. Dependendo da espécie de planta, do órgão da planta, do estágio de seu desenvolvimento e do suprimento de nitrogênio, essas faixas podem ser maiores. Nos vegetais, a maior parte do cromo é retida nas raízes e somente uma pequena parcela é transportada para as partes superiores das plantas, sendo improvável a bioacumulação do cromo proveniente do solo nessas partes. De acordo com Merian (1991), a concentração de níquel em plantas pode variar entre 0,05 a 5,0 mg/kg (peso seco), para este trabalho a concentração variou de 0,25 a 0,97 mg/kg entre as frações analisadas.

6.6 Retorno de nutrientes ao solo via liteira

O fluxo de nutrientes da liteira para o solo determina importantes processos nos ecossistemas florestais como a decomposição e a mineralização (LUIZÃO, 2007). Estes processos são controlados pela quantidade de liteira produzida e concentração de nutrientes nela contida (HAYASHI et al., 2012). A quantidade dos nutrientes transferidos ao solo via deposição de liteira são muito variáveis entre as florestas tropicais e dependem das características funcionais de cada elemento no metabolismo das plantas, da presença ou ausência de mecanismos de conservação de nutrientes, das condições edafoclimáticas, das exigências nutricionais das espécies, da parte da planta considerada, da fenologia, da época do ano, da composição florística, do estágio sucessional e da metodologia empregada na avaliação (VOGEL et al., 2008; BRUN et al. 2010; VIERA et al., 2010).

De forma geral, para todos os elementos traço, encontrou-se maiores valores na estação seca, principalmente no período de junho a agosto, indicando que o fator sazonalidade teve influência direta no retorno desses elementos a partir da liteira. Esse fato se deve a maior produção de liteira nesse período, com base nos dados de Conceição (2017). Uma das características da floresta tropical e subtropical úmida é a

produção de liteira, com máximos valores na estação seca (BARAJAS-GUZMÁN & ALVAREZ-SÁNCHEZ, 2003). Golley (1978) menciona que a produção de liteira em regiões tropicais e subtropicais ocorre na transição entre a estação seca e a chuvosa. Nas Tabela 9 e 10 observa-se a transferência anual dos elementos traço da liteira ao solo ao longo do ano.

Tabela 9. Conteúdo de macronutrientes que retornam ao solo através da liteira em uma área de floresta natural na Amazônia Central.

Mês	Platô				Baixio			
	(kg/ha)							
	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na	K
Jan	7,03	2,45	1,40	3,95	6,99	3,18	0,61	3,04
Fev	5,88	2,18	0,99	2,35	4,76	2,04	0,48	2,21
Mar	8,60	3,06	1,20	2,65	6,62	2,48	0,44	1,81
Abr	5,67	2,34	0,78	2,55	6,42	2,73	0,82	2,34
Mai	7,80	3,45	1,67	3,13	9,42	3,43	0,81	2,93
Jun	12,36	5,02	2,46	3,73	12,43	4,93	0,84	3,67
Jul	11,76	5,01	1,95	3,86	10,02	5,48	1,44	4,54
Ago	15,93	7,87	3,62	7,32	18,22	8,66	2,71	9,78
Set	11,55	4,84	3,08	9,32	17,06	7,85	1,59	13,65
Out	8,99	5,01	3,07	8,68	15,79	8,31	2,05	12,38
Nov	6,63	2,82	1,44	5,37	5,13	3,49	0,71	6,28
Dez	5,48	2,66	0,67	1,80	5,91	3,43	0,48	5,18
Total	107,69	46,72	22,34	54,71	118,75	56,01	12,98	67,81
Média	8,97aA	3,89cdA	1,86cA	4,56bdA	9,90aA	4,67cdA	1,08cB	5,65bdA

Cada valor mensal corresponde a média de 3 repetições. Para a média mensal, os valores seguidos da mesma letra minúscula para os metais dentro da mesma área cada área; e maiúsculas para o mesmo metal entre áreas diferentes, não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Os resultados nos permitem concluir que houve diferença significativa a 5% de probabilidade segundo o teste Tukey, para o Ca foi entre os elementos dentro de uma mesma área, porém quando o mesmo elemento foi comparado entre platô e baixio, apenas o sódio (Na) obteve diferença significativa. Na área de platô o Ca diferiu significativamente dos demais elementos, sendo este encontrado como maior elemento de retorno para o solo via liteira. Uma das hipóteses que justificaria o maior retorno ao solo via liteira, quando comparado aos demais, pode estar relacionado ao fato do Ca ser um elemento estruturante e apresentar-se com baixíssima mobilidade no ciclo bioquímico (HOLANDA, 2017). O menor retorno dos demais elementos ao solo, pode ser atribuído a característica de alta mobilidade no solo, principalmente do Mg e K.

O Na além de ser o elemento de menor retorno através da liteira, foi o único que diferiu significativamente entre as duas áreas de estudo, sendo encontrado em menor quantidade na área de baixio. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que sua adsorção é feita pelos minerais argilosos, que é o caso dos solos na área de platô (MALAVOLTA, 2006).

Há uma série de fatores abióticos e bióticos que influenciam e interferem na quantidade de nutrientes que retornam ao solo via liteira em diferentes ecossistemas e, isso é muito relativo, conforme pode ser verificado no trabalho realizado por Hayashi (2006), em um estudo realizado numa floresta primária no município de Capitão Poço – PA, no qual encontrou valores totais durante o ano (kg/ha) de 23,83 para Ca, 17,36 para Mg e 11,70 para K. Brun, Schumacher & Vaccaro (2011) em uma floresta estacional decidual madura encontraram valores (kg/há/ano) de 175,0 para Ca, 24,6 para Mg e 81,7 para K. Essas diferenças podem ser atribuídas a diversidade florística dos locais que exerce grande influência nos resultados.

A Tabela 10 representa o retorno dos micronutrientes do solo via liteira. Não serão apresentados valores de Co, Ni e Cd, uma vez que estes elementos se encontraram naturalmente em baixas concentrações (< 1).

Tabela 10. Conteúdo de micronutrientes que retornam ao solo através da liteira em uma área de floresta natural na Amazônia Central.

Mês	Platô							Baixio						
	Al	Ba	Cu	Fe	Mn	Sr	Zn	Al	Ba	Cu	Fe	Mn	Sr	Zn
Jan	1,29	0,00	0,01	0,10	0,17	0,06	0,06	0,20	0,01	0,00	0,07	0,14	0,07	0,02
Fev	0,57	0,00	0,01	0,06	0,16	0,05	0,08	0,16	0,00	0,00	0,04	0,11	0,05	0,02
Mar	1,58	0,00	0,01	0,09	0,25	0,07	0,09	0,14	0,00	0,00	0,06	0,12	0,07	0,03
Abr	1,40	0,00	0,01	0,10	0,20	0,05	0,08	0,18	0,00	0,01	0,07	0,21	0,06	0,02
Mai	1,59	0,00	0,01	0,14	0,25	0,07	0,10	0,19	0,00	0,01	0,10	0,21	0,10	0,03
Jun	2,55	0,00	0,02	0,18	0,46	0,11	0,15	0,26	0,01	0,01	0,25	0,29	0,12	0,06
Jul	2,58	0,00	0,02	0,25	0,40	0,11	0,15	0,24	0,01	0,01	0,19	0,33	0,10	0,05
Ago	5,73	0,00	0,03	0,21	0,56	0,15	0,23	0,42	0,01	0,01	0,16	0,43	0,16	0,08
Set	3,59	0,01	0,02	0,33	0,43	0,11	0,15	0,41	0,01	0,01	0,15	0,34	0,13	0,07
Out	2,65	0,01	0,02	0,14	0,34	0,10	0,17	0,21	0,01	0,01	0,11	0,25	0,14	0,07
Nov	1,26	0,00	0,01	0,09	0,18	0,06	0,06	0,12	0,00	0,00	0,05	0,11	0,06	0,02
Dez	1,43	0,00	0,01	0,11	0,18	0,06	0,07	0,13	0,00	0,01	0,05	0,11	0,06	0,03
Total	26,21	0,04	0,17	1,81	3,58	1,00	1,38	2,64	0,07	0,08	1,30	2,66	1,10	0,50
Média	2,18	0,00	0,01	0,15	0,30	0,08	0,12	0,22	0,01	0,01	0,11	0,22	0,09	0,04
	aA	bA	bA	bA	bA	bA	bA	aB	dA	dA	bA	aA	bA	bdB

*Cada valor mensal corresponde a média de 3 repetições. Para a média mensal, os valores seguidos da mesma letra minúscula para os metais dentro da mesma área cada área; e maiúsculas para o mesmo metal entre áreas diferentes, não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

A partir dos resultados obtidos pela análise de variância, observa-se que dentro de uma mesma área, o alumínio diferiu significativamente a um nível de 5% de probabilidade, sendo este o micronutriente de maior retorno ao solo via liteira. Quando se comparou o mesmo elemento entre diferentes áreas, apenas o Al e Zn diferiram significativamente, sendo sempre os nutrientes de maiores retorno na área de platô. Fato este relacionado com a grande concentração encontrada desses elementos no solo, principalmente na área de platô, na qual foi aproximadamente 17x maior que no baixo para o Al e 2x maior para o Zn.

Martins et al. (2018) estudando uma floresta em regeneração submetida a exploração no Pará, verificou valores médios em kg/ha/ano de 0,004 para Cu, 0,729 para Fe, 0,167 para Mn e 0,016 para Zn. Golley et al. (1978) em uma floresta tropical úmida, encontrou valores médios em kg/ha/ano de 0,01 para Cu, 0,5 para Fe, 0,4 para Mn e 0,3 para Zn.

Estudos como esses servem de alerta para as formas de exploração florestal praticadas, que, até pouco tempo extraíam, além dos troncos das árvores, a liteira (usados para energia ou simplesmente queimados para limpeza), fazendo com que fossem exportados uma enorme parte dos nutrientes do solo.

Em suma, dados originados de estudos como os aqui abordados deveriam servir como base quando são elaborados planos de manejo de determinadas formações florestais, visto que onde estão instaladas as florestas tropicais, os solos são geralmente ácidos e de baixa fertilidade, havendo necessidade de se verificar o comportamento da ciclagem dos nutrientes nesses ambientes, já que, essas florestas devem ser, na maioria das vezes, de elevada produtividade, levando a uma considerável extração dos nutrientes do solo sem a respectiva reposição (SELLE, 2007).

7. CONCLUSÃO

Esta análise mostrou que as concentrações dos elementos químicos trocáveis ou assimiláveis no solo seguem uma ordem distinta dos encontrados na liteira. De modo geral, os maiores valores dos elementos totais foram encontrados em solos mais argilosos, como é o caso do solo na área de platô.

Os teores naturais de metais em dois ambientes distintos (platô e baixio) mostraram sua variabilidade para as diferentes classes de solo e de vegetação representativas nessas áreas. A partir desses resultados, têm-se uma referência do conteúdo de metais encontrados nesses componentes, o que contribui para análise das características de solo e vegetação locais, podendo servir como parâmetro para estudos em ambientes de florestas tropicais.

Dentre as frações do tecido vegetal, o Ca concentrou-se no material lenhoso, K no material reprodutivo e Mg, Na e Al no tecido foliar. Os demais elementos traço obtiveram valores muito inferiores para as três frações.

Os meses em que se verificaram baixos índices pluviométricos coincidem com o período em que se registrou maiores retornos de elementos traço na liteira, devido a maior contribuição desta no período seco.

A falta de estudos relacionados as concentrações médias e totais para os elementos traço descritos neste trabalho, no retorno ao solo via liteira, define a importância de se fazer pesquisas em ambientes naturais na Amazônia central, afim de contribuir para comparação de estudos futuros no que visa identificar áreas com a mínima ação antrópica ou áreas que já passaram por contaminação. Este trabalho possibilitou uma observação dos nutrientes na liteira e solo e se verificou sua relação com a sazonalidade da região, fator importantíssimo para a ciclagem de nutrientes em florestas tropicais.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. R. S. P.; OLIVEIRA, R. R.; MONTEZUMA, R. C. M. Dinâmica da serapilheira em um trecho de floresta atlântica secundária em área urbana do Rio de Janeiro. **Pesquisas Botânica**, n. 61, p. 279-291, 2010.

ALEVA, G. J. J. **Laterites: concepts, geology, morphology and chemistry**. ISRIC, Netherlands, 1994. 169 p.

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

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. London: Blackie Academic & Professional, 1995. 368p.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; BARRA, C.M.; LÃ, O.R. **Química dos metais pesados no solo**. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. Química e Mineralogia do Solo: Aplicações. SBCS, Viçosa, MG, p. 249-312, 2009.

ARTAXO, P.; RIZZO, L. V.; PAIXÃO, M.; OLIVEIRA, LUCCA, S.; OLIVEIRA, P. H.; LARA, L. L.; WIEDEMANN, K. T.; ANDREAE, MO.; BRENT, H.; SCHAFER, JOEL; CORREIA, A. L.; PAULIQUEVIS, T. M. Partículas de Aerossóis na Amazônia: Composição, Papel no Balanço de Radiação, Formação de Nuvem e Ciclos de Nutrientes. **Amazonia and Global Change**, v. 186, p. 233 a 250, 2009.

AYARS, J., & GAO, Y. Atmospheric nitrogen deposition to the Mullica River-Great Bay Estuary. **Marine Environmental Research**, v. 64, n.5, p. 590-600, 2007.

BANKS, M. K.; SCHWAB, A. P.; HENDERSON, C. Leaching and reduction of chromium in soil as affected by soil organic content and plants. **Chemosphere**, v. 62, p. 255-264, 2006.

BARAJAS-GUZMÁN, G.; ALVAREZ-SÁNCHEZ, J. The relationships between litter fauna and rates of litter decomposition in a tropical rain forest. **Applied Soil Ecology**, v. 24, p. 91-100, 2003.

BARBOSA, J. H. C. **Dinâmica da serapilheira em estágios sucessionais de Floresta Atlântica**. 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

BARROCO NETA, E. F. B.; NISHIWAKI, E. Variações sazonais na ciclagem de nutrientes em uma floresta da Amazônia central. **Braz. Ap. Sci. Rev.**, v. 2, n. 5, p. 1747-1759, 2018.

BECEGATO, V. A.; FERREIRA, F. J. F. Gamaespectrometria, resistividade elétrica e susceptibilidade magnética de solos agrícolas no noroeste do estado do Paraná. **R. Bras. Geof.**, v. 23, p. 371-406, 2005.

BIANCHIN, J. E. Aporte de fitomassa e nutrientes em florestas secundárias da Mata Atlântica no litoral do Paraná. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BINI, C.; SARTORI, G.; WAHSHA, M. & FONTANA, S. Background levels of trace elements and soil geochemistry at regional level in NE Italy. **J. Geochem. Explor.**, v. 109, p. 125-133, 2011.

BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A. DO; FABRICIO NETA, A. DE B. Teores naturais de bário em solos de referência do estado de Pernambuco. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 35, n. 5, 2011b.

BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A. DO; FABRICIO NETA, A. DE 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, p. 1057-1066, 2011a.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structural et cartographie en pédologie: prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique, les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cahiers ORSTOM**. Serie Pedologie, Paris, v. 19, p. 309-321, 1982.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Bookman, 2013.

BRUAND, A., Concentration and mobility of lithogenic trace metals in soils: significance and anthropogenic lateral redistributions. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 334, p. 581-582, 2002.

BRUN, E. J.; BRUN, F. G. K.; CORRÊA, R. S.; VACCARO, S.; SCHUMACHER, M. V. Dinâmica de micronutrientes na biomassa florestal em estágios sucessionais de

Floresta Estacional Decidual, RS, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 307-318, 2010.

BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; VACCARO, S. Aspectos da ciclagem do material orgânico e nutrientes na serapilheira de florestas secundárias em Santa Tereza, RS. In: SCHUMACHER, M. V.; LONGHI, S. J.; BRUN, E. J.; KILCA, R. V. (Org.). **A Floresta Estacional Subtropical: caracterização e ecologia no rebordo do Planalto Meridional**. Santa Maria: Os Autores, 2011.

CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p.53-68, 2008.

CALVI, G. P.; PEREIRA, M. G.; ESPÍNDULA JÚNIOR, A. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes em áreas de Floresta Atlântica em Santa Maria de Jetibá, ES. **Ciência Florestal**, Cascavel, v. 19, n. 2, p. 131-138, 2009.

CAMPOS, M. L.; PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; CURI, N. **Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosols. Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34., p. 547-557, 2003.

CAMPOS, M., SANTOS, L., SILVA, D., MANTOVANELLI, B., & SOARES, M. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista agro@mbiente on-line**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.

CARVALHO FILHO, A.; CURI, N.; SHINZATO, E. Relações solopaisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 45, p. 903- 916, 2010.

CONCEIÇÃO, A. C. **Análise multi-anual da dinâmica de produção de serapilheira fina em uma floresta da Amazônia central**. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009.

CORNU, S; DESCHATRETTES, V.; SALVADOR-BLANES, S.; CLOZEL, B.; HARDY M., BRANCHUTC, S; FORESTIERC, L. Trace element accumulation in Mn Fe oxide nodules of a planosolic horizon. **Geoderma**, v. 125, p. 11-24, 2005.

CORREA, F. L. de O.; RAMOS, J. D.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; MULLER, M. W. Produção de serapilheira em sistema agroflorestal multiestratificado no estado de Rondônia, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1099-1105, 2006.

CUEVAS, E.; MEDINA, E. Nutrient dynamics within amazonian forest ecosystems. I. Nutrient flux in the fine litterfall and efficiency of nutrient utilization. **Oecologia**, v. 68, p. 466-472, 1986.

CUNHA, G. C.; GRENDENE, L. A.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Nutrient cycling in a seasonal deciduous forest with special respect to the mineral content produced by the litter fall. **Ciência Florestal**, v. 3, n. 1, p. 36-64, 1993.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, 2006. p. 253-280.

DELARMINA, W. M. **Fertilidade, estoque de carbono orgânico do solo e serapilheira em uma floresta estacional semidecidual submontana**. 2015. 124 f. Dissertação de mestrado (Tese Ciências Florestais), UFES, 2015.

DORAN, J.W.; PARKING, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDOCEK, D. F.; STEWART, B. A. (eds). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America, Madison, v. 35, p. 3-22, 1994.

ESPIG, S. A.; FREIRE, F. J.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, M. B. G. S, ESPIG, D. B. Sazonalidade, composição e aporte de nutrientes da serapilheira em fragmento de Mata Atlântica. **Revista Árvore**, v. 33, n. 5, p. 949-956, 2009.

FALCAO, J. F. **Atributos e teores naturais de metais pesados em solos arenosos na Amazônia Central**. 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

FERRAZ, J; OHTA, S; SALLES, P. C. 1998. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao Norte de Manaus (AM). In: HIGUCHI, N.; CAMPOS, M. A. A.; SAMPAIO, P. T. B.; SANTOS, J. (Eds). **Pesquisas Florestais para a Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas. p. 110-143.

FERRAZ, J; OHTA, S; SALLES, P.C. **Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao Norte de Manaus (AM)**. In: HIGUCHI, N.; CAMPOS, M.A.A.; SAMPAIO, P.T.B.; SANTOS, J. (Eds). Pesquisas Florestais para a Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas, p. 110-143, 1998.

FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. Lavras: UFLA, 2011. 675p

FERREIRA, S. J. F.; CRESTANA, S.; LUIZÃO, F. J.; MIRANDA, S. A. F. Nutrientes no solo em floresta de terra firme cortada seletivamente na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 31, n. 3, p. 381-396, 2001.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; MIRANDA, S. A. F.; SILVA, M. S. R.; VITAL, A. R. T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 1, p. 59 -68, 2006.

FERREIRA, S.A.D.; SANTANA, D.P.; FABRIS, J.D.; CURI, C.; NUNES FILHO, E. &

Fixa de informação toxicológica – FIT. **Vanádio e seus compostos**. 2017. 3p.

FONTES, M.P.F.; WEED, S.B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, v. 72, p. 37-51, 1996.

FRANKEN, W; LEOPOLDO, P.R.; BERGAMIN FILHO, H. **Fluxo de nutrientes através de águas naturais em floresta de terra firme na Amazônia Central**. In: Workshop on Biogeochemistry of Tropical Rain Forest: Problems for Research. Proceedings. Piracicaba, São Paulo. p. 29-37. 1985.

FREDDI, O. da S.; FERRAUDO, A. S.; CENTURION, J. F. Análise multivariada na compactação de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 953-961, 2008.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, V. M. R.; OLIVEIRA, I. A.; MORETI, T. C. F. Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas sob vegetação nativa. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 10, n. 18, 2014.

GÉRARD, F. Clay minerals, iron/aluminum oxides, and their contribution to phosphate

GODINHO, T. O.; CALDEIRA, M. V. W.; CALIMAN, J. P.; PREZOTTI, L. C.; WATZLAWICK, L. F.; AZEVEDO, H. C. A.; ROCHA, J. H. T. Biomassa, macronutrientes e carbono orgânico na serapilheira depositada em trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 131-144, 2013.

GOLLEY, F. B.; MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, D. L.; DUEVER, M. **J. Ciclagem de minerais em um ecossistema de Floresta Tropical Úmida**. Tradução de Eurípedes Malavolta – São Paulo: EPU. Editora da USP, 1978. 256 p.

GOMES, J. M.; PEREIRA, M. G; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PEREIRA, G. H. A.; GONDIM, F. R.; SILVA, E. M. R. Aporte de serapilheira e de nutrientes em fragmentos florestais da Mata Atlântica, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 3, 383-391, 2010.

GONÇALVES, M. A. M. **Avaliação da serapilheira em fragmento de floresta atlântica no sul do estado do Espírito Santo**. 2008. 85 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008.

HAYASHI, S. N. **Dinâmica da serapilheira em uma cronossequencia de florestas no município de Capitão Poço - PA**. 75p. 2006. Tese (Mestrado em Botânica tropical), Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.

HAYASHI, S. N.; VIEIRA, I. C. G.; CARVALHO, C. J. R.; DAVIDSON, E. Linking nitrogen and phosphorus dynamics in litter production and decomposition during secondary forest succession in the eastern Amazon. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais**, v. 7, p. 283-295, 2012.

HIGUCHI, M. I. G; HIGUCHI, N. **A Floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental**. 1st ed. INPA: CNPq, Brazil, 146p, 2004b.

HIGUCHI, N., CHAMBERS, J., SANTOS, J., RIBEIRO, R. J., PINTO, A. C. M., SILVA, R. P., ROCHA, R. M. TRIBUZY, E. S. Dinâmica e Balanço do Carbono da Vegetação Primária da Amazônia Central. **Floresta**, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004a.

HOLANDA, A. C.; FELICIANO, A. L. P.; FREIRE, F. J.; SOUSA, F. Q.; FREIRE, S. R. O.; ALVES, AL. R. Aporte de serapilheira e nutrientes em uma área de caatinga. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 621-633, 2017.

HORCKMANS L.; SWENNEN R.; DECKERS J. Retention and release of Zn and Cd in spodic horizons as determined by pHstat analysis and single extractions. **Science of the Total Environment**. 2007 (In press).

HUGEN, C.; MIQUELLUTI, D. J.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A.; FERREIRA, E. R. N. C.; POZZAN, M. Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17 n.6, 2013.

JANSEN, S.; BROADLEY, M. R.; ROBBRECHT, E.; SMETS, E. Aluminum Hyperaccumulation in Angiosperms: A Review of Its Phylogenetic Significance. **The Botanical Review**, v. 68, n. 2, p. 235-269, 2002.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Madison: Prentice Hall International, 1998. 816p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**, 3 ed., CRC press: Florida, 2001. 331p.

KAWAI, B.; URIAS, C; LEONEL, L; AMADO, M. **Poluição ambiental por metais**. 2012. Disponível em: <<http://www.fernandosantiago.com.br/met90.htm>>. Acesso em: 01/08/2018.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531p.

LIMA FILHO, D.A.; MATOS, F.D.A.; AMARAL, I.L.; REVILLA, J.; COÊLHO, L.S.; RAMOS, J. F.; SANTOS, J. L. Inventário florístico de floresta ombrófila densa de terra firme, na região do Rio Urucu-Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 31, p. 565-579, 2001.

LIMA, I. V. de; PEDROZO, M. de F. M. **Ecotoxicologia do ferro e seus compostos**. Série Cadernos de Referência, Salvador: CRA – Centro de Recursos Ambientais, v. 4, 2001.

LIMA, J.C.P.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; LIMA, J.G.C.; LIRA JUNIOR, M.A. Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de Pernambuco determinados em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n.1, p.73-79, 2007.

LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, n. 4, p. 18-36, 2009.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v. 1, n. 5, 2015.

LUIZAO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 59, n.3, 2007.

LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Cienc. Cult. [online]**, v. 59, n. 3, p. 31-36, 2007.

LUIZAO, R. C. C.; LUIZAO, F. J.; PAIVA, R. Q.; MONTEIRO, T. F.; SOUSA, L. S.; KRUIJT, B. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, n. 5, p. 592-600, 2004.

MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. **Geodiversidade do Estado do Amazonas: Levantamento da geodiversidade**. Manaus, 2010. 275p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MANLY, B. F. J. **Multivariate statistical methods**. New York, Chapman and Hall, 1986, 159 p.

MARAFIGA, J. S.; VIERA, M.; SZYMCZAK, D. A.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Deposição de nutrientes pela serapilheira em um fragmento de Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.6, p. 765-771, 2012.

MARQUES, J. J.; SCHULZE, D. G.; CURI, N.; MERTZMAN, S. A. Major element geochemistry and geomorphic relationships in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v. 119, p. 179-195, 2004.

MARQUES, T. C. L. L. S.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, 2000.

- MARTINS, C. A. S.; NOGUEIRA, N. O.; RIBEIRO, P. H.; RIGO, M. M.; CANDIDO, A. O. A dinâmica de metais-traço no solo. **R. Bras. Agrocência**, Pelotas, v. 17, n. 3-4, p. 383-391, 2011.
- MARTINS, W. B. R.; FERREIRA, G. D.; SOUZA, F. P.; DIONISIO, L. F. S.; OLIVEIRA, F. A. Deposição de serapilheira e nutrientes em áreas de mineração submetidas a métodos de restauração florestal em Paragominas, Pará. **Floresta**, v. 48, n. 1, p. 37 – 48, 2018.
- MERIAN, ERNEST (Ed.). **Metals and Their Compounds in the Environment**. New York: [Basel] VCH, 1991.
- MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, Juiz de Fora, v. 24, 2010.
- MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v.21, p. 467-469, 1998
- NETA; E. F. B.; NISHIWAKI, E. Variações sazonais na ciclagem de nutrientes em uma floresta da Amazônia central. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 2, n. 5, p. 1747-1759, 2018.
- NOGARA NETO, F.; ROLOFF, G.; DIECKOW, J.; MOTTA, A. C. V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1025-1036, 2011.
- NOVAIS, J. W. Z.; SANCHES, L.; SILVA, L. B.; MACHADO, N. G.; AQUINO, A. M.; SALLO, F. S. Serrapilheira e Efluxo de Co₂ do Solo em Floresta Sazonalmente Alagável no Pantanal Brasileiro. **Ensaio Cienc., Cienc. Biol. Agrar. Saúde**, v.21, n.3, p. 178-182, 2017.
- OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L.; RAMOS, M. B. P.; NOBRE, A. D.; COUTO, L. B.; SAHDO, R. M. Composição e diversidade florístico-estrutural de um hectare de floresta densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 8, n. 4, 2008.

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 1, p.21-34, 2004.

OLIVEIRA, R. C. B.; MARINS, R. V. Dinâmica de metais-traço em solo e ambiente sedimentar estuarino como um fator determinante no aporte desses contaminantes para o ambiente aquático: revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 2, p. 88-102, 2011.

PAGANO, S. N. Produção de folheto em mata mesófila semidecídua no município de Rio Claro, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v. 49, n. 3, p. 633- 639, 1989.

PAYE, H. DE S.; MELLO, J. W. V. DE; ABRAHÃO, W. A. P.; FERNANDES FILHO, E. I.; DIAS, L. C. P.; CASTRO, M. L. O.; MELO, S. B. DE; 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, p. 2041-2051, 2010.

PEDROZO, M. F. M. Cobre. In: AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A.A.M. **Metais: gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Atheneu, 2003. 554p.

PELOZATO, M.; HUGEN, C.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A. DE; SILVEIRA, C. B. DA; MIQUELLUTI, D. J.; SOUZA, M. C. de. Comparação entre métodos de extração de cádmio, cobre e zinco de solos catarinenses derivados de basalto e granitomigmatito. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 10, p. 54-61, 2011.

PEREIRA, A. C. C.; RODRIGUES, A. C. D.; SANTOS, F. S. S.; GUEDES, J. N.; SOBRINHO, N. M. A. S. Concentração de metais pesados em espécies arbóreas utilizadas para revegetação de área contaminada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 641-647, 2012.

PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T.; SCHULTZ, N. Aporte e decomposição da serapilheira na Floresta Atlântica, Ilha da Marambaia, Mangaratiba, RJ. **Ciência Florestal**, v. 18, p. 443-454, 2008.

PÉREZ, D.V.; SALDANHA, M.F.C.; MENEGUELLI, N.A.; MOREIRA, J.C. & VAITSMAN, D.S. **Geoquímica de alguns solos brasileiros**. Rio de Janeiro, CNPS, 1997. 14p.

PLEYSIER, J. L.; JUO, A. S. R. A single-extraction method using silver-thiourea for measuring exchangeable cations and effective CEC in soils with variable charges, **Soil Sci.**, v. 129, p. 205–211, 1980.

PROTIL, C. Z. MARQUES, R.; PROTIL, R. M. Variação sazonal e redistribuição de bioelementos de quatro espécies arbóreas em três tipologias florestais da Floresta Atlântica do Paraná. **Floresta**, v. 39, n. 3, p. 699-717, 2009.

QIU, S.; MCCOMB, A. J.; BELL, R.W. Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in woodland and wetland conditions along a forest to wetland hillslope. **ISRN Soil Science**, v. 2012, p. 1-8, 2012.

QUESADA, C. A., LLOYD, J., SCHWARZ, M., BAKER, T. R., PHILLIPS, O. L., PATINO, S., CZIMCZIK, C., HODNETT, M. G., HERRERA, R., ARNETH, A., LLOYD, G., MALHI, Y., DEZZEO, N., LUIZAO, F. J., SANTOS, A. J. B., SCHMERLER, J., ARROYO, L., SILVEIRA, M., PRIANTE FILHO, N., JIMENEZ, E. M., PAIVA, R., VIEIRA, I., NEILL, D. A., SILVA, N., PENUELA, M. C., MONTEAGUDO, A., VASQUEZ, R., PRIETO, A., RUDAS, A., ALMEIDA, S., HIGUCHI, N., LEZAMA, A. T., LOPEZ-GONZALEZ, G., PEACOCK, J., FYLLAS, N. M., ALVAREZ D'AVILA, E., ERWIN, T., DI FIORE, A., CHAO, K. J., HONORIO, E., KILLEEN, T., PENACRUZ, A., PITMAN, N., NUÑEZ VARGAS, P., SALOMAO, R., TERBORGH, J., RAMIREZ, H.: Regional and large-scale patterns in Amazon forest structure and function are mediated by variations in soil physical and chemical properties, **Biogeosciences Discuss.**, v. 6, p. 3993–4057, 2009.

QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; SCHWARZ, M.; PATINO, S.; BAKER, T. R. ; CZIMCZIK, C.; FYLLAS, N. M.; MARTINELLI, L.; NARDOTO, G. B.; SCHMERLER, J.; SANTOS, A. J. B.; HODNETT, M. G.; HERRERA, R.; LUIZAO, F. J.; ARNETH, A.; LLOYD, G.; DEZZEO, N.; HILKE, I.; KUHLMANN, I.; RAESSLER, M.; BRAND, W. A.; GEILMANN, H.; MORAES FILHO, J. O.; CARVALHO, F. P.; ARAUJO FILHO, R. N.; CHAVES, J. E.; CRUZ JUNIOR, O. F.; PIMENTEL, T. P.; PAIVA, R. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. **Biogeosciences**, v. 7, p. 1515–1541, 2010.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 2011. 420 p.

- REGAZZI, A. J. **Análise multivariada, notas de aula INF 766**. Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v.2, 2000.
- RIBEIRO, J. E. L. S.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A. S.; BRITO, J. M.; SOUZA, M. A. D.; LOHRMAN, L.G.; ASSUNÇÃO, P. A. C. L.; SILVA, C. F.; MESQUITA, M., ROCÓPIO, L. C. **Flora da Reserva Ducke**. Guia de Identificação das Plantas Vasculares de uma Floresta de Terra Firme na Amazônia Central. INPA/DFIP, AM, 816 p. 1999.
- RIBEIRO, R. J.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J. DOS; AZEVEDO, C. P. de. Estudos fitossociológicos nas regiões de Carajás e Marabá-Pará, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 29, n. 2, p. 207-222, 1999.
- RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010, 26 p.
- SALVADOR-BLANES, S.; CORNU, S.; BOURENNANE, H.; KING, D. Controls of the spatial variability of Cr concentration in topsoils of a central French landscape. **Geoderma**, Amsterdam, v. 132, p. 143–157, 2006.
- SANTANA, G. P. **Elemento-traço ou metal pesado**. Disponível em: http://www.cq.ufam.edu.br/Artigos/Elemento_metal_pesado/Elemento_metal_pesado.html. Acesso em: 04 dez. 2018.
- SAYER, E. J. Using experimental manipulations to asses the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. **Biological reviews**, FEB, Cambridge university press, v. 81, n. 1, p. 1-31, 2006.
- SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R. de; PIAUILINO, A. C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 1563 – 1578, 2012.
- SCHUBART, H. O. R.; FRANKEN, W.; LUIZÃO, F. J. Uma floresta sobre solos pobres. **Ciência Hoje**, v. 2, n. 10, p. 26-32, 1984.
- SCHUMACHER, M. V. et al. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* de wild.) no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 791-798, 2003.

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; RODRIGUES, L. M.; DOS SANTOS, E. M. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 6, p. 791-798, 2003.

SCHÜTZENDÜBEL, A.; POLLE, A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 1351-1365, 2002.

SCHWERTMANN, U. e HERBILLON, A. J. **Some aspects of fertility associated with the mineralogy of highly weathered tropical soils**. In: Lal, R.; Sanchez, P. Myths and science of soils of the tropics. 29 ed. Madison, Soil Science Society America, 1992. p.47-59.

SEHGAL, J. L. Red and lateritic soils: na overview. In: SEHGAL, J.; BLUM, W. E.; GAJBHIYE, K. S. (eds) **Red and lateritic soils**. Managing red and lateritic soils for sustainable agriculture. Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, v. 1, p. 3-10, 1998.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Revista Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 29-39, 2007.

SILVA, L.F. **Solos Tropicais: Aspectos pedológicos, ecológicos e de manejo**. Ed. Terra Brasilis, São Paulo, 1996.

SILVEIRA, N. D. et al. Aporte de nutrientes e biomassa via serapilheira em sistemas agroflorestais em Paraty (RJ). **Revista Ciências Florestais**, Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, Online, v. 2, n. 17, p. 129-136, 2007.

SIVAPULLAIAH, P. V. Surprising Soil Behaviour: Is It Really!!! **Indian Geotechnical Journal**, v. 45, p. 1-24, 2015.

SLOBODA, B.; MARQUES, R.; BLUM, H.; BIANCHIN, J. E.; DONHA, C. G.; SILVEIRA, F. M.; CAPRETZ, R. L. Litterfall and nutrient dynamics in an old-growth Atlantic Rainforest in Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-9, 2017.

SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; MAMO, T.; FRITZCHE, F.; ZECH, W. Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. **Geoderma**, v. 105, p. 21-48, 2002.

sorption in soils- A myth revisited. **Geoderma**, v. 262, p. 213–226, 2016.

SOUZA, A. M.; POPPI, R. J. Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: um tutorial, parte I. **Química Nova**, v. 35, n. 1, p. 223-229, 2012.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: John Wiley, 1994. 496 p.

TENG, Y.; NI, S.; WANG, J. & NI, L. Geochemical baseline of trace elements in the sediment in Dexing area, South China. **Environ. Geol.**, v. 57, p. 1649-1660, 2009.

TOLEDO, J. J. **Influência do solo e topografia sobre a mortalidade de árvores e decomposição de madeira em uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. Dissertação (Doutorado em Ecologia), INPA/UFAM, Manaus, 2009.

TOLEDO, L. de O.; PEREIRA, M. G., MENEZES, C. E. G. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. **Rev. Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 9-16, 2002.

TOMÉ JR., J. B.; **Manual para interpretação de análise dados**. Editora Agropecuária, Guaíba, RS, BR. 1997. 247 pp.

TUME, P.; BECH, J.; REVERTER, F.; LONGAN, L.; TUME, L. & SEPÚLVEDA, B. Concentration and distribution of twelve metals in Central Catalonia surface soils. **J. Geochem. Explor.**, v. 109, p. 92-103, 2011.

TYLER, G. Changes in the concentrations of major, minor and rare-earth elements during leaf senescence and decomposition in a *Fagus sylvatica* forest. **Forest Ecology and Management**, v. 206, n. 1-3, p. 167-177, 2005.

VALE JÚNIOR, J. F.; SOUZA, M. I. L.; NASCIMENTO, P. P. R. R.; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Agroambiente**, v. 5, n. 2, p.158-165, 2011.

VAN RANST, E. Rational soil management in the humid tropics. **Meded. Zitt. K. Acad. Overzeese Wet.**, v. 40, p. 209-233, 1995.

VAREJÃO, M. J. C. **A influência dos metais pesados em plantas e sua interação com o meio ambiente**. Tese (doutorado) pelo Instituto de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1997.

VICENTINI, A. A Vegetação ao Longo de um Gradiente Edáfico no Parque Nacional do Jaú,. In: Borges, S.H.; IWANAGA, S.; DURIGAN, C.C.; PINHEIRO, M.R. (Eds.). **Janelas para a Biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia.** Fundação Vitória Amazônica (FVA)/WWF/IBAMA, Manaus, Brasil, 2004. p. 117-143.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P.C.T.C. **Amazônia seus solos e outros recursos naturais.** Ed. Agronômica Ceres. São Paulo. 1987. 416 p.

VIEIRA, M. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; MEDEIROS, J. S. Capacidade de suprimento de potássio em doze classes de solos em função de cultivos sucessivos de milho. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 59, n. 3, p. 219-227, 2016.

VIERA, M., CALDATO, S., ROSA, S., KANIESKI, M., ARALDI, D., SANTOS, S., & SCHUMACHER, M. Nutrientes na serapilheira em um fragmento de Floresta Estacional Decidual, Itaara, RS. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 611-619, dez. 2010.

VIERA, M.; CALDATO, S. L.; ROSA, S. F.; KANIESKI, M. R.; ARALDI, D. B.; SANTOS, S. R.; SCHUMACHER, M. V. Nutrientes na serapilheira em um fragmento de Floresta Estacional Decidual, Itaara, RS. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 611-619, 2010.

VILLA, E. B.; PEREIRA, M. G.; ALONSO, J. M.; BEUTLER, S. J.; LELES, P. S. S. Aporte de Serapilheira e Nutrientes em Área de Restauração Florestal com Diferentes Espaçamentos de Plantio. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 90-99, 2016.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN, W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma Floresta Estacional Semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 793-800, 2004.

VOGEL, H. L. M.; SPATHELF, P.; SCHUMACHER, M. V.; TRUBY, P. Biomass, litterfall and nutrients of tree species in a native forest in south Brazil. **Austrian Journal of Forest Science**, v. 125, n. 1, p. 157-182, 2008.

WOICIECHOWSKI, T. **Ciclagem de fitomassa e nutrientes na Floresta Ombrófila Densa Submontana no litoral do Paraná.** 2015. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

WOICIECHOWSKI, T. Ciclagem de fitomassa e nutrientes na Floresta Ombrófila Densa Submontana no litoral do Paraná. 2015. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

XAVIER, B. T. L. **Mineralogia e teores naturais de metais pesados em solos da bacia sedimentar amazônica.** 2013. 119 f. Tese (Doutorado em Solo e Nutrição de planta) Universidade Federal de Viçosa, 2013.

YIN, Y., et al. The importance of organic matter distribution and extract soil: solution ratio on the desorption of heavy metals from soils. **The Science of the Total Environment**, v. 287, p.107-119, 2002

ZAHARAH, A. R.; BAH, A. R. Patterns of decomposition and nutrient release by fresh *Gliricidia* (*Gliricidia sepium*) leaves in an ultisol. **Nutrient Cycling in a Agroecosystems**, v. 55, p. 269-277, 1999.

ZANINETTI, R. A.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Amarelo na conversão de floresta primária para seringais na Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1061-1068, 2016.

ZINDER, B; FURRER, G.; STUMM, W. The coordination chemistry of weathering: II. Dissolution of Fe(III) oxides. **Geo. Cosmo. Acta**, v. 5, p. 1861-1869, 1986.