UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

RENATO EPIFÂNIO DE SOUZA

# MINERALOGIA E TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS NA BACIA DO RIO JURUÁ, NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

**MANAUS - AM**
**2019**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

RENATO EPIFÂNIO DE SOUZA

# MINERALOGIA E TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS NA BACIA DO RIO JURUÁ, NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisítos para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Franco Tucci

Coorientador: Prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima

**MANAUS - AM**
**2019**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S729m

Souza, Renato Epifânio de
Mineralogia e teores naturais de metais pesados em solos na Bacia do Rio Juruá, na Amazônia Brasileira / Renato Epifânio de Souza. 2019
140 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Carlos Alberto Franco Tucci
Coorientador: Hedinaldo Narciso Lima
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas.

1. VRQ's. 2. Solos de terra firme. 3. Solos de várzea. 4. Meio ambiente. 5. Elementos traços. I. Tucci, Carlos Alberto Franco II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

RENATO EPIFÂNIO DE SOUZA

# MINERALOGIA E TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS NA BACIA DO RIO JURUÁ, NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

APROVADA: 14 de março de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima, Presidente
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Prof. Dr. Afrânio Ferreira Neves Junior, Membro
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Prof. Dr. Maurício Paulo Ferreira Fontes, Membro
Universidade Federal de Viçosa - UFV

Prof. Dr. Jean Dalmo de Oliveira Marques, Membro
Instituto Federal do Amazonas - IFAM

Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo, Membro
Universidade Federal do Roraima - UFRR

**DEDICATÓRIA**

*In memorinan*

Ao meu Avôhai, Gonçalo Pereira de Souza

A minha Avohãe, Maria Cesário da Silva

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por estar sempre ao meu lado, me protegendo e me fortalecendo em todos os momentos ao longo desta caminhada. Como diz o Provérbios 15:22 “Quando não há conselhos os planos se dispersam, mas havendo muitos conselheiros eles se firmam”. Após esta refleção gostaria de dizer que não me faltaram conselheiros para que este trabalho ficasse pronto. Assim agradeço também:

À minha esposa, Cleiciane Lopes da Silva, pelo companherismo e amizade no decorrer dos anos, entendendo quase sempre meus planos e objetivos, ao meu filho Edson Rennan Lopes de Souza pela sua compreensão em saber que seu pai estava buscando o melhor para todos, e por esse motivo talvez não dei a atenção ao qual o mesmo merecia, durante esses quatro anos de Doutorado.

À toda minha família pela confiança e criação em todos os momentos desde o nascimento até o presente momento, em especial a miha Mãe Maria Lina Epifânio que em momentos difíceis em minha vida nunca deixou de me acolher em seu lar.

Ao programa de pós-graudação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Carlos Alberto Franco Tucci, pelo incentivo desde a graduação, orientação e conselhos passados durante todo o período do curso de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, sei que o mesmo foi de extrema importância para que eu alcançace com êxito todas as etapas requeridas pelo programa de pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima pela contribuição de coorientação durante todo o processo de execução do projeto de tese, dando sugestões e críticas que melhoraram a redação final deste trabalho e lançando o desafio de desenvolver esta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Maurício Paulo Ferreira Fontes pela acolhida em seu laboratório e por dar todo o suporte necessário para realização das análises desta pesquisa.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) por ter disponibilizado cursar disciplinas e oferecer o espaço para realização das análises no período da pós-graduação.

À CAPES/PROCAD pelo aporte financeiro para realização da pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre - IFAC, pela concessão de afastamento para capacitação no período de 4 anos, o qual foi extremamente importante para que o presente trabalho fosse concluído e a defesa realizada dentro do prazo regimental estabelecido pelo programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas.

Ao Prof. Dr. Afrânio Ferreira Neves Junior por disponibilizado o Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solos para estudos e realização das análises.

Aos demais professores, pesquisadores da Universidade Federal do Amazonas em especial ao Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos pelo incentivo e boas conversas no âmbito da pesquisa melhoria da educação nas universidades.

Ao secretário do PPGATR, Nascimento pelo seu trabalho com zelo e cuidado, que sempre se colocou à disposição para ajudar em todas demandas que lhe foram solicitidas sem colocar dificuldades.

Aos amigos Matheus Ferreira, Dr. Anderson Pacheco e Rafael Biscotto, pelas contribuições e companheirismo no período das análises. Ao técnico, amigo e saudoso José Francisco Dias (Chico da Mineralogia), pelo acolhimento, amizade, cafezinho e divertidas horas de descontração dais quais nunca esquecerei. Ao técnico José Maurício da Mineraologia pela contribuição nas análises. Aos técnicos Carlinhos da Espectofometria da UFV, Janilson e Adriana pela colaboração durante as leituras das amostras.

Aos amigos Rennan Bastos, Nardele Campos e sua filhinha Beatriz Bastos, pela acolhida e hospedagem fundamental para não deixar a “peteca” cair durante o período de análises na UFV.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em agronomia Tropical, que sempre estiveram direto ou indiretamente acreditando ou contribuindo para que o objetivo final deste trabalho fosse alcançado.

Aos amigos do “Grupo do Chefe” que sempre se colocam a disposição para ajudar no que podem. Sou extramente grato pela ajuda de sempre.

Ao meu amigo e companheiro de trabalho Jozângelo Fernandes da Cruz, pelo incentivo, ajuda e exemplo.

Aos técnicos do Instituto de Desevolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Amazonas - IDAM Maurício Santana (Itamaratí), José Ronivon e Atrio Souza (Carauarí), Glauco Gonçalves (Juruá). Agradeço também Ronaldo Costa e Rosangela Lima pela contribuição na fase coleta das amostras em campo.

Ao meu amado município de Envira por ter tido o privilégio de nascer dentro desse cantinho de hospitalidade, mais especificamente à rua Renê Levy (mais conhecida como Renê) que me deu os melhores amigos de infância e vizinhos que se pode ter.

**SUMÁRIO**


| | | |
|---|---|---|
| **1** | **INTRODUÇÃO GERAL** | **09** |
| **2** | **CAPÍTULO 1 – ATRIBUTOS QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DOS SOLOS DA BACIA DO RIO JURUÁ**---------- | **11** |
| | RESUMO---------- | **11** |
| | ABSTRACT---------- | **12** |
| **2.1** | **INTRODUÇÃO**---------- | **13** |
| **2.2** | **MATERIAL E MÉTODOS**---------- | **17** |
| 2.1.1 | Área de estudo---------- | **17** |
| 2.2.2 | Amostragem dos solos---------- | **18** |
| 2.2.3 | Análises químicas, mineralógicas e composição granulométrica---------- | **23** |
| 2.2.4 | Análise estatística---------- | **24** |
| **2.3** | **RESULTADOS**---------- | **25** |
| 2.3.1 | Composição granulométrica e atributos da fertilidade dos solos---------- | **25** |
| 2.3.2 | Análise multivariada dos atributos químicos e composição granulométrica------- | **46** |
| 2.3.3 | Caracterização mineralógica das classes de solos estudados---------- | **49** |
| 2.3.4 | Mineralogia da fração argila---------- | **64** |
| **2.4** | **DISCUSSÃO**---------- | **74** |
| 2.4.1 | Atributos físicos e químicos relacionados à fertilidade dos solos e análise multivariada---------- | **74** |
| 2.4.2 | Mineralogia da fração argila---------- | **77** |
| **2.5** | **CONCLUSÕES**---------- | **80** |
| **2.6** | **REFERÊNCIAS**---------- | **81** |
| **3** | **CAPÍTULO II - TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS DA BACIA DO RIO JURUÁ**---------- | **92** |
| | RESUMO---------- | **92** |
| | ABSTRACT---------- | **93** |
| **3.1** | **INTRODUÇÃO**---------- | **94** |
| **3.2** | **MATERIAL E MÉTODOS**---------- | **99** |
| **3.2.1** | Amostragem dos solos---------- | **99** |
| **3.2.2** | Análises químicas e composição granulométrica---------- | **103** |
| **3.2.3** | Digestão semi-total (3051A)---------- | **104** |
| **3.2.3** | Análise estatística---------- | **105** |
| **3.3** | **RESULTADOS**---------- | **106** |
| **3.3.1** | Estatística descritiva dos atributos químicos, mineralógicos e composição granulométrica---------- | **106** |
| **3.3.2** | Teores naturais dos metais nos solos---------- | **107** |
| **3.3.3** | Teores naturais dos metais por classe de solo e análise multivariada---------- | **111** |
| **3.3.4** | Análise de *Cluster*---------- | **115** |
| **3.3.5** | Correlação linear de Pearson---------- | **116** |
| **3.4** | **DISCUSSÃO**---------- | **118** |
| **3.4.1** | Atributos químicos e composição granulométrica dos solos---------- | **118** |
| **3.4.2** | Teores naturais de metais pesados nos solos estudados e análise multivariada---- | **119** |
| **3.4.3** | Análise da Correlação de Pearson---------- | **122** |
| **3.5** | **CONCLUSÕES**---------- | **124** |
| **3.6** | **REFERÊNCIAS**---------- | **125** |
| **4** | **CONSIDERAÇÕES GERAIS**---------- | **134** |
| | **APÊNDICE**---------- | **135** |

## 1. INTRODUÇAO GERAL

Com o desenvolvimento tecnológico e o crescimento demográfico mundial, foram intensificadas as atividades industriais e agrícolas, o extrativismo mineral e a urbanização, causando considerável aumento dos níveis de contaminantes no ambiente, especialmente, no solo. Os solos possuem extrema importância ao homem, principalmente em razão do seu uso para a produção de alimentos e fibras e várias outras matérias primas, bem como seu íntimo contato e influência na qualidade química das águas subterrâneas. Neste contexto, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas objetivando uma melhor administração e controle da qualidade ambiental.

As ocorrências naturais de metais nos solos estão relacionadas ao intemperismo, a pedogênese e as deposições atmosféricas originadas de processo naturais, tais como as erupções vulcânicas. No entanto, os diversos usos dos solos, atribuídos à produção agropecuária, industrial e a urbanização, em determinados cenários, podem favorecer a entrada e o acúmulo de metais pesados nos solos em proporções significativamente superiores quando comparadas às entradas naturais.

Os trabalhos de pesquisa, as instituições ambientais, juntamente com o senso crítico dos dias atuais demonstram sinais de uma maior sensibilização ambiental. Dentre várias, a regra para este novo século é o aproveitamento da matéria prima, a reciclagem dos resíduos e minimização da contaminação dos corpos d'água como medidas de uma melhor gestão ambiental. Neste contexto, surge o papel do solo como receptor da carga residuária das populações.

Os solos funcionam como um compartimento tampão para os elementos químicos inorgânicos, orgânicos e xenobióticos. Para os elementos orgânicos e xenobióticos, os atributos biológicos (macro e microrganismos, materia orgânica) dos solos, imobilizam, quelatizam, degradam e mineralizam estes elementos, eliminando ou minimizando sua toxicidade. Em se tratando dos elementos inorgânicos como os metais pesados, os atributos químico-físicos dos solos retêm estes elementos em sua matriz orgânica e inorgânica, minimizando a disponibilidades dos mesmos e possíveis impactos relativos a uma labilidade excessiva dos metais pesados.

Em muitos países, como exemplo  Estados Unidos da Améria, Holanda e Alemanha, já existem os chamados valores de referência de qualidade (VRQ's) que disciplinam a entrada máxima aceitável, do ponto de vista da sustentabilidade, dos elementos químicos mais perigosos, dentre eles os metais pesados, para as suas condições edafoclimáticas. Um dos

requisitos para a determinação destes valores é a obtenção da faixa de teores mínimos naturais em amostras de solos coletadas em locais preservados.

Nos Estados do Amazonas e Acre, pesquisas com metais pesados ainda são incipientes para propiciar a formulação dos valores de referência de qualidade. Esta pesquisa propõe a determinação dos teores naturais de metais pesados em solos dos Estados do Amazonas e Acre, para servirem como subsídio à produção dos valores de referência de qualidade. Pretende-se com isso colaborar para que seja feito um uso mais sustentável dos recursos naturais nesses Estados.

A Amazônia tem um papel importante seja ele real ou simbólico para as questões ambientais no mundo. Ela é uma vitrine para quando se trata de recursos naturais e preservação ambiental. Cuidar da Amazônia se tornou uma questão honra para a população mundial, visto que é a maior floresta tropical do mundo.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo obter dos teores naturais de metais pesados em solos da Amazônia, bem como avaliar a relação de atributos destes solos com os teores totais de metais pesados. Também faz parte deste estudo a caracterização química, mineralógica e composição granulométrica dos solos, com a finalidade de avaliar o comportamento deles frente a possível poluição por metais pesados e o estabelecimento de relações entre os teores naturais com os atributos dos solos.

# 2 CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DOS SOLOS DA BACIA DO RIO JURUÁ.


## RESUMO

Estudos tendo como objeto os solos da região Amazônica sempre se revestiram de grande importância, quer seja pela magnitude da área de abrangência ou pelo suporte que estes dão a biodiversidade deste imprescindível bioma. O aprofundamento dos conhecimentos dos solos da Amazônia por meio de estudos de suas características mineralógicas, físicas e químicas, bem como, dos diversos fenômenos que ocorrem nestes solos é uma condição imperativa para que se possa inferir, por meio deste tipo de pesquisa, sobre os mais diversos aspectos da origem, formação, constituição mineralógica, e possíveis modificações ocorridas nos solos. A Amazônica possui uma grande vegetação de floresta equatorial, sustentada por solos de terra firme e de várzea, com fertilidades distintas e são formados sobre diferentes materiais de origem. Os estudos sobre solos na Amazônia são desafiadores, tendo em vista a área territorial e as limitações logísticas e físicas impostas pela natureza. O objetivo do trabalho foi compreender a gênese e a mineralogia dos solos a partir de atributos químicos e mineralógicos. Amostras de solo foram coletadas em 73 pontos (em áreas sob o domínio de diferentes classes de solos), analisadas nas camadas de 0 - 20 e 80 - 100 cm e submetidas a análises químicas, mineralógicas e composição granulométrica, visando a caracterização das mesmas. Foram utilizadas análises estatísticas uni e multivariadas, a fim de se obter uma melhor compreensão acerca da distribuição dos solos em função de seus atributos químicos e mineralógicos. Os resultados indicaram a diferenciação dos solos quanto à fertilidade, tendo os solos de várzea os maiores teores de nutrientes e maior CTC. Estes solos são formados sobre sedimentos de mineralogia do tipo 2:1, depositados durante as cheias dos rios da região. O material de origem dos solos de terra firme apresentou-se como um diferencial quanto à fertilidade e mineralogia destes solos. Solos formados sobre sedimentos da Formação Solimões e Içá apresentaram mineralogia do tipo 2:1, maiores teores de nutrientes e maior CTC. Os solos de terra firme apresentaram suas maiores diferenças químicas e mineralógicas atribuídas aos seus materiais de origem. Os solos estudados apresentaram reação que os permite caracterizar como extremamente ácidos a fortemente ácidos. Os atributos de fertilidade desses solos permitem diferenciar os solos de várzea, Neossolos Flúvicos e Gleissolos, e os Vertissolos, dos demais solos mais estudados. A caulinita é o mineral predominante na fração argila de todos os solos, exceto dos Vertissolos e Espodossolos. Adicionalmente, observou-se a ocorrência freqüente de ilita na fração argila inclusive de solos mais bem drenados.


Palavras-chave: Solos de terra firme. Solos de várzea. Mineralogia do solo. Intemperismo. Amazônia.

**CHEMICAL AND MINERALOGIC ATTRIBUTES OF SOILS OF THE JURUÁ RIVER BASIN.**

## ABSTRACT

Studies focusing on the soils of the Amazon region have always been of great importance, either because of the magnitude of the area of coverage or the support they give the biodiversity of this essential biome. The deepening of the knowledge of Amazonian soils through studies of their mineralogical, physical and chemical characteristics, as well as of the various phenomena that occur in these soils is an imperative condition to be able to infer, through this type of research, the more diverse aspects of the genesis, formation, mineralogical constitution, and possible modifications occurred in the soils. The Amazon has a large vegetation of equatorial forest, supported by terra firme soils and várzea, with different fertilities and are formed on different parente materials. The studies on soils in the Amazon are challenging, considering the territorial area and the logistical and physical limitations imposed by nature. The objective of this work was to understand the genesis and mineralogy of these soils from chemical and mineralogical data. Soil samples were collected in 73 points (in areas under the domain of different soil classes), analyzed in the 0 - 20 and 80 - 100 cm layers and submitted to chemical, mineralogical and granulometric analysis, aiming to characterize them. Univariate and multivariate statistical analyzes were used in order to obtain a better understanding of the soil distribution as a function of its chemical and mineralogical attributes. The results indicated the differentiation of the soils in relation to fertility, with the soils of várzea having the highest levels of nutrients and higher CTC. These soils are formed on 2:1 mineralogical sediments, deposited during floods of the rivers of the region. The material of origin of the terra firme soils presented a differential as to the fertility and mineralogy of these soils. Soils formed on sediments of the Solimões and Içá Formation presented 2:1 mineralogy, higher nutrient contents and higher CTC. The upland soils presented their greatest chemical and mineralogical differences attributed to their parent materials. The studied soils presented a reaction that allows them to characterize as extremely acidic and strongly acidic. The fertility attributes of these soils made it possible to differentiate the soils of flood plains, Flúvicos Neossolos and Gleissolos, and the Vertisols, of the other studied soils. Kaolinite is the predominant mineral in the clay fraction of all soils except Vertisols and Spodosols. In addition, it was observed the frequent occurrence of illite in the clay fraction, even of the better drained soils.

Keywords: Upland soils. Flood plains soils. Soil mineralogy. Weathering. Amazon.

## 2.1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é o bioma de maior área no território brasileiro, ocupando cerca de 4.196.943 km$^2$ abrangendo a maior floresta tropical do planeta (3.289.828 km$^2$ de floresta do tipo ombrófila) (IBGE, 2011). Possui a maior bacia hidrográfica (6.100.000 km$^2$) e um dos maiores rios do mundo, o rio Amazonas (GUYOT et al., 2007). A Floresta Amazônica estoca aproximadamente 93 ± 23 Pg de carbono na forma de biomassa e tem potencial de sequestro de carbono da ordem de 421 a 470 Tg ano$^{-1}$, sendo relevante nos dias de hoje, em que se avalia cada vez mais a capacidade que uma determinada área tem de fixar e estocar carbono (CERRI et al., 2006; RAMMING et al., 2010).

Os Estados do Amazonas e Acre abrangem uma área de 1.559.146,876 km$^2$, 164.123,737 km$^2$, e apresentam população estimada em 4.080.611 e 869.265 habitantes respectivamente, dos quais em média 70% vivem em zonas urbanas e o restante vive nas zonas rurais (IBGE, 2018). O clima do Estado Amazonas, de acordo com a classificação de Köppen, é dividido em dois tipos: Afi (clima tropical chuvoso sem estação seca) e Ami (clima tropical chuvoso com pequeno período seco). A área apresenta ainda uma temperatura média anual de 25,9°C, precipitação média de 2536 mm por ano (VIEIRA; SANTOS, 1987). O clima do Acre é caracterizado como tropical chuvoso do tipo Ami, segundo classificação de Köppen com temperatura média de torno de 24,5°C, com mínima de 18 °C e máxima de 32°C e precipitação média anual de 1956 mm (MESQUITA, 1996).

As bacias sedimentares do Acre, Solimões, Amazonas e Alto Tapajós são as principais feições geológicas do Estado do Amazonas. Tais bacias estão depositadas sobre um substrato rochoso pré-cambriano, onde ocorrem rochas de natureza ígnea, sedimentar e metamórfica (Figura 1) (REIS, ALMEIDA, 2010). As bacias sedimentares encontradas no Estado apresentam os arenitos, siltitos e argilitos como suas principais rochas constituintes.

A Bacia do Rio Juruá é uma bacia compartilhada entre o Brasil e o Peru, especificamente com o Departamento peruano de Ucayali e com os Estados brasileiros do Acre e Amazonas (ZEE, 2010). O Rio Juruá tem, em toda a sua extensão de 3.280 km, um desnível de 410 m. Nasce no Peru com o nome de Paxiúba a 453 m de altitude, unindo-se depois com o Salambô e fonnando, daí para diante o Juruá propriamente dito. Atravessa a parte noroeste do Estado do Acre, no sentido S-N, entra no Estado do Amazonas e despeja suas águas no Rio Solimões. O Juruá é um rio de planície, com todas as características decorrentes de pequeno declive. Seus principais afluentes ficam dispostos na margem direita onde a configuração geral é mais plana, sendo poucos os contribuintes de vulto da margem esquerda. Correndo a princípio na direção

N-NE, lança-se depois para L-NE e, finalmente, é NE a direção geral de seu curso até a foz (ZEE, 2006).

A Bacia do Rio Juruá compõe-se por uma seção essencialmente arenosa, com pelitos subordinados. São encontrados arenitos de granulação muito fina a grossa com cor branca e cinza e estratificação cruzada de grande e pequeno porte, associados a siltito, folhelho cinza e castanho, calcário e anidrita (EIRAS et al.,1994).

A Bacia do Rio Juruá, ocupa parte do Estado do Acre e parte significativa do sul e sudoeste do Estado do Amazonas, difere dos demais ambientes da Amazônia, sendo atípica quanto às características químicas e físicas dos solos (ZEE, 2006). O material de origem (argilitos e siltitos) contribui para diversidade de classes de solos, muitas vezes pouco intemperizados (geralmente com minerais de argila de maior atividade) e, aparentemente, sem nenhuma relação com o relevo, caracterizando um endemismo edáfico na região. Esse endemismo também resulta em grande variação entre e dentro das unidades de mapeamento de solos. (ANJOS, et al. 2013).

Nos Estados do Amazonas e Acre, a Floresta Amazônica está distribuída principalmente sobre áreas não inundadas (solos de terra firme) e inundadas (solos de várzea) (SOMBROEK, 1966; SIOLI, 1984). As principais classes de solos observadas nas áreas de terra firme no Amazonas são os Argissolos e Latossolos, que representam, respectivamente, cerca de 45 e 26 % e no Acre os Argissolos e Cambissolos representam 38 e 32 %, respectivamente de toda a área do Estado (TEIXEIRA et al., 2010). Já nas áreas de várzea, os Gleissolos e os Neossolos Flúvicos são as principais classes de solos encontradas, compreendendo 9 e 1,45 % e no Acre 6 e 1,16 % da área do Estado, respectivamente (ZEE, 2006).

Os solos de terra firme estão distribuídos principalmente sobre rochas sedimentares das Formações Alter do Chão, Solimões e Içá e, em menor escala, sobre as rochas ígneas e metamórficas dos Escudos das Guianas e Brasil Central. Já os solos de várzea acompanham os principais rios de água barrenta da região e são formados a partir de sedimentos depositados durante os períodos de cheias (SOMBROEK, 1966; SIOLI, 1984; LIMA, 2006; CAMPOS et al., 2011, 2012; GUIMARÃES et al., 2013).

Os estudos dos solos do Estado do Amazonas estão concentrados principalmente próximo da capital (Manaus) e muitos são voltados à caracterização e compreensão da gênese dos solos de maior ocorrência nesta região, como os estudos dos Gleissolos (GUIMARAES et al., 2013), das Terras Pretas de Índio (SILVA et al., 2011; LIMA et al., 2002), dos Espodossolos (HORBE et al., 2004), das características lateríticas de Latossolos e das feições redoximórficas em Gleissolos (FRITSCH et al., 2002), dos Latossolos e Espodossolos na região de Itacoatiara

(BOTSCHEK et al., 1996), dos processos de ciclagem do silício e a manutenção da caulinita em Latossolos (LUCAS et al., 1993), dos processos de formação de caulinitas (BALAN et al., 2007), dos processos envolvidos na transformação Latossolo-Espodossolo (BRAVARD, RIGHI, 1988), dos processos de evolução dos Latossolos Amarelos (CHAUVEL, 1981), das propriedades químicas e mineralógicas de plintitas e Plintossolos (GARCIA et al., 2013) e sobre a classificação de solos da região de Presidente Figueiredo (RODRIGUES et al., 2001).

No Acre, esses estudos se concentram ao longo da BR 364, aspectos gerais dos solos do Acre (ARAÚJO, et al., 2005), análise ambiental do componente solo na BR 364 (AMARAL, 2006), caracterização de solos e modificações provocadas pelo uso agrícola (ARAÚJO, 2001), levantamento de solos e zoneamento agroecológico da Rodovia BR-364 no Acre. (EMBRAPA, 1979), influência do alumínio de um podzólico vermelho-amarelo do Acre sobre o crescimento das plantas (GAMA, 1999), caracterização e formação de solos com argila de atividade alta no Estado do Acre (GAMA, 1986), pedogênese de podzólicos vermelho amarelos do Estado do Acre (MARTINS, 1993), mineralogia de argilas em cambissolos do sudoeste da Amazônia Brasileira (MÖLLER, 1982), principais solos do Acre (OLIVEIRA; ALVARENGA, 1985) e sobre manejo de solos ácidos do Estado do Acre (WADT, 2002).

A descentralização de estudos sobre solos próximos de Manaus e da BR 364 no Acre parece ser ainda um desafio, tendo em vista as dificuldades encontradas para a exploração de outras áreas. No entanto, esforços estão sendo feitos e estudos sobre a gênese e o manejo dos solos estão avançando em outras regiões desses Estados. Por exemplo, os estudos de Moreira et al. (2009) sobre as diferentes formas de manejo do solo na fertilidade de Cambissolos, bem como os estudos de Lima et al. (2006), Coelho et al. (2005) e Marques et al. (2002) sobre gênese e caracterização de solos na região do Alto Solimões (região oeste). Além disso, merecem destaque os trabalhos conduzidos por Aquino et al. (2016), Oliveira et al. (2015), Santos et al. (2013), Campos et al. (2011, 2012) e Martins et al. (2006), nas regiões sul e sudeste do Estado, sobre a caracterização de solos sob diferentes formas de uso, caracterização de Campos Nativos e Matas, caracterização de Terras Pretas de Índio e as diferentes superfícies geomórficas que ocorrem na região.

Outros trabalhos de maiores proporções e abrangência também foram conduzidos visando um melhor entendimento sobre os diferentes ambientes da região Amazônica. Moreira e Fageria (2009) conduziram um estudo sobre a fertilidade dos solos do Estado do Amazonas utilizando os dados do Projeto Radam Brasil dos anos 1975-2005, com base em 3340 amostras de solos obtidas na profundidade de 0 - 20 cm. Quesada et al. (2011) também conduziram estudos sobre a fertilidade e gênese dos solos do Estado e identificaram a contínua evolução

dos solos da região Amazônica e a relação direta da fertilidade dos solos com o material de origem.

No entanto, observa-se que existe uma lacuna no conhecimento sobre a gênese dos diferentes tipos de solos dos Estados do Amazonas e Acre, bem como sua relação com os diferentes materiais de origem que ocorrem na região (de natureza sedimentar, ígnea e metamórfica). Nesse contexto, há necessidade de se aprofundar, por exemplo, estudos sobre o desnvolvimento dos solos sobre rochas sedimentares da Bacia do Solimões e sobre os solos formados sobre rochas ígneas e metamórficas dos Escudos das Guianas e Brasil Central.

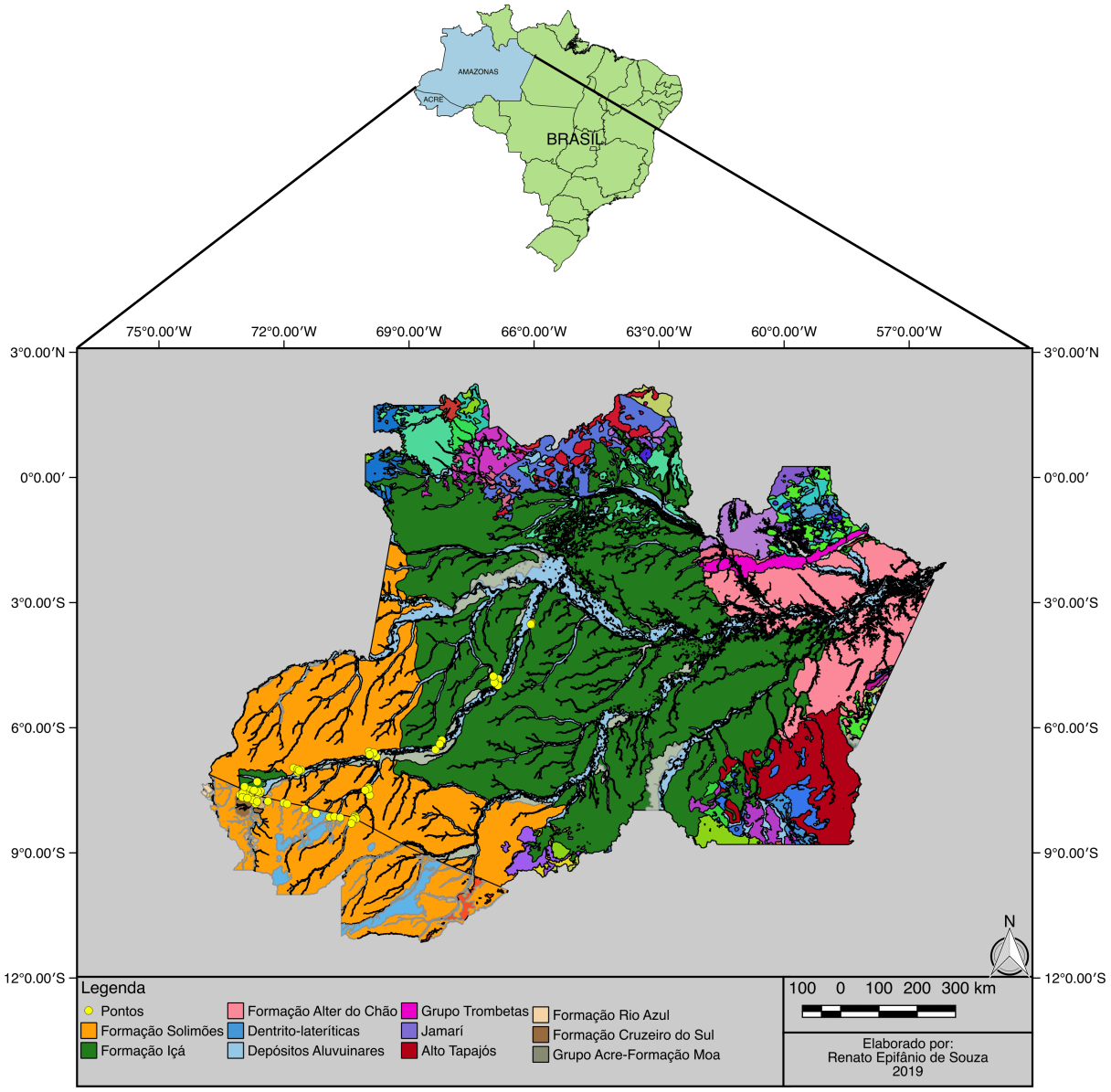
Diante do exposto, este trabalho teve o objetivo de caracterizar os solos de terra firme e de várzea de diferentes na Bacia do Rio Juruá na Amazônia Brasileira quanto à sua natureza física, química e mineralógica, estabelecendo relações desses atributos com os processos de gênese dos solos, contribuindo assim para a elaboração de um banco de dados acerca dos solos destas formações geológicas.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na porção sudoeste da Amazônia Brasileira, mas precisamente na bacia do rio Juruá, incluindo parte dos territórios dos Estados do Acre e do Amazonas (Figura 1). O material de origem dos solos da referida área é constituído por rochas sedimentares (arenitos, argilitos, siltitos) pertencentes às Formações Solimões, Cruzeiro do Sul, Içá, e depositos aluvionares recentes.

Figura 1 - Principais ocorrências geológicas dos Estados do Amazonas e Acre - Brasil e pontos de coleta dos solos analisados no presente estudo



### 2.2.2 Amostragem dos solos

Os locais de amostragem foram selecionados com base nos mapas de solos (IBGE, 2010; RADAM, 1977) e geologia (CPRM, 2006) dos Estados do Acre e do Amazonas incluindo as diversas formações geológicas e as unidades de mapeamento de solos que ocorrem na área de estudo. A coleta das amostras resultou de uma campanha de campo, que incluiu os municípios de Cruzeiro do Sul, Feijó, Mâncio Lima, Rodrigues Alves e Tarauacá, no Estado do Acre, e Carauarí, Eirunepé, Envira, Guajará, Ipixuna, Itamararí e Juruá, no Estado do Amazonas.

Em cada município selecionaram-se locais recobertos por vegetação nativa que não sofreram intervenção antrópica ou com o mínimo de interferência humana (Figura 3). As amostras foram coletadas nas profundidades de 0 - 20 cm e de 80 - 100 cm com auxilio de um trado holandês inoxidável (Figura 2). Na camada superficial foram coletadas nove amostras simples, sendo uma no ponto central e uma nos pontos cardeais N, S, L, O, e nos pontos colaterais, NE, SE, NO, e SO a uma distância de 5 m do ponto central (ABRAHÃO; MARQUES, 2013). Em seguida foram coletadas três subamostras na camada subsuperficial, sendo uma no ponto central, uma ao norte e outra ao sul do dito ponto. As amostras simples de cada camada foram misturadas, formando duas amostras compostas, representativas das respectivas camadas e das respectivas unidades de mapeamento do solo.

Figura 2 - Esquema de amostragem de solos e trado holândes inoxidável.

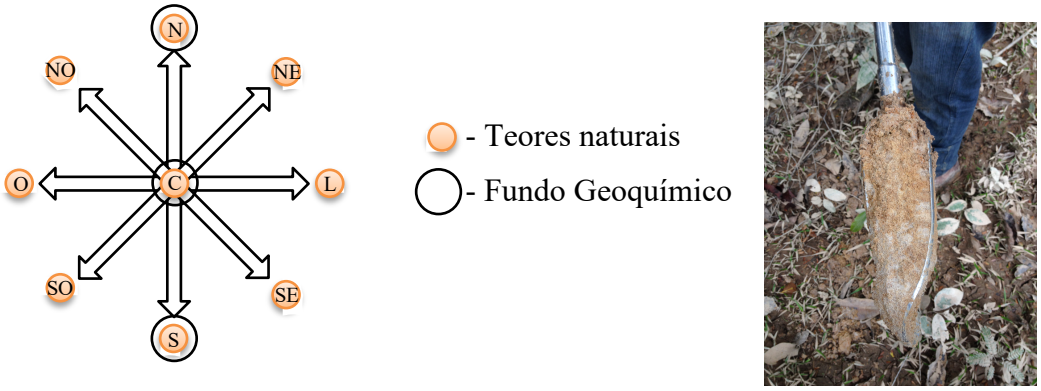


Figura 3 - Classes de solos Bacia do Rio Juruá (AM e AC) e pontos de coleta dos solos analisados no presente estudo.

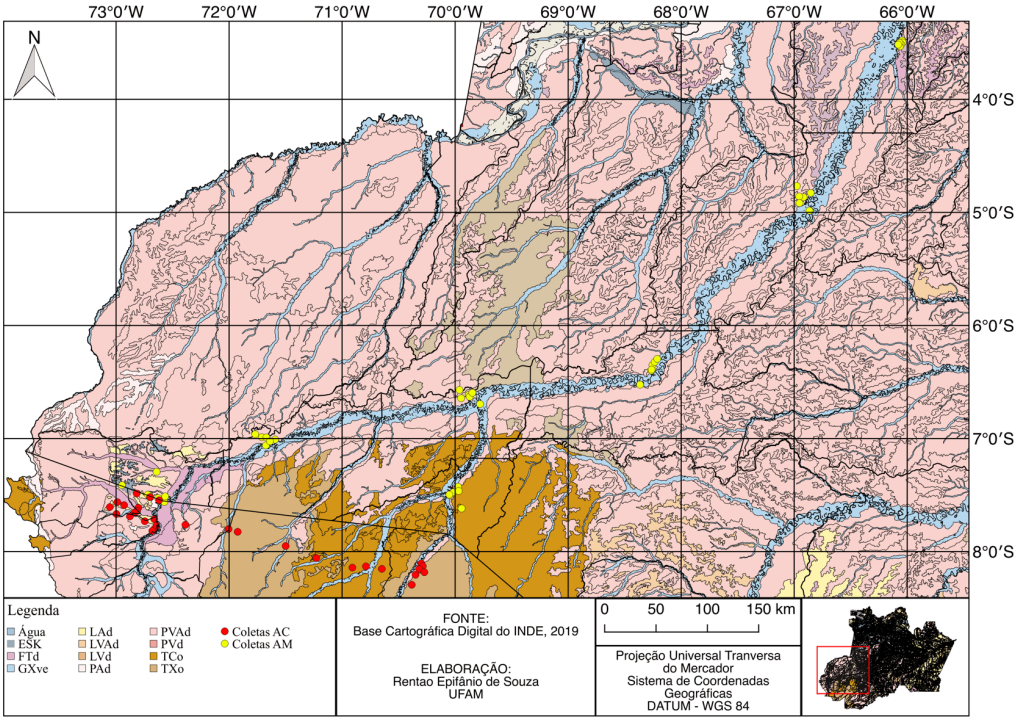


Tabela 1 - Localização, formação geológica e material de origem dos solos estudados.

| Amostra | Municípios | Latitude | Longitude | Unidade de mapeamento** | Altitude (m) | Formação geológica* | Material de origem* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Cruzeiro do Sul - AC | 7°29'9.73"S | 72°49'1.73"O | PVAd27 | 221 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 2 | Cruzeiro do Sul - AC | 7°45'47.06"S | 72°23'9.85"O | PVAa1 | 216 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 3 | Cruzeiro do Sul - AC | 7°32'46.21"S | 72°37'7.77"O | PVAd20 | 220 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 4 | Mancio Lima - AC | 7°36'21.83"S | 73° 3'18.66"O | Lad104 | 253 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 5 | Mancio Lima - AC | 7°40'2.70"S | 72°59'48.28"O | PVAd27 | 215 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 6 | Rodrigues Alves - AC | 7°47'56.71"S | 72°39'35.26"O | PVAa35 | 200 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 7 | Rodrigues Alves - AC | 7°49'3.96"S | 72°40'45.30"O | PVAa35 | 207 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 8 | Rodrigues Alves - AC | 7°43'52.61"S | 72°44'43.41"O | PVAa35 | 196 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 9 | Rodrigues Alves - AC | 7°41'19.46"S | 72°52'39.27"O | PVAa35 | 212 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 10 | Tarauacá - AC | 8° 8'29.45"S | 70°54'30.96"O | TCo8 | 272 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 11 | Tarauacá - AC | 8° 3'25.81"S | 71°13'45.00"O | TCo8 | 258 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 12 | Tarauacá - AC | 7°49'58.21"S | 71°55'8.55"O | TXo7 | 235 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 13 | Feijó - AC | 8° 6'16.88"S | 70°17'55.52"O | PVAa6 | 181 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 14 | Feijó - AC | 8°12'18.35"S | 70°21'0.72"O | PVAa6 | 177 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 15 | Feijó - AC | 8°17'36.75"S | 70°22'59.79"O | TXo2 | 203 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 16 | Guajará - AM | 7°30'42.79"S | 72°33'57.02"O | FTd52 | 184 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 17 | Guajará - AM | 7°31'36.66"S | 72°37'40.07"O | PAd20 | 218 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 18 | Guajará - AM | 7°29'47.41"S | 72°43'9.08"O | PVAd427 | 233 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 19 | Ipixuna - AM | 6°59'22.92"S | 71°40'10.08"O | PVAd333 | 181 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 20 | Ipixuna - AM | 7° 1'35.18"S | 71°38'7.85"O | PVAd333 | 163 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 21 | Envira - AM | 7°30'56.43"S | 70° 1'0.39"O | PVAa6 | 175 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 22 | Envira - AM | 7°28'24.65"S | 70° 1'11.50"O | PVAa6 | 163 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 23 | Envira - AM | 7°37'5.62"S | 69°56'30.50"O | TCo14 | 197 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 24 | Envira - AM | 7°27'51.24"S | 69°58'6.22"O | TCo14 | 173 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 25 | Eirunepé - AM | 6°37'51.89"S | 69°52'17.32"O | PVAa6 | 130 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 26 | Eirunepé - AM | 6°34'15.37"S | 69°57'47.60"O | PVAal26 | 194 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 27 | Itamaratí - AM | 6°23'58.72"S | 68°15'46.42"O | PVAa17 | 156 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 28 | Itamaratí - AM | 6°20'56.28"S | 68°15'11.46"O | PVAa19 | 164 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 29 | Itamaratí - AM | 6°19'22.53"S | 68°14'0.20"O | PVAa17 | 152 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 30 | Itamaratí - AM | 6°17'45.14"S | 68°12'40.24"O | PVAa17 | 132 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 31 | Carauarí - AM | 4°49'37.63"S | 66°51'9.50"O | PVAa25 | 80 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 32 | Carauarí - AM | 4°55'3.01"S | 66°57'8.30"O | PVAa25 | 100 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 33 | Carauarí - AM | 4°45'58.74"S | 66°58'32.28"O | PVAa25 | 80 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |

Tabela 1 - Continuação...

| Amostra | Municípios | Latitude | Longitude | Unidade de mapeamento** | Altitude (m) | Formação geológica* | Material de origem* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 34 | Juruá - AM | 3°28'45.66"S | 66° 2'38.34"O | FXa5 | 77 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 35 | Juruá - AM | 3°29'46.83"S | 66° 2'23.49"O | FXa5 | 67 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 36 | Juruá - AM | 3°31'50.49"S | 66° 3'44.57"O | FXa5 | 81 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 37 | Juruá - AM | 3°29'57.75"S | 66° 4'4.09"O | GXve3 | 60 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 38 | Mancio Lima - AC | 7°39'18.88"S | 72°50'14.34"O | GXve3 | 192 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 39 | Guajará - AM | 7°33'40.36"S | 72°34'24.44"O | GXve3 | 191 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 40 | Ipixuna - AM | 7° 3'39.67"S | 71°40'26.03"O | GXve3 | 171 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 41 | Eirunepé - AM | 6°41'44.44"S | 69°46'43.01"O | GXve3 | 121 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 42 | Carauarí - AM | 4°51'55.10"S | 66°54'57.91"O | GXve9 | 83 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 43 | Juruá - AM | 3°30'47.59"S | 66° 3'8.06"O | TXo7 | 83 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 44 | Cruzeiro do Sul - AC | 7°48'1.71"S | 72° 0'16.86"O | TCo8 | 195 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 45 | Tarauacá - AC | 8° 9'16.67"S | 70°38'51.44"O | TXo7 | 227 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 46 | Tarauacá - AC | 7°56'41.63"S | 71°29'59.32"O | TXo2 | 228 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 47 | Feijó - AC | 8°10'57.03"S | 70°16'18.79"O | PVAd333 | 192 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 48 | Ipixuna - AM | 6°59'15.23"S | 71°42'44.33"O | PVAd333 | 182 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 49 | Ipixuna - AM | 6°56'59.11"S | 71°45'52.28"O | PVAd333 | 193 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 50 | Ipixuna - AM | 7° 0'31.88"S | 71°35'33.77"O | PVAa6 | 185 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 51 | Eirunepé - AM | 6°35'41.80"S | 69°50'58.97"O | GXve3 | 142 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 52 | Rodrigues Alves - AC | 7°47'4.17"S | 72°38'45.51"O | GXve3 | 182 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 53 | Envira - AM | 7°29'44.81"S | 70°3'2.87"O | GXve3 | 156 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 54 | Envira - AM | 7°25'35.04"S | 69°58'57.11"O | GXve3 | 155 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 55 | Itamaratí - AM | 6°31'24.23"S | 68°21'46.53"O | GXve3 | 101 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 56 | Carauarí - AM | 4°59'3.11"S | 66°51'50.82"O | LAd105 | 73 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 57 | Mancio Lima - AC | 7°33'45.52"S | 72°59'17.19"O | PVAa6 | 213 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 58 | Feijó - AC | 8° 7'44.93"S | 70°17'8.17"O | ESKg8 | 189 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 59 | Guajará - AM | 7°24'48.38"S | 72°56'52.76"O | CXal3 | 209 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 60 | Eirunepé - AM | 6°36'48.31"S | 69°52'41.15"O | PVAa19 | 129 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 61 | Itamaratí - AM | 6°23'11.17"S | 68°15'59.30"O | TXo2 | 153 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 62 | Feijó - AC | 8° 9'16.24"S | 70°19'2.39"O | CXal3 | 177 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |

Tabela 1 - Continuação...

| Amostra | Municípios | Latitude | Longitude | Unidade de mapeamento** | Altitude (m) | Formação geológica* | Material de origem* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 63 | Eirunepé - AM | 6°38'36.52"S | 69°56'48.84"O | PVAa25 | 141 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 64 | Carauarí - AM | 4°51'30.96"S | 66°57'18.45"O | FTd52 | 97 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 65 | Mancio Lima - AC | 7°38'25.36"S | 72°48'52.44"O | FTd52 | 193 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 66 | Cruzeiro do Sul - AC | 7°36'43.75"S | 72°48'9.81"O | FTd52 | 181 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 67 | Guajará - AM | 7°17'32.47"S | 72°38'46.59"O | FXa5 | 174 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 68 | Juruá - AM | 3°30'54.78"S | 66° 4'41.27"O | LAd105 | 70 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 69 | Mancio Lima - AC | 7°35'21.07"S | 72°55'43.67"O | LAd105 | 183 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 70 | Rodrigues Alves - AC | 7°42'49.46"S | 72°39'42.60"O | LAd105 | 192 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 71 | Cruzeiro do Sul - AC | 7°31'5.81"S | 72°41'57.20"O | TCo7 | 230 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 72 | Tarauacá - AC | 8° 7'51.45"S | 70°47'21.42"O | TCo7 | 199 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 73 | Tarauacá - AC | 8° 4'47.54"S | 70°48'28.05"O | FTd52 | 256 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |

*CPRM, 2006; **IBGE, 2018

### 2.2.3 Análises químicas, mineralógicas e composição granulométrica.

Após o preparo, as amostras foram analisadas visando à caracterização química, composição granulométrica e mineralógica, conforme as metodologias descritas em EMBRAPA (2017). O pH do solo em água foi medido em suspensão solo:água (1:2,5) e o pH em KCl 1mol $L^{-1}$ foi medido em suspensão solo:solução (1:2,5). Fósforo disponível (P) e potássio trocável ($K^{+}$) foram extraídos com solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol $L^{-1}$ e $H_2SO_4$ 0,0125 mol $L^{-1}$) e determinados por espectrofotometria UV-Vis e espectrofotometria de chama, respectivamente.

Os cátions trocáveis $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ e $Al^{3+}$ foram extraídos por solução KCl 1 mol $L^{-1}$. $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$ foram determinados por espectrometria de absorção atômica e o $Al^{3+}$ por volumetria com solução diluída de NaOH. A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinada por volumetria com solução de NaOH em presença de fenolftaleína como indicador. A soma de bases (Valor SB), a capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe), a capacidade de troca catiônica total a pH 7 (Valor CTC), a saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (m) foram calculadas a partir dos valores obtidos nas análises químicas mencionadas.

O carbono orgânico do solo foi determinado pelo método Walkley-Black, que utiliza a oxidação pelo dicromato de potássio em meio ácido, seguida de titulometria de complexação com solução de sulfato ferroso amoniacal (0,025 mol $L^{-1}$) (EMBRAPA, 2017).

Para a determinação das frações granulométricas do solo foi empregado o método da pipeta, utilizando-se o hidróxido de sódio como agente dispersante. A fração areia foi separada por tamisação (peneira de 0,053 mm), enquanto as frações silte e argila foram separadas por sedimentação, conforme Embrapa (2017).

Determinaram-se os teores de Fe, Al, Si, Mn e Ti no ataque sulfúrico, de acordo com o Embrapa (2017). Também foram determinados os teores de ferro em óxidos cristalinos ($Fe_d$) por ditionito-citrato em sistema tamponado com bicarbonatode sódio (DCB), conforme Mehra e Jakson (1960) e os teores de Fe em óxidos de baixa cristalinidade ($Fe_o$) por solução de oxalato de ácido de amônio 0,2 mol $L^{-1}$ a pH 3,0, de acordo com McKeague e Day (1966). A análise mineralógica da fração argila foi realizada por difratometria de raios-X (DRX) em um difratômetro (Marca PANalytical - Modelo X'pert PRO) com tubo ânodo de cobalto. Foram analisadas as amostras de argila natural e desferrificada.

### 2.2.4 Análise estatística

As análises estatísticas descritivas (média, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação) foram realizadas com o auxílio do programa OriginLab® (versão 9). A normalização dos dados, foi realizada com transformação do tipo *Box Cox* e então foi realizado a análise multivariada.

Análise de Componentes Principais (ACP) foi conduzida visando a reduzir o número de variáveis com menor poder de explicação dos resultados e enfatizando as variáveis que mais bem expliquem os resultados observados. A referida análise foi realizada a partir da variância no conjunto original das variáveis, usando-se a matriz de correlação dos dados em conjunto com o método de rotação Varimax. Após a rotação dos fatores, aqueles que apresentavam cargas fatoriais maior que 0,7 foram definidos como a variável que mais bem explica a variação dos dados. Foram construídos gráficos de dispersão para as cargas fatoriais das variáveis e para a carga das observações referentes as duas primeiras componentes principais extraídos por esse método.

## 2.3 RESULTADOS

### 2.3.1 Composição granulométrica e atributos da fertilidade dos solos

Os resultados referentes à caracterização granulométrica dos solos são apresentados na Figura 4. Entre os solos estudados, observa-se que os Plintossolos apresentaram o maior teor médio de argila, respectivamente, 450 e 550 g $kg^{-1}$ nas profundidades 0 - 20 cm e 80 - 100 cm. Enquanto os menores teores médios dessa fração foram obtidos nos Espodossolos, 83 e 97g $kg^{-1}$ para as profundidades 0 - 20 e 80 - 100 cm, respectivamente. Os Vertissolos e Gleissolos apresentaram respectivamente, para a profundidade de 0 - 20 cm, teores médios de argila de 440 e 380 g $kg^{-1}$. Além disso, observou-se nesses solos um relevante incremento de argila em profundidade, com médias de 530 g $kg^{-1}$ nos Vertissolos e 510 g $kg^{-1}$ nos Gleissolos. Os Argissolos apresentaram teores médios de 370 g $kg^{-1}$ em superfície e, em subsuperfície, média de 440 g $kg^{-1}$. Para os Cambissolos, Neossolos e Latossolos, o valor médio de argila em superfície foi de 210, 230 e 240g $kg^{-1}$, respectivamente, e em subsuperficie as médias obtidas foram de 310, 270 e 350 g $kg^{-1}$, respectivamente.

Os Cambissolos e Neossolos apresentaram, respectivamente, os maiores teores médios de silte 430 e 420 g $kg^{-1}$, na profundidade 0 - 20, e 290 e 280 g $kg^{-1}$, na profundadidade 80 - 100 cm. Os menores teores médios dessa fração foram obtidos nos Latossolos 90 e 110 g $kg^{-1}$ para as profundidades 0 - 20 e 80 - 100 cm, respectivamente.

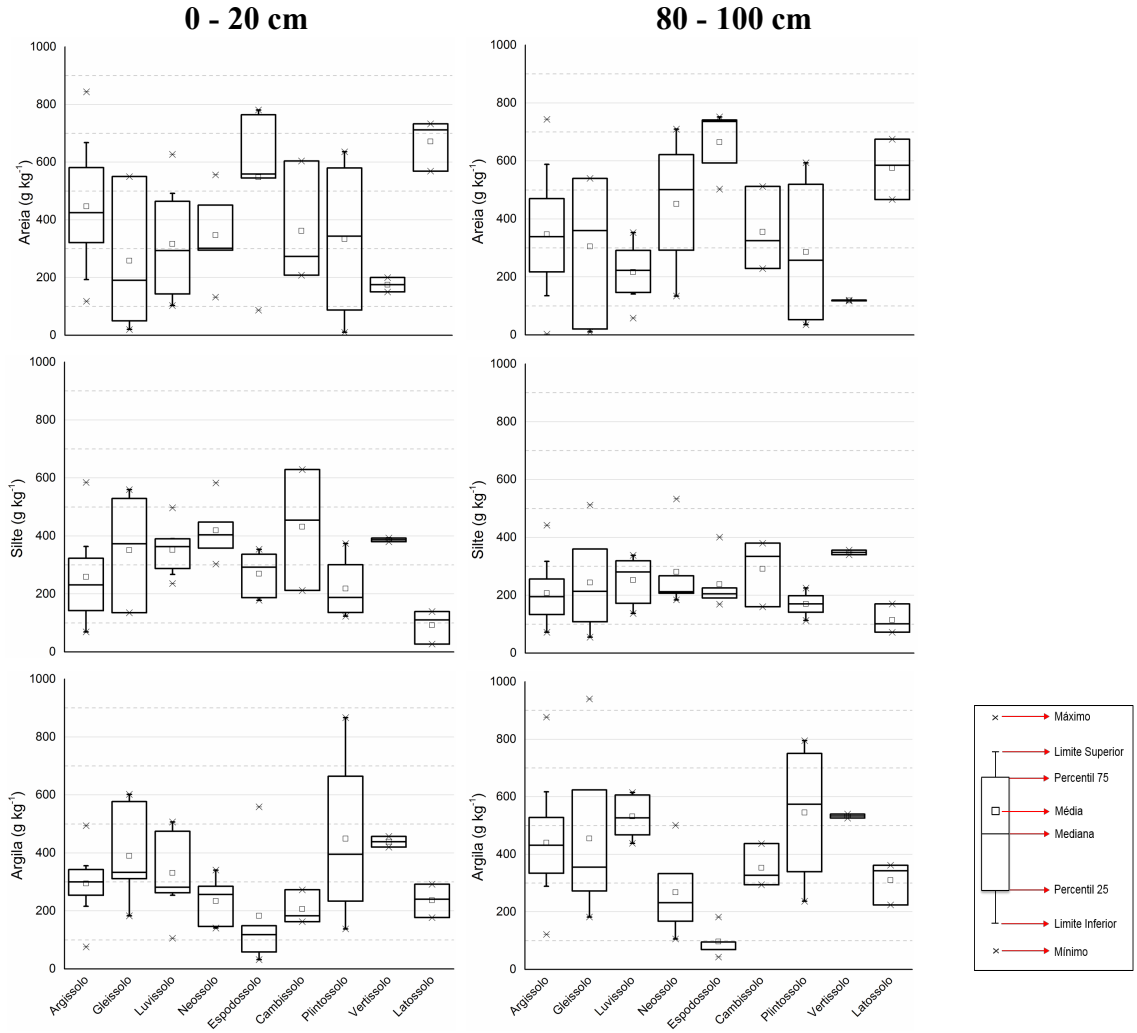
Vertissolos e Gleissolos apresentaram teores médios de 390 g $kg^{-1}$ em superfície e, em subsuperfície, seus respectivos valores médios foram de 350 e 260 g $kg^{-1}$. Os Luvissolos e Plintossolos, o valor médio de silte em superfície foi de 350 e 220 g $kg^{-1}$ e, em subsuperficie 250 e 170 g $kg^{-1}$, respectivamente. Os Argissolos o valor médio de silte em superfície foi de 230 g $kg^{-1}$, e em subsuperficie a média obtida foi de 210 g $kg^{-1}$.

Os dados referentes aos principais atributos químicos dos solos estão expressos em gráficos do tipo box (Figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10). A classe de reação dos solos foi definida de acordo com os critérios estabelecidos pelo SiBCS (2018). Segundo esses critérios, aplicados aos valores médios de pH, os solos enquadraram-se nas seguintes classes de reação do solo (camada 0 - 20 cm): extremamente ácida (solos com valor de pH em água menor do que 4,3): Argissolos, Cambissolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos e Plintossolos; reação fortemente ácida (solos com valor de pH em água entre 4,3 e 5,3): Luvissolos e Neossolos; e reação moderadamente ácida (solos com valor de pH em água entre 5,4 e 6,5): Vertissolos.

Em relação à camada de 80 - 100 cm, os valores médios de pH em água possibilitou classificar os solos, de acordo com a classe de (SiBCS, 2018) reação em extremamente ácidos:

Latossolos e Cambissolos. Fortemente ácidos: Argissolos, Espodossolos, Gleissolos, Plintossolos, Luvissolos, Neossolos e Vertissolos.

Figura 4 - Gráfico do tipo *box plot* para os teores de argila, silte e areia das classes de solos estudados nas profundidades de 0 - 20 e 80 - 100 cm




De maneira geral, os solos apresentam carga líquida negativa, medida pelo ΔpH, no entanto, algumas amostras de Argissolos (amostras 34 e 35 - Tabela 1) e Gleissolos (amostras 42 e 43 - Tabela 1) apresentaram carga líquida positiva.

Os maiores teores de carbono orgânico (CO) dos solos foram observados na camada de 0 - 20 cm. Entre os solos, os teores mais elevados foram observados nos Argissolos (valores entre 2,17 e 7,36 g $kg^{-1}$) e teor médio na camada de 0 a 20 cm igual a 4,24 g $kg^{-1}$. Plintossolos, Luvissolos, Vertissolos e Gleissolos apresentaram, respectivamente, teor médio igual a 2,04, 1,85, 1,53 e 1,42 g $kg^{-1}$. Os menores teores médios foram observados nos Cambissolos, Latossolos, Neossoolos e Espodossolos: 1,33; 1,14; 1,05; e 0,99 g $kg^{-1}$, respectivamente.

Tabela 02 - Resultados das análises química e físicas das amostras dos solos estudados.

| Amostra | Prof. | pH $H_2O$ | pH KCl | ΔpH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTCe | CTC | V | m | P-Rem | CO | Areia | Silte | Argila |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | | | | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | -------%------- | | mg $L^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | --------g $kg^{-1}$-------- | | |
| ARGISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 -20 | 3,62 | 3,31 | -0,31 | 2,2 | 32 | 0,28 | 0,08 | 3,87 | 10,3 | 0,44 | 4,31 | 10,74 | 4,1 | 89,8 | 24 | 4,76 | 587 | 69 | 343 |
| | 80 -100 | 3,83 | 3,86 | 0,03 | 0,1 | 5 | 0,25 | 0,04 | 2,52 | 4,8 | 0,30 | 2,82 | 5,10 | 5,9 | 89,3 | 8,4 | 1,52 | 486 | 72 | 442 |
| 2 | 0 -20 | 4,04 | 3,5 | -0,54 | 2,1 | 25 | 0,24 | 0,09 | 5,13 | 11,1 | 0,39 | 5,52 | 11,49 | 3,4 | 92,9 | 11,2 | 4,12 | 408 | 263 | 329 |
| | 80 -100 | 4,31 | 3,72 | -0,59 | 0 | 10 | 0,18 | 0,02 | 4,75 | 6,4 | 0,23 | 4,98 | 6,63 | 3,4 | 95,5 | 8,2 | 0,66 | 339 | 284 | 377 |
| 3 | 0 -20 | 3,75 | 3,31 | -0,44 | 1,8 | 38 | 0,24 | 0,29 | 4,46 | 11,4 | 0,63 | 5,09 | 12,03 | 5,2 | 87,7 | 22,5 | 4,33 | 608 | 131 | 260 |
| | 80 -100 | 4,13 | 3,52 | -0,61 | 0 | 16 | 0,2 | 0,04 | 6,97 | 10 | 0,28 | 7,25 | 10,28 | 2,7 | 96,1 | 10,4 | 1,09 | 436 | 133 | 431 |
| 4 | 0 -20 | 3,88 | 3,4 | -0,48 | 2,2 | 21 | 0,87 | 0,12 | 2,81 | 8 | 1,04 | 3,85 | 9,04 | 11,5 | 72,9 | 24,6 | 4,33 | 610 | 81 | 309 |
| | 80 -100 | 4,17 | 3,8 | -0,37 | 0 | 3 | 0,18 | 0,03 | 2,42 | 4,2 | 0,22 | 2,64 | 4,42 | 4,9 | 91,7 | 16,2 | 0,86 | 496 | 116 | 388 |
| 5 | 0 -20 | 4,14 | 3,7 | -0,44 | 2,6 | 30 | 0,21 | 0,13 | 2,91 | 7,2 | 0,42 | 3,33 | 7,62 | 5,5 | 87,5 | 20 | 3,67 | 581 | 194 | 225 |
| | 80 -100 | 4,33 | 3,75 | -0,58 | 0 | 9 | 0,19 | 0,03 | 3,97 | 5,3 | 0,24 | 4,21 | 5,54 | 4,4 | 94,2 | 13,4 | 0,43 | 458 | 253 | 289 |
| 6 | 0 -20 | 3,99 | 3,44 | -0,55 | 1,8 | 26 | 0,21 | 0,09 | 5,62 | 10,6 | 0,37 | 5,99 | 10,97 | 3,3 | 93,9 | 16,3 | 3,24 | 391 | 209 | 400 |
| | 80 -100 | 4,46 | 3,7 | -0,76 | 0,2 | 9 | 0,26 | 0,04 | 6,59 | 8,7 | 0,32 | 6,91 | 9,02 | 3,6 | 95,3 | 6,5 | 1,09 | 285 | 217 | 498 |
| 7 | 0 -20 | 3,75 | 3,4 | -0,35 | 1,8 | 18 | 0,23 | 0,06 | 3,97 | 9,6 | 0,34 | 4,31 | 9,94 | 3,4 | 92,2 | 20,6 | 3,47 | 572 | 151 | 277 |
| | 80 -100 | 4,15 | 3,67 | -0,48 | 0,3 | 6 | 0,21 | 0,02 | 4,16 | 6,6 | 0,25 | 4,41 | 6,85 | 3,6 | 94,4 | 14,5 | 1,29 | 470 | 195 | 334 |
| 8 | 0 -20 | 4,1 | 3,54 | -0,56 | 2,1 | 27 | 0,24 | 0,05 | 3 | 7,1 | 0,36 | 3,36 | 7,46 | 4,8 | 89,3 | 21,9 | 2,17 | 654 | 130 | 216 |
| | 80 -100 | 4,23 | 3,77 | -0,46 | 0,5 | 7 | 0,27 | 0,02 | 3,29 | 5,6 | 0,31 | 3,60 | 5,91 | 5,2 | 91,4 | 15,1 | 1,29 | 621 | 89 | 290 |
| 9 | 0 -20 | 4,08 | 3,59 | -0,49 | 1,4 | 20 | 0,19 | 0,08 | 4,94 | 8,5 | 0,32 | 5,26 | 8,82 | 3,6 | 93,9 | 13,1 | 2,60 | 519 | 180 | 301 |
| | 80 -100 | 4,58 | 3,74 | -0,84 | 0,3 | 19 | 0,32 | 0,06 | 5,81 | 7,2 | 0,43 | 6,24 | 7,63 | 5,6 | 93,1 | 8,8 | 0,43 | 469 | 225 | 306 |
| 10 | 0 -20 | 4,75 | 3,9 | -0,85 | 1,6 | 71 | 1,95 | 0,97 | 0,97 | 4,7 | 3,10 | 4,07 | 7,80 | 39,8 | 23,8 | 22,9 | 4,33 | 278 | 421 | 301 |
| | 80 -100 | 4,67 | 3,62 | -1,05 | 0,7 | 57 | 0,36 | 1,09 | 12,2 | 15,7 | 1,60 | 13,80 | 17,30 | 9,2 | 88,4 | 1,8 | 2,17 | 173 | 191 | 637 |
| 11 | 0 -20 | 4,17 | 3,48 | -0,69 | 4,5 | 166 | 0,71 | 0,9 | 3 | 7,7 | 2,03 | 5,03 | 9,73 | 20,9 | 59,6 | 23,6 | 3,67 | 424 | 231 | 345 |
| | 80 -100 | 4,14 | 3,54 | -0,6 | 0,2 | 32 | 0,4 | 0,08 | 7,07 | 10 | 0,56 | 7,63 | 10,56 | 5,3 | 92,6 | 9,4 | 1,09 | 289 | 120 | 591 |
| 12 | 0 -20 | 4,63 | 3,7 | -0,93 | 4,1 | 89 | 2,9 | 1,4 | 2,42 | 6,4 | 4,53 | 6,95 | 10,93 | 41,4 | 34,8 | 21,3 | 4,12 | 356 | 250 | 393 |
| | 80 -100 | 5,06 | 3,53 | -1,53 | 0,8 | 54 | 0,75 | 0,61 | 15,4 | 18,8 | 1,50 | 16,90 | 20,30 | 7,4 | 91,1 | 3,8 | 0,86 | 202 | 196 | 602 |

Tabela 02 - Continuação.

| Amostra | Prof. | pH $H_2O$ | pH KCl | ΔpH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTCe | CTC | V | m | P-Rem | CO | Areia | Silte | Argila |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | | | | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | -------%------- | | mg $L^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | --------g $kg^{-1}$-------- | | |
| ARGISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 0 -20 | 4,16 | 3,56 | -0,6 | 2,3 | 102 | 1,16 | 0,58 | 2,71 | 6,3 | 2,00 | 4,71 | 8,30 | 24,1 | 57,5 | 25,9 | 3,67 | 241 | 415 | 343 |
| | 80 -100 | 4,58 | 3,57 | -1,01 | 0,4 | 56 | 0,23 | 0,2 | 17,14 | 21 | 0,57 | 17,71 | 21,57 | 2,7 | 96,8 | 2 | 1,95 | 30 | 93 | 877 |
| 14 | 0 -20 | 3,74 | 3,63 | -0,11 | 4 | 62 | 0,39 | 0,27 | 4,36 | 8,2 | 0,82 | 5,18 | 9,02 | 9,1 | 84,2 | 16,1 | 3,47 | 461 | 303 | 236 |
| | 80 -100 | 4,24 | 3,6 | -0,64 | 0,3 | 51 | 0,28 | 0,13 | 14,53 | 18,8 | 0,54 | 15,07 | 19,34 | 2,8 | 96,4 | 2,9 | 1,29 | 364 | 158 | 478 |
| 15 | 0 -20 | 4,57 | 3,86 | -0,71 | 0,1 | 106 | 5,51 | 2,06 | 5,33 | 10,8 | 7,84 | 13,17 | 18,64 | 42,1 | 40,5 | 10,7 | 4,76 | 393 | 180 | 427 |
| | 80 -100 | 4,67 | 3,55 | -1,12 | 0,7 | 69 | 1,05 | 0,5 | 13,46 | 17,2 | 1,73 | 15,19 | 18,93 | 9,1 | 88,6 | 5,1 | 0,86 | 453 | 129 | 418 |
| 16 | 0 -20 | 3,92 | 3,45 | -0,47 | 3,5 | 22 | 0,16 | 0,08 | 3,5 | 8,3 | 0,30 | 3,80 | 8,60 | 3,4 | 92,2 | 24,5 | 3,67 | 668 | 113 | 220 |
| | 80 -100 | 4,33 | 3,65 | -0,68 | 0,2 | 8 | 0,08 | 0,03 | 3,1 | 5,2 | 0,13 | 3,23 | 5,33 | 2,4 | 96,0 | 17,8 | 1,09 | 535 | 114 | 351 |
| 17 | 0 -20 | 3,75 | 3,2 | -0,55 | 2,8 | 32 | 0,18 | 0,11 | 8,84 | 16 | 0,37 | 9,21 | 16,37 | 2,3 | 96,0 | 8,8 | 5,19 | 142 | 364 | 494 |
| | 80 -100 | 4,16 | 3,52 | -0,64 | 0,2 | 20 | 0,07 | 0,04 | 9,87 | 13,7 | 0,16 | 10,03 | 13,86 | 1,2 | 98,4 | 5,1 | 1,52 | 135 | 272 | 593 |
| 18 | 0 -20 | 3,65 | 3,35 | -0,3 | 3,6 | 24 | 0,13 | 0,08 | 2,14 | 7,5 | 0,27 | 2,41 | 7,77 | 3,5 | 88,7 | 33,7 | 3,67 | 750 | 69 | 182 |
| | 80 -100 | 4,3 | 3,88 | -0,42 | 0,1 | 6 | 0,05 | 0,02 | 2,32 | 4,1 | 0,09 | 2,41 | 4,19 | 2,0 | 96,5 | 17,8 | 1,09 | 588 | 114 | 299 |
| 19 | 0 -20 | 4,16 | 3,5 | -0,66 | 2,7 | 28 | 0,81 | 0,19 | 4,47 | 10,1 | 1,07 | 5,54 | 11,17 | 9,6 | 80,7 | 13,8 | 4,76 | 370 | 279 | 352 |
| | 80 -100 | 4,6 | 3,61 | -0,99 | 0 | 22 | 0,21 | 0,1 | 8,13 | 10,7 | 0,37 | 8,50 | 11,07 | 3,3 | 95,7 | 3,2 | 1,09 | 214 | 213 | 574 |
| 20 | 0 -20 | 4,29 | 3,5 | -0,79 | 3,6 | 38 | 0,57 | 0,24 | 3,89 | 9,1 | 0,91 | 4,80 | 10,01 | 9,1 | 81,1 | 16,7 | 3,90 | 504 | 196 | 300 |
| | 80 -100 | 4,5 | 3,61 | -0,89 | 0 | 16 | 0,15 | 0,06 | 6,58 | 9,1 | 0,25 | 6,83 | 9,35 | 2,7 | 96,3 | 6,3 | 1,09 | 317 | 154 | 528 |
| 21 | 0 -20 | 4,29 | 3,62 | -0,67 | 5,5 | 40 | 0,89 | 0,24 | 2,24 | 6,6 | 1,23 | 3,47 | 7,83 | 15,7 | 64,5 | 28,8 | 3,03 | 723 | 130 | 148 |
| | 80 -100 | 4,65 | 3,78 | -0,87 | 1,6 | 18 | 0,11 | 0,04 | 3,19 | 5,1 | 0,20 | 3,39 | 5,30 | 3,7 | 94,2 | 14,6 | 0,86 | 673 | 140 | 187 |
| 22 | 0 -20 | 4,1 | 3,47 | -0,63 | 4,8 | 44 | 0,26 | 0,21 | 4,96 | 11,2 | 0,58 | 5,54 | 11,78 | 4,9 | 89,5 | 14,8 | 4,98 | 301 | 428 | 270 |
| | 80 -100 | 4,41 | 3,57 | -0,84 | 0,3 | 28 | 0,15 | 0,13 | 6,58 | 9,2 | 0,35 | 6,93 | 9,55 | 3,7 | 94,9 | 10,9 | 1,29 | 315 | 370 | 315 |
| 23 | 0 -20 | 4,39 | 3,52 | -0,87 | 2,8 | 32 | 0,56 | 0,26 | 7,29 | 12 | 0,90 | 8,19 | 12,90 | 7,0 | 89,0 | 9 | 3,24 | 326 | 269 | 404 |
| | 80 -100 | 4,56 | 3,52 | -1,04 | 0 | 28 | 0,11 | 0,14 | 11,71 | 15,3 | 0,32 | 12,03 | 15,62 | 2,1 | 97,3 | 6,5 | 1,09 | 278 | 188 | 534 |
| 24 | 0 -20 | 4,42 | 3,45 | -0,97 | 3,7 | 36 | 0,2 | 0,18 | 5,15 | 10,1 | 0,47 | 5,62 | 10,57 | 4,5 | 91,6 | 16,5 | 4,55 | 170 | 559 | 271 |
| | 80 -100 | 4,62 | 3,56 | -1,06 | 0,2 | 26 | 0,09 | 0,13 | 13,26 | 16,4 | 0,29 | 13,55 | 16,69 | 1,7 | 97,9 | 4,1 | 1,09 | 217 | 282 | 501 |

Tabela 02 - Continuação.

| Amostra | Prof. | pH $H_2O$ | pH KCl | ΔpH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTCe | CTC | V | m | P-Rem | CO | Areia | Silte | Argila |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | | | | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | -------%------- | | mg $L^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | --------g $kg^{-1}$-------- | | |
| ARGISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 0 -20 | 4,08 | 3,42 | -0,66 | 2 | 36 | 0,21 | 0,22 | 6,71 | 11,9 | 0,52 | 7,23 | 12,42 | 4,2 | 92,8 | 9,2 | 4,33 | 248 | 416 | 336 |
| | 80 -100 | 4,25 | 3,45 | -0,8 | 0,2 | 38 | 0,2 | 0,12 | 12,78 | 16,1 | 0,42 | 13,20 | 16,52 | 2,5 | 96,8 | 4,1 | 1,52 | 152 | 343 | 505 |
| 26 | 0 -20 | 4,31 | 3,52 | -0,79 | 1,5 | 32 | 0,45 | 0,13 | 3,21 | 7,7 | 0,66 | 3,87 | 8,36 | 7,9 | 82,9 | 19,6 | 3,47 | 613 | 132 | 254 |
| | 80 -100 | 4,27 | 3,6 | -0,67 | 0 | 16 | 0,12 | 0,04 | 4,65 | 7 | 0,20 | 4,85 | 7,20 | 2,8 | 95,9 | 13,5 | 0,86 | 407 | 172 | 421 |
| 27 | 0 -20 | 3,97 | 3,4 | -0,57 | 1,6 | 22 | 0,16 | 0,07 | 4,96 | 10,7 | 0,29 | 5,25 | 10,99 | 2,6 | 94,5 | 15,4 | 5,41 | 451 | 210 | 339 |
| | 80 -100 | 4,59 | 3,69 | -0,9 | 0 | 8 | 0,11 | 0,04 | 5,61 | 8,1 | 0,17 | 5,78 | 8,27 | 2,1 | 97,1 | 5,6 | 0,86 | 315 | 204 | 480 |
| 28 | 0 -20 | 4,04 | 3,41 | -0,63 | 1,9 | 22 | 0,13 | 0,05 | 4,47 | 10,6 | 0,24 | 4,71 | 10,84 | 2,2 | 95,0 | 18,8 | 6,07 | 425 | 305 | 270 |
| | 80 -100 | 4,47 | 3,69 | -0,78 | 0 | 8 | 0,16 | 0,05 | 4,45 | 7 | 0,23 | 4,68 | 7,23 | 3,2 | 95,1 | 9,9 | 1,29 | 365 | 256 | 380 |
| 29 | 0 -20 | 4,15 | 3,5 | -0,65 | 1,6 | 20 | 0,18 | 0,06 | 4,08 | 8,8 | 0,29 | 4,37 | 9,09 | 3,2 | 93,3 | 16,5 | 3,90 | 571 | 142 | 287 |
| | 80 -100 | 4,49 | 3,67 | -0,82 | 0 | 6 | 0,12 | 0,04 | 4,45 | 7,3 | 0,18 | 4,63 | 7,48 | 2,3 | 96,2 | 9,2 | 1,29 | 470 | 108 | 422 |
| 30 | 0 -20 | 4,08 | 3,24 | -0,84 | 6,6 | 18 | 0,21 | 0,05 | 1,36 | 5,6 | 0,31 | 1,67 | 5,91 | 5,2 | 81,6 | 47,4 | 3,03 | 844 | 81 | 76 |
| | 80 -100 | 4,6 | 3,89 | -0,71 | 7,1 | 10 | 0,19 | 0,05 | 1,45 | 4 | 0,27 | 1,72 | 4,27 | 6,2 | 84,5 | 30,2 | 1,09 | 744 | 134 | 122 |
| 31 | 0 -20 | 3,45 | 3,35 | -0,1 | 12,5 | 28 | 0,37 | 0,09 | 5,54 | 11,7 | 0,53 | 6,07 | 12,23 | 4,3 | 91,2 | 15,2 | 4,33 | 442 | 242 | 316 |
| | 80 -100 | 4,21 | 3,62 | -0,59 | 2,9 | 18 | 0,15 | 0,04 | 6,68 | 10 | 0,24 | 6,92 | 10,24 | 2,3 | 96,6 | 4,6 | 1,29 | 301 | 184 | 516 |
| 32 | 0 -20 | 3,66 | 3,65 | -0,01 | 5,3 | 58 | 0,22 | 0,31 | 3,68 | 11,4 | 0,68 | 4,36 | 12,08 | 5,6 | 84,4 | 13,1 | 3,67 | 560 | 200 | 239 |
| | 80 -100 | 4,38 | 3,74 | -0,64 | 0,3 | 36 | 0,12 | 0,1 | 4,55 | 7,6 | 0,31 | 4,86 | 7,91 | 3,9 | 93,6 | 8,3 | 1,52 | 471 | 229 | 299 |
| 33 | 0 -20 | 3,69 | 3,6 | -0,09 | 3,1 | 26 | 0,12 | 0,08 | 4,74 | 10,3 | 0,27 | 5,01 | 10,57 | 2,5 | 94,7 | 10,3 | 4,98 | 420 | 305 | 274 |
| | 80 -100 | 4,37 | 3,6 | -0,77 | 0,2 | 14 | 0,1 | 0,03 | 6,97 | 10,2 | 0,17 | 7,14 | 10,37 | 1,6 | 97,7 | 5,4 | 1,52 | 350 | 256 | 394 |
| 34 | 0 -20 | 3,64 | 3,66 | 0,02 | 1,1 | 52 | 0,09 | 0,17 | 4,45 | 11,1 | 0,39 | 4,84 | 11,49 | 3,4 | 91,9 | 8,6 | 6,28 | 193 | 493 | 314 |
| | 80 -100 | 4,3 | 3,62 | -0,68 | 0,3 | 48 | 0,14 | 0,09 | 9,87 | 14,2 | 0,35 | 10,22 | 14,55 | 2,4 | 96,5 | 3,2 | 1,29 | 85 | 379 | 536 |
| 35 | 0 -20 | 3,55 | 3,57 | 0,02 | 0,9 | 40 | 0,19 | 0,23 | 5,13 | 10 | 0,52 | 5,65 | 10,52 | 5,0 | 90,8 | 6,4 | 7,36 | 321 | 323 | 356 |
| | 80 -100 | 4,12 | 3,69 | -0,43 | 0,3 | 22 | 0,15 | 0,1 | 6,1 | 9,1 | 0,31 | 6,41 | 9,41 | 3,3 | 95,2 | 3,6 | 2,17 | 246 | 316 | 439 |
| 36 | 0 -20 | 3,7 | 3,59 | -0,11 | 1,1 | 40 | 0,23 | 0,16 | 4,55 | 9,7 | 0,49 | 5,04 | 10,19 | 4,8 | 90,2 | 9,9 | 5,19 | 118 | 585 | 297 |
| | 80 -100 | 4,47 | 3,63 | -0,84 | 0,2 | 42 | 0,14 | 0,07 | 9,97 | 13,7 | 0,32 | 10,29 | 14,02 | 2,3 | 96,9 | 3,1 | 1,52 | 66 | 317 | 617 |

Tabela 02 - Continuação.

| Amostra | Prof. | pH $H_2O$ | pH KCl | ΔpH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTCe | CTC | V | m | P-Rem | CO | Areia | Silte | Argila |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | | | | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | -------%------- | | mg $L^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | --------g $kg^{-1}$-------- | | |
| ARGISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | 0 -20 | 3,69 | 3,67 | -0,02 | 1,7 | 42 | 0,29 | 0,26 | 2,71 | 7,6 | 0,66 | 3,37 | 8,26 | 8,0 | 80,5 | 17,5 | 5,19 | 289 | 524 | 187 |
| | 80 -100 | 4,19 | 3,75 | -0,44 | 0,2 | 16 | 0,17 | 0,05 | 3,87 | 5,7 | 0,26 | 4,13 | 5,96 | 4,4 | 93,7 | 12,5 | 0,86 | 247 | 442 | 311 |
| Média | | 4,01 | 3,51 | -0,50 | 2,9 | 42 | 0,59 | 0,29 | 4,15 | 9,3 | 0,99 | 5,14 | 10,34 | 9,2 | 82,1 | 18,1 | 4,24 | 447 | 259 | 294 |
| Máximo | 0 -20 | 4,75 | 3,90 | 0,02 | 12,5 | 166 | 5,51 | 2,06 | 8,84 | 16,0 | 7,84 | 13,17 | 18,64 | 42,1 | 96,0 | 47,4 | 7,36 | 844 | 585 | 494 |
| Mínimo | | 3,45 | 3,20 | -0,97 | 0,1 | 18 | 0,09 | 0,05 | 0,97 | 4,7 | 0,24 | 1,67 | 5,91 | 2,2 | 23,8 | 6,4 | 2,17 | 118 | 69 | 76 |
| Média | | 4,39 | 3,66 | -0,73 | 0,5 | 23 | 0,22 | 0,12 | 7,20 | 10,0 | 0,40 | 7,60 | 10,37 | 3,7 | 94,5 | 8,8 | 1,19 | 353 | 207 | 440 |
| Máximo | 80 - 100 | 5,06 | 3,89 | 0,03 | 7,1 | 69 | 1,05 | 1,09 | 17,14 | 21,0 | 1,73 | 17,71 | 21,57 | 9,2 | 98,4 | 30,2 | 2,17 | 744 | 442 | 877 |
| Mínimo | | 3,83 | 3,45 | -1,53 | 0,0 | 3 | 0,05 | 0,02 | 1,45 | 4,0 | 0,09 | 1,72 | 4,19 | 1,2 | 84,5 | 1,8 | 0,43 | 30 | 72 | 122 |

Tabela 03 - Resultados das análises química e físicas das amostras de Gleissolos.

| Amostra | Prof. | pH $H_2O$ | pH KCl | ΔpH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTCe | CTC | V | m | P-Rem | CO | Areia | Silte | Argila |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | | | | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | -------%------- | | mg $L^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | --------g $kg^{-1}$-------- | | |
| GLEISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 38 | 0 -20 | 4,19 | 3,32 | -0,87 | 4,7 | 42 | 0,25 | 0,37 | 5,81 | 11,2 | 0,73 | 6,54 | 11,93 | 6,1 | 88,9 | 17,0 | 1,75 | 50 | 347 | 602 |
| | 80 -100 | 4,3 | 3,38 | -0,92 | 0,4 | 40 | 0,20 | 0,12 | 13,95 | 17,2 | 0,42 | 14,37 | 17,62 | 2,4 | 97,1 | 6,4 | 0,37 | 10 | 55 | 940 |
| 39 | 0 -20 | 5,13 | 4,19 | -0,94 | 15,6 | 48 | 15,93 | 2,46 | 0,10 | 2,4 | 18,51 | 18,61 | 20,91 | 88,5 | 0,5 | 41,0 | 0,51 | 290 | 529 | 183 |
| | 80 -100 | 5,15 | 3,59 | -1,56 | 10,9 | 52 | 24,50 | 7,08 | 2,23 | 6,2 | 31,71 | 33,94 | 37,91 | 83,6 | 6,6 | 18,7 | 0,58 | 20 | 360 | 624 |
| 40 | 0 -20 | 4,67 | 3,72 | -0,95 | 6,0 | 86 | 27,55 | 5,74 | 0,87 | 6,3 | 33,51 | 34,38 | 39,81 | 84,2 | 2,5 | 21,1 | 1,39 | 20 | 399 | 577 |
| | 80 -100 | 5,26 | 3,99 | -1,27 | 9,7 | 34 | 9,63 | 2,32 | 0,58 | 2,1 | 12,04 | 12,62 | 14,14 | 85,1 | 4,6 | 32,2 | 0,29 | 500 | 319 | 182 |
| 41 | 0 -20 | 4,25 | 3,29 | -0,96 | 8,6 | 62 | 16,22 | 2,76 | 4,18 | 9,3 | 19,14 | 23,32 | 28,44 | 67,3 | 17,9 | 13,1 | 1,09 | 90 | 560 | 355 |
| | 80 -100 | 4,69 | 3,53 | -1,16 | 7,1 | 54 | 12,42 | 2,84 | 2,81 | 5,4 | 15,40 | 18,21 | 20,80 | 74,0 | 15,4 | 17,5 | 0,37 | 220 | 512 | 272 |
| 42 | 0 -20 | 3,54 | 3,67 | 0,13 | 9,0 | 24 | 0,12 | 0,08 | 3,97 | 10,8 | 0,26 | 4,23 | 11,06 | 2,4 | 93,8 | 10,2 | 1,89 | 550 | 135 | 311 |
| | 80 -100 | 4,24 | 3,94 | -0,30 | 0,4 | 8 | 0,12 | 0,04 | 2,81 | 5,7 | 0,18 | 2,99 | 5,88 | 3,1 | 94,0 | 6,0 | 0,66 | 540 | 108 | 355 |
| 43 | 0 -20 | 3,54 | 3,67 | 0,13 | 2,0 | 24 | 0,12 | 0,08 | 3,97 | 10,8 | 0,26 | 4,23 | 11,06 | 2,4 | 93,8 | 10,2 | 1,89 | 550 | 135 | 311 |
| | 80 -100 | 4,24 | 3,94 | -0,30 | 0,5 | 8 | 0,12 | 0,04 | 2,81 | 5,7 | 0,18 | 2,99 | 5,88 | 3,1 | 94,0 | 6,0 | 0,66 | 540 | 108 | 355 |
| Média | | 4,22 | 3,64 | -0,58 | 7,6 | 48 | 10,03 | 1,92 | 3,15 | 8,5 | 12,07 | 15,22 | 20,54 | 41,8 | 49,6 | 18,8 | 1,42 | 258 | 351 | 390 |
| Máximo | 0 -20 | 5,13 | 4,19 | 0,13 | 15,6 | 86 | 27,55 | 5,74 | 5,81 | 11,2 | 33,51 | 34,38 | 39,81 | 88,5 | 93,8 | 41,0 | 1,89 | 550 | 560 | 602 |
| Mínimo | | 3,54 | 3,29 | -0,96 | 2,0 | 24 | 0,12 | 0,08 | 0,10 | 2,4 | 0,26 | 4,23 | 11,06 | 2,4 | 0,5 | 10,2 | 0,51 | 20 | 135 | 183 |
| Média | | 4,65 | 3,73 | -0,92 | 4,8 | 33 | 7,83 | 2,07 | 4,20 | 7,1 | 9,99 | 14,19 | 17,04 | 41,9 | 51,9 | 14,5 | 0,49 | 305 | 244 | 455 |
| Máximo | 80 - 100 | 5,26 | 3,99 | -0,30 | 10,9 | 54 | 24,50 | 7,08 | 13,95 | 17,2 | 31,71 | 33,94 | 37,91 | 85,1 | 97,1 | 32,2 | 0,66 | 540 | 512 | 940 |
| Mínimo | | 4,24 | 3,38 | -1,56 | 0,4 | 8 | 0,12 | 0,04 | 0,58 | 2,1 | 0,18 | 2,99 | 5,88 | 2,4 | 4,6 | 6,0 | 0,29 | 10 | 55 | 182 |

Tabela 04 - Resultados das análises química e físicas das amostras de Luvissolos.

| Amostra | Prof. | pH $H_2O$ | pH KCl | ΔpH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTCe | CTC | V | m | P-Rem | CO | Areia | Silte | Argila |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | | | | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | -------%------- | | mg $L^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | --------g $kg^{-1}$-------- | | |
| LUVISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 44 | 0 -20 | 3,95 | 3,44 | -0,51 | 5,6 | 49,0 | 0,27 | 0,16 | 4,6 | 10,8 | 0,56 | 5,11 | 11,36 | 4,9 | 89,1 | 17,2 | 1,82 | 492 | 236 | 271 |
| | 80 -100 | 4,16 | 3,54 | -0,62 | 0,2 | 31,0 | 0,20 | 0,05 | 9,7 | 13,2 | 0,33 | 10,01 | 13,53 | 2,4 | 96,7 | 6,4 | 0,29 | 351 | 137 | 511 |
| 45 | 0 -20 | 6,24 | 5,65 | -0,59 | 4,8 | 142,0 | 21,38 | 4,24 | 0,0 | 2,4 | 25,98 | 25,98 | 28,38 | 91,5 | 0,0 | 28,8 | 1,82 | 627 | 267 | 106 |
| | 80 -100 | 4,83 | 3,34 | -1,49 | 2,0 | 99,0 | 19,05 | 5,07 | 12,9 | 16,1 | 24,37 | 37,25 | 40,47 | 60,2 | 34,6 | 10,1 | 0,51 | 58 | 332 | 610 |
| 46 | 0 -20 | 5,74 | 4,97 | -0,77 | 3,4 | 89,0 | 22,00 | 3,26 | 0,0 | 5,3 | 25,49 | 25,49 | 30,79 | 82,8 | 0,0 | 29,5 | 2,91 | 103 | 389 | 507 |
| | 80 -100 | 6,99 | 6,25 | -0,74 | 38,2 | 41,0 | 28,26 | 2,16 | 0,0 | 0,3 | 30,52 | 30,52 | 30,82 | 99,0 | 0,0 | 25,9 | 0,15 | 232 | 302 | 467 |
| 47 | 0 -20 | 5,24 | 4,55 | -0,69 | 4,8 | 107,0 | 14,60 | 4,86 | 0,2 | 4,5 | 19,73 | 19,92 | 24,23 | 81,4 | 1,0 | 32,4 | 0,24 | 174 | 373 | 452 |
| | 80 -100 | 4,84 | 3,36 | -1,48 | 1,5 | 170,0 | 7,69 | 4,55 | 18,7 | 23,3 | 12,67 | 31,36 | 35,97 | 35,2 | 59,6 | 5,3 | 0,29 | 221 | 165 | 615 |
| 48 | 0 -20 | 4,74 | 3,45 | -1,29 | 3,6 | 30,0 | 3,66 | 0,51 | 3,0 | 6,9 | 4,25 | 7,26 | 11,15 | 38,1 | 41,5 | 25,9 | 1,24 | 368 | 354 | 278 |
| | 80 -100 | 4,87 | 3,54 | -1,33 | 0,2 | 24,0 | 0,37 | 0,14 | 14,9 | 18,6 | 0,57 | 15,48 | 19,17 | 3,0 | 96,3 | 2,8 | 0,29 | 152 | 306 | 542 |
| 49 | 0 -20 | 3,91 | 3,49 | -0,42 | 3,5 | 42,0 | 0,22 | 0,16 | 3,2 | 7,9 | 0,49 | 3,70 | 8,39 | 5,8 | 86,8 | 23,7 | 1,17 | 437 | 308 | 254 |
| | 80 -100 | 4,44 | 3,60 | -0,84 | 0,2 | 22,0 | 0,14 | 0,08 | 8,1 | 9,7 | 0,28 | 8,41 | 9,98 | 2,8 | 96,7 | 7,0 | 0,44 | 353 | 179 | 468 |
| 50 | 0 -20 | 4,24 | 3,52 | -0,72 | 2,4 | 40,0 | 1,60 | 0,29 | 3,3 | 7,4 | 1,99 | 5,29 | 9,39 | 21,2 | 62,4 | 24,6 | 1,09 | 219 | 497 | 285 |
| | 80 -100 | 4,38 | 3,49 | -0,89 | 0,3 | 38,0 | 0,25 | 0,18 | 13,8 | 17,8 | 0,53 | 14,28 | 18,33 | 2,9 | 96,3 | 2,4 | 0,51 | 141 | 258 | 602 |
| 51 | 0 -20 | 3,94 | 3,36 | -0,58 | 5,0 | 48,0 | 0,35 | 0,25 | 9,6 | 17,0 | 0,72 | 10,34 | 17,72 | 4,1 | 93,0 | 6,6 | 2,33 | 112 | 391 | 497 |
| | 80 -100 | 4,25 | 3,60 | -0,65 | 0,4 | 32,0 | 0,08 | 0,05 | 9,9 | 13,0 | 0,21 | 10,08 | 13,21 | 1,6 | 97,9 | 4,4 | 0,44 | 224 | 338 | 438 |
| Média | | 4,75 | 4,05 | -0,70 | 4,1 | 68,4 | 8,01 | 1,72 | 3,0 | 7,8 | 9,90 | 12,89 | 17,68 | 41,2 | 46,7 | 23,6 | 1,85 | 317 | 352 | 331 |
| Máximo | 0 -20 | 6,24 | 5,65 | -0,42 | 5,6 | 142,0 | 22,00 | 4,86 | 9,6 | 17,0 | 25,98 | 25,98 | 30,79 | 91,5 | 93,0 | 32,4 | 2,91 | 627 | 497 | 507 |
| Mínimo | | 3,91 | 3,36 | -1,29 | 2,4 | 30,0 | 0,22 | 0,16 | 0,0 | 2,4 | 0,49 | 3,70 | 8,39 | 4,1 | 0,0 | 6,6 | 1,09 | 103 | 236 | 106 |
| Média | | 4,85 | 3,84 | -1,01 | 5,4 | 57,1 | 7,01 | 1,54 | 11,0 | 14,0 | 8,69 | 19,67 | 22,69 | 25,9 | 72,3 | 8,0 | 0,36 | 217 | 252 | 532 |
| Máximo | 80 - 100 | 6,99 | 6,25 | -0,62 | 38,2 | 170,0 | 28,26 | 5,07 | 18,7 | 23,3 | 30,52 | 37,25 | 40,47 | 99,0 | 97,9 | 25,9 | 0,51 | 353 | 338 | 615 |
| Mínimo | | 4,16 | 3,34 | -1,49 | 0,2 | 22,0 | 0,08 | 0,05 | 0,0 | 0,3 | 0,21 | 8,41 | 9,98 | 1,6 | 0,0 | 2,4 | 0,15 | 58 | 137 | 438 |

Tabela 05 - Resultados das análises química e físicas das amostras de Neossolos.

| Amostra | Prof. | pH $H_2O$ | pH KCl | ΔpH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTCe | CTC | V | m | P-Rem | CO | Areia | Silte | Argila |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | | | | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | -------%------- | | mg $L^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | --------g $kg^{-1}$-------- | | |
| NEOSSOLOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 52 | 0 -20 | 4,27 | 3,53 | -0,74 | 7,6 | 42,00 | 1,21 | 0,41 | 4,9 | 8,7 | 1,73 | 6,67 | 10,43 | 16,6 | 74,1 | 17,1 | 1,46 | 301 | 358 | 341 |
| | 80 -100 | 5,29 | 4,07 | -1,22 | 12,5 | 43,00 | 18,85 | 4,47 | 0,3 | 2,9 | 23,43 | 23,72 | 26,33 | 89,0 | 1,2 | 29,5 | 0,36 | 134 | 533 | 333 |
| 53 | 0 -20 | 4,42 | 3,81 | -0,61 | 3,4 | 26,00 | 0,36 | 0,12 | 1,9 | 6,3 | 0,55 | 2,40 | 6,85 | 8,0 | 77,2 | 26,3 | 1,23 | 451 | 404 | 146 |
| | 80 -100 | 4,50 | 3,69 | -0,81 | 0,1 | 28,00 | 0,11 | 0,05 | 4,8 | 6,4 | 0,23 | 5,07 | 6,63 | 3,5 | 95,4 | 21,7 | 1,45 | 501 | 267 | 232 |
| 54 | 0 -20 | 3,92 | 3,49 | -0,43 | 4,7 | 50,00 | 0,46 | 0,35 | 4,0 | 7,1 | 0,94 | 4,92 | 8,04 | 11,7 | 80,9 | 22,3 | 1,23 | 132 | 583 | 285 |
| | 80 -100 | 5,04 | 3,30 | -1,74 | 0,1 | 38,00 | 0,15 | 0,43 | 8,7 | 10,7 | 0,68 | 9,39 | 11,38 | 6,0 | 92,8 | 18,1 | 0,29 | 292 | 207 | 501 |
| 55 | 0 -20 | 4,94 | 4,19 | -0,75 | 26,6 | 78,00 | 18,21 | 2,83 | 0,0 | 3,5 | 21,24 | 21,24 | 24,74 | 85,9 | 0,0 | 31,6 | 0,94 | 295 | 448 | 257 |
| | 80 -100 | 5,00 | 3,95 | -1,05 | 21,3 | 32,00 | 11,69 | 2,12 | 0,4 | 2,7 | 13,89 | 14,28 | 16,59 | 83,7 | 2,7 | 36,6 | 0,36 | 622 | 212 | 167 |
| 56 | 0 -20 | 5,24 | 4,58 | -0,66 | 17,0 | 50,00 | 11,59 | 2,02 | 0,0 | 1,8 | 13,74 | 13,74 | 15,54 | 88,4 | 0,0 | 38,2 | 0,36 | 556 | 303 | 141 |
| | 80 -100 | 4,59 | 3,50 | -1,09 | 11,2 | 34,00 | 5,86 | 1,20 | 1,6 | 3,2 | 7,15 | 8,70 | 10,35 | 69,1 | 17,8 | 30,2 | 0,36 | 710 | 184 | 106 |
| Média | | 4,56 | 3,92 | -0,64 | 11,9 | 49,20 | 6,4 | 1,15 | 2,2 | 5,5 | 7,64 | 9,79 | 13,12 | 42,1 | 46,4 | 27,1 | 1,05 | 347 | 419 | 234 |
| Máximo | 0 -20 | 5,24 | 4,58 | -0,43 | 26,6 | 78,00 | 18,2 | 2,83 | 4,9 | 8,7 | 21,24 | 21,24 | 24,74 | 88,4 | 80,9 | 38,2 | 1,46 | 556 | 583 | 341 |
| Mínimo | | 3,92 | 3,49 | -0,75 | 3,4 | 26,00 | 0,4 | 0,12 | 0,0 | 1,8 | 0,55 | 2,40 | 6,85 | 8,0 | 0,0 | 17,1 | 0,37 | 132 | 303 | 141 |
| Média | | 4,88 | 3,70 | -1,18 | 9,0 | 35,00 | 7,3 | 1,65 | 3,2 | 5,2 | 9,08 | 12,23 | 14,26 | 50,2 | 42,0 | 27,2 | 0,31 | 452 | 281 | 268 |
| Máximo | 80 - 100 | 5,29 | 4,07 | -0,81 | 21,3 | 43,00 | 18,9 | 4,47 | 8,7 | 10,7 | 23,43 | 23,72 | 26,33 | 89,0 | 95,4 | 36,6 | 0,37 | 710 | 533 | 501 |
| Mínimo | | 4,50 | 3,30 | -1,74 | 0,1 | 28,00 | 0,1 | 0,05 | 0,3 | 2,7 | 0,23 | 5,07 | 6,63 | 3,5 | 1,2 | 18,1 | 0,15 | 134 | 184 | 106 |

Tabela 06 - Resultados das análises química e físicas das amostras de Espodossolos.

| Amostra | Prof. | pH $H_2O$ | pH KCl | ΔpH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTCe | CTC | V | m | P-Rem | CO | Areia | Silte | Argila |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | | | | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | -------%------- | | mg $L^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | --------g $kg^{-1}$-------- | | |
| ESPODOSSOLOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 57 | 0 -20 | 4,05 | 2,94 | -1,11 | 4,7 | 16 | 0,25 | 0,04 | 0,48 | 2,7 | 0,33 | 0,81 | 3,03 | 10,9 | 59,2 | 54,8 | 0,73 | 590 | 354 | 56 |
| | 80 -100 | 4,56 | 3,41 | -1,15 | 0,8 | 3 | 0,19 | 0,01 | 0,19 | 0,8 | 0,21 | 0,40 | 1,01 | 20,6 | 47,8 | 53,5 | 0,15 | 752 | 205 | 43 |
| 58 | 0 -20 | 3,92 | 3,57 | -0,35 | 1,8 | 44 | 0,26 | 0,08 | 1,16 | 3,5 | 0,45 | 1,61 | 3,95 | 11,4 | 71,9 | 39,9 | 0,58 | 559 | 292 | 149 |
| | 80 -100 | 4,35 | 3,85 | -0,5 | 0,4 | 15 | 0,2 | 0,04 | 2,52 | 3,7 | 0,28 | 2,80 | 3,98 | 7,0 | 90,1 | 27,2 | 0,22 | 593 | 225 | 182 |
| 59 | 0 -20 | 3,82 | 2,61 | -1,21 | 4,8 | 14 | 0,35 | 0,05 | 0,78 | 6,1 | 0,44 | 1,22 | 6,54 | 6,7 | 64,2 | 59,5 | 1,02 | 781 | 187 | 32 |
| | 80 -100 | 4,87 | 3,56 | -1,31 | 0,3 | 2 | 0,26 | 0,03 | 0 | 0,5 | 0,30 | 0,30 | 0,80 | 37,1 | 0,0 | 54,8 | 0,15 | 741 | 190 | 69 |
| 60 | 0 -20 | 4,81 | 3,4 | -1,41 | 7,1 | 26 | 0,77 | 0,09 | 0,49 | 3,5 | 0,93 | 1,42 | 4,43 | 20,9 | 34,6 | 62,5 | 1,17 | 764 | 178 | 58 |
| | 80 -100 | 4,56 | 3,98 | -0,58 | 4,5 | 6 | 0,25 | 0,04 | 1,55 | 5,9 | 0,31 | 1,86 | 6,21 | 4,9 | 83,5 | 29,4 | 0,51 | 736 | 169 | 95 |
| 61 | 0 -20 | 4,58 | 3,67 | -0,91 | 2,8 | 16 | 0,34 | 0,06 | 1,46 | 5,9 | 0,44 | 1,90 | 6,34 | 7,0 | 76,8 | 32,5 | 1,46 | 545 | 337 | 118 |
| | 80 -100 | 4,8 | 4,39 | -0,41 | 0,6 | 2 | 0,25 | 0,05 | 0,58 | 3,2 | 0,31 | 0,89 | 3,51 | 8,7 | 65,5 | 23,4 | 0,66 | 503 | 401 | 95 |
| Média | | 4,24 | 3,24 | -1,00 | 4,24 | 23,20 | 0,39 | 0,06 | 0,87 | 4,34 | 0,52 | 1,39 | 4,86 | 11,38 | 61,34 | 49,84 | 0,99 | 648 | 270 | 83 |
| Máximo | 0 -20 | 4,81 | 3,67 | -0,35 | 7,10 | 44,00 | 0,77 | 0,09 | 1,46 | 6,10 | 0,93 | 1,90 | 6,54 | 20,93 | 76,80 | 62,50 | 1,46 | 781 | 354 | 559 |
| Mínimo | | 3,82 | 2,61 | -1,41 | 1,80 | 14,00 | 0,25 | 0,04 | 0,48 | 2,70 | 0,33 | 0,81 | 3,03 | 6,67 | 34,59 | 32,50 | 0,58 | 87 | 178 | 32 |
| Média | | 4,63 | 3,84 | -0,79 | 1,32 | 5,60 | 0,23 | 0,03 | 0,97 | 2,82 | 0,28 | 1,25 | 3,10 | 15,67 | 57,38 | 37,66 | 0,34 | 665 | 238 | 97 |
| Máximo | 80 - 100 | 4,87 | 4,39 | -0,41 | 4,50 | 15,00 | 0,26 | 0,05 | 2,52 | 5,90 | 0,31 | 2,80 | 6,21 | 37,12 | 90,05 | 54,80 | 0,66 | 752 | 401 | 182 |
| Mínimo | | 4,35 | 3,41 | -1,31 | 0,30 | 2,00 | 0,19 | 0,01 | 0,00 | 0,50 | 0,21 | 0,30 | 0,80 | 4,92 | 0,00 | 23,40 | 0,15 | 503 | 169 | 43 |

Tabela 07 - Resultados das análises química e físicas das amostras de Cambissolos.

| Amostra | Prof. | pH $H_2O$ | pH KCl | ΔpH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTCe | CTC | V | m | P-Rem | CO | Areia | Silte | Argila |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | | | | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | -------%------- | | mg $L^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | --------g $kg^{-1}$-------- | | |
| CAMBISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 62 | 0 -20 | 3,73 | 3,57 | -0,16 | 1,6 | 38,0 | 0,37 | 0,22 | 3,97 | 7,2 | 0,69 | 4,66 | 7,89 | 8,7 | 85,2 | 23,3 | 0,95 | 604 | 212 | 183 |
| | 80 -100 | 4,22 | 3,64 | -0,58 | 0,3 | 24,0 | 0,21 | 0,06 | 6,78 | 9,0 | 0,33 | 7,11 | 9,33 | 3,6 | 95,3 | 8,4 | 0,29 | 512 | 160 | 327 |
| 63 | 0 -20 | 4,09 | 3,42 | -0,67 | 4,7 | 36 | 0,16 | 0,11 | 6,71 | 12,5 | 0,36 | 7,07 | 12,86 | 2,8 | 94,9 | 9,7 | 1,82 | 273 | 454 | 273 |
| | 80 -100 | 4,50 | 3,58 | -0,92 | 1,4 | 30 | 0,07 | 0,03 | 9,20 | 10,5 | 0,18 | 9,38 | 10,68 | 1,7 | 98,1 | 7,8 | 0,37 | 325 | 380 | 294 |
| 64 | 0 -20 | 3,94 | 3,70 | -0,24 | 0,7 | 32 | 0,10 | 0,07 | 2,81 | 6,8 | 0,25 | 3,06 | 7,05 | 3,6 | 91,8 | 22,1 | 1,24 | 208 | 629 | 163 |
| | 80 -100 | 4,39 | 3,62 | -0,77 | 0,3 | 32 | 0,11 | 0,02 | 7,84 | 10,7 | 0,21 | 8,05 | 10,91 | 1,9 | 97,4 | 6,5 | 0,22 | 229 | 334 | 437 |
| Média | | 3,92 | 3,56 | -0,36 | 2,3 | 35,3 | 0,21 | 0,13 | 4,50 | 8,8 | 0,43 | 4,93 | 9,27 | 5,0 | 90,6 | 18,4 | 1,33 | 362 | 432 | 206 |
| Máximo | 0 -20 | 4,09 | 3,70 | -0,16 | 4,7 | 38,0 | 0,37 | 0,22 | 6,71 | 12,5 | 0,69 | 7,07 | 12,86 | 8,7 | 94,9 | 23,3 | 1,82 | 604 | 629 | 273 |
| Mínimo | | 3,73 | 3,42 | -0,67 | 0,7 | 32,0 | 0,10 | 0,07 | 2,81 | 6,8 | 0,25 | 3,06 | 7,05 | 2,8 | 85,2 | 9,7 | 0,95 | 208 | 212 | 163 |
| Média | | 3,28 | 2,71 | -0,57 | 0,5 | 21,5 | 0,10 | 0,03 | 5,96 | 7,6 | 0,18 | 6,13 | 7,73 | 1,8 | 72,7 | 5,7 | 0,22 | 267 | 219 | 265 |
| Máximo | 80 - 100 | 4,50 | 3,64 | -0,58 | 1,4 | 32,0 | 0,21 | 0,06 | 9,20 | 10,7 | 0,33 | 9,38 | 10,91 | 3,6 | 98,1 | 8,4 | 0,37 | 512 | 380 | 437 |
| Mínimo | | 4,22 | 3,58 | -0,92 | 0,3 | 24,0 | 0,07 | 0,02 | 6,78 | 9,0 | 0,18 | 7,11 | 9,33 | 1,7 | 95,3 | 6,5 | 0,22 | 229 | 160 | 294 |

Tabela 08 - Resultados das análises química e físicas das amostras Plintossolos.

| Amostra | Prof. | pH $H_2O$ | pH KCl | ΔpH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTCe | CTC | V | m | P-Rem | CO | Areia | Silte | Argila |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | | | | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | -------%------- | | mg $L^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | --------g $kg^{-1}$-------- | | |
| PLINTOSSOLOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 65 | 0 -20 | 4,08 | 2,57 | -1,51 | 3,9 | 25,0 | 0,65 | 0,11 | 9,88 | 18,9 | 0,82 | 10,70 | 19,72 | 4,2 | 92,3 | 2,0 | 2,70 | 10 | 123 | 867 |
| | 80 -100 | 4,52 | 3,54 | -0,98 | 0,1 | 31,0 | 0,19 | 0,06 | 10,94 | 13,6 | 0,33 | 11,27 | 13,93 | 2,4 | 97,1 | 4,7 | 0,29 | 35 | 171 | 795 |
| 66 | 0 -20 | 3,95 | 3,47 | -0,48 | 4,0 | 36,0 | 0,79 | 0,19 | 6,68 | 11,7 | 1,07 | 7,75 | 12,77 | 8,4 | 86,2 | 12,0 | 1,24 | 523 | 149 | 329 |
| | 80 -100 | 4,4 | 3,59 | -0,81 | 0,7 | 28,0 | 0,21 | 0,04 | 9,20 | 12,0 | 0,32 | 9,52 | 12,32 | 2,6 | 96,6 | 6,5 | 0,15 | 445 | 113 | 442 |
| 67 | 0 -20 | 4,34 | 3,53 | -0,81 | 9,9 | 52 | 0,28 | 0,10 | 2,04 | 7,5 | 0,51 | 2,55 | 8,01 | 6,4 | 79,9 | 27,5 | 1,46 | 636 | 227 | 138 |
| | 80 -100 | 4,41 | 3,63 | -0,78 | 0,9 | 46 | 0,18 | 0,05 | 3,97 | 5,6 | 0,35 | 4,32 | 5,95 | 5,8 | 91,9 | 19,9 | 0,15 | 594 | 169 | 237 |
| 68 | 0 -20 | 3,61 | 3,55 | -0,06 | 2,2 | 50 | 0,29 | 0,25 | 6,87 | 14,3 | 0,67 | 7,54 | 14,97 | 4,5 | 91,1 | 6,0 | 2,77 | 164 | 374 | 462 |
| | 80 -100 | 4,41 | 3,54 | -0,87 | 0,2 | 50 | 0,11 | 0,04 | 14,13 | 17,2 | 0,28 | 14,41 | 17,48 | 1,6 | 98,1 | 2,2 | 0,37 | 70 | 225 | 706 |
| Média | | 4,00 | 3,28 | -0,72 | 5,0 | 40,8 | 0,50 | 0,16 | 6,37 | 13,1 | 0,77 | 7,14 | 13,87 | 5,9 | 87,4 | 11,88 | 2,04 | 333 | 218 | 449 |
| Máximo | 0 -20 | 4,34 | 3,55 | -0,06 | 9,9 | 52,0 | 0,79 | 0,25 | 9,88 | 18,9 | 1,07 | 10,70 | 19,72 | 8,4 | 92,3 | 27,50 | 2,77 | 636 | 374 | 867 |
| Mínimo | | 3,61 | 2,57 | -1,51 | 2,2 | 25,0 | 0,28 | 0,10 | 2,04 | 7,5 | 0,51 | 2,55 | 8,01 | 4,2 | 79,9 | 2,00 | 1,24 | 10 | 123 | 138 |
| Média | | 4,44 | 3,58 | -0,86 | 0,5 | 38,8 | 0,17 | 0,05 | 9,56 | 12,1 | 0,32 | 9,88 | 12,42 | 3,1 | 95,9 | 8,33 | 2,4 | 286 | 170 | 545 |
| Máximo | 80 - 100 | 4,52 | 3,63 | -0,78 | 0,9 | 50,0 | 0,21 | 0,06 | 14,13 | 17,2 | 0,35 | 14,41 | 17,48 | 5,8 | 98,1 | 19,90 | 3,7 | 594 | 225 | 795 |
| Mínimo | | 4,40 | 3,54 | -0,98 | 0,1 | 28,0 | 0,11 | 0,04 | 3,97 | 5,6 | 0,28 | 4,32 | 5,95 | 1,6 | 91,9 | 2,20 | 1,5 | 35 | 113 | 237 |

Tabela 09 - Resultados das análises química e físicas das amostras Vertissolos.

| Amostra | Prof. | pH $H_2O$ | pH KCl | ΔpH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTCe | CTC | V | m | P-Rem | CO | Areia | Silte | Argila |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | | | | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | -------%------- | | mg $L^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | --------g $kg^{-1}$-------- | | |
| VERTISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 69 | 0 -20 | 5,51 | 4,82 | -0,69 | 9,7 | 108,0 | 15,31 | 2,18 | 0,00 | 2,9 | 17,77 | 17,77 | 20,67 | 86,0 | 0,0 | 34,6 | 1,82 | 150 | 393 | 457 |
| | 80 -100 | 5,02 | 3,50 | -1,52 | 36,7 | 108,0 | 20,85 | 4,42 | 7,46 | 10,3 | 25,55 | 33,01 | 35,85 | 71,3 | 22,6 | 9,9 | 0,15 | 117 | 356 | 526 |
| 70 | 0 -20 | 5,79 | 4,93 | -0,86 | 2,6 | 112,0 | 17,03 | 2,22 | 0,01 | 3,0 | 19,54 | 19,55 | 22,56 | 86,6 | 0,1 | 36,2 | 1,24 | 200 | 380 | 420 |
| | 80 -100 | 5,10 | 3,70 | -1,40 | 0,5 | 108,0 | 22,08 | 4,76 | 7,89 | 10,7 | 27,12 | 35,01 | 37,82 | 71,7 | 22,5 | 9,7 | 0,29 | 120 | 340 | 540 |
| Média | | 5,65 | 4,88 | -0,78 | 6,2 | 110,0 | 16,17 | 2,20 | 0,01 | 3,0 | 18,7 | 18,66 | 21,61 | 86,3 | 0,0 | 35,4 | 1,53 | 175 | 387 | 439 |
| Máximo | 0 -20 | 5,79 | 4,93 | -0,69 | 9,7 | 112,0 | 17,03 | 2,22 | 0,01 | 3,0 | 19,5 | 19,55 | 22,56 | 86,6 | 0,1 | 36,2 | 1,82 | 200 | 393 | 457 |
| Mínimo | | 5,51 | 4,82 | -0,86 | 2,6 | 108,0 | 15,31 | 2,18 | 0,00 | 2,9 | 17,8 | 17,77 | 20,67 | 86,0 | 0,0 | 34,6 | 1,24 | 150 | 380 | 420 |
| Média | | 5,06 | 3,60 | -1,46 | 18,6 | 108,0 | 21,47 | 4,59 | 7,68 | 10,5 | 26,3 | 34,01 | 36,83 | 71,5 | 22,6 | 9,8 | 0,22 | 119 | 348 | 533 |
| Máximo | 80 - 100 | 5,10 | 3,70 | -1,40 | 36,7 | 108,0 | 22,08 | 4,76 | 7,89 | 10,7 | 27,1 | 35,01 | 37,82 | 71,7 | 22,6 | 9,9 | 0,29 | 120 | 356 | 540 |
| Mínimo | | 5,02 | 3,50 | -1,52 | 0,5 | 108,0 | 20,85 | 4,42 | 7,46 | 10,3 | 25,5 | 33,01 | 35,85 | 71,3 | 22,5 | 9,7 | 0,15 | 117 | 340 | 526 |

Tabela 10 - Resultados das análises química e físicas das amostras Latossolos.

| Amostra | Prof. | pH $H_2O$ | pH KCl | ΔpH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTCe | CTC | V | m | P-Rem | CO | Areia | Silte | Argila |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | | | | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | -------%------- | | mg $L^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | --------g $kg^{-1}$-------- | | |
| LATOSSOLOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 71 | 0 -20 | 3,86 | 3,45 | -0,41 | 2,4 | 23,00 | 0,19 | 0,05 | 3,49 | 7,5 | 0,30 | 3,79 | 7,80 | 3,8 | 92,1 | 22,5 | 1,09 | 712 | 110 | 177 |
| | 80 -100 | 4,04 | 3,66 | -0,38 | 0,2 | 12,00 | 0,20 | 0,02 | 4,07 | 6,1 | 0,25 | 4,32 | 6,35 | 3,9 | 94,2 | 17,1 | 0,29 | 675 | 101 | 224 |
| 72 | 0 -20 | 4,14 | 3,52 | -0,62 | 2,6 | 24,00 | 0,24 | 0,07 | 4,26 | 9,8 | 0,37 | 4,63 | 10,17 | 3,7 | 92,0 | 14,2 | 1,24 | 569 | 139 | 292 |
| | 80 -100 | 4,54 | 3,72 | -0,82 | 0,5 | 6,00 | 0,28 | 0,04 | 4,46 | 6,4 | 0,34 | 4,80 | 6,74 | 5,0 | 93,0 | 8,2 | 0,29 | 467 | 170 | 362 |
| 73 | 0 -20 | 3,67 | 3,44 | -0,23 | 2,4 | 23,00 | 0,21 | 0,07 | 2,71 | 7,5 | 0,34 | 3,05 | 7,84 | 4,3 | 88,9 | 27,6 | 1,09 | 733 | 27 | 240 |
| | 80 -100 | 4,14 | 3,79 | -0,35 | 0,2 | 4,00 | 0,17 | 0,01 | 2,52 | 4,3 | 0,19 | 2,71 | 4,49 | 4,2 | 93,0 | 17,2 | 0,15 | 585 | 72 | 343 |
| Média | | 3,89 | 3,47 | -0,42 | 2,47 | 23,33 | 0,21 | 0,06 | 3,49 | 8,27 | 0,34 | 3,82 | 8,60 | 3,94 | 90,99 | 21,43 | 1,14 | 671 | 92 | 236 |
| Máximo | 0 -20 | 4,14 | 3,52 | -0,23 | 2,60 | 24,00 | 0,24 | 0,07 | 4,26 | 9,80 | 0,37 | 4,63 | 10,17 | 4,32 | 92,11 | 27,60 | 1,24 | 733 | 139 | 292 |
| Mínimo | | 3,67 | 3,44 | -0,62 | 2,40 | 23,00 | 0,19 | 0,05 | 2,71 | 7,50 | 0,30 | 3,05 | 7,80 | 3,65 | 88,89 | 14,20 | 1,09 | 569 | 27 | 177 |
| Média | | 4,24 | 3,72 | -0,52 | 0,30 | 7,33 | 0,22 | 0,02 | 3,68 | 5,60 | 0,26 | 3,94 | 5,86 | 4,39 | 93,40 | 14,17 | 0,24 | 576 | 114 | 310 |
| Máximo | 80 - 100 | 4,54 | 3,79 | -0,35 | 0,50 | 12,00 | 0,28 | 0,04 | 4,46 | 6,40 | 0,34 | 4,80 | 6,74 | 4,98 | 94,20 | 17,20 | 0,29 | 675 | 170 | 362 |
| Mínimo | | 4,04 | 3,66 | -0,82 | 0,20 | 4,00 | 0,17 | 0,01 | 2,52 | 4,30 | 0,19 | 2,71 | 4,49 | 3,95 | 92,98 | 8,20 | 0,15 | 467 | 72 | 224 |

A soma de bases (SB) expressa melhor os resultados para os elementos $K^+$, $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$, que estão relacionados à fertilidade dos solos. As maiores médias para a SB foram obtidas, em superfície, nas classes Vertissolos, Gleissolos; Luvissolos e Neossolos com médias de 18,70; 12,07; 9,90 e 7,64 $cmol_c\ dm^{-3}$. Os Argissolos, Plintossolos, Espodossolos, Cambissolos e Latossolos apresentaram valores médios em superfície de 0,99; 0,77; 0,52; 0,43 e 0,34 $cmol_c\ dm^{-3}$, respectivamente.

A capacidade de troca de cátions (CTC) seguiu o mesmo comportamento da SB, com os Vertissolos, Gleissolos; Luvissolos, Plintossolos e Neossolos apresentando as maiores médias em superfície (21,61; 20,54; 17,68; 13,87 e 13,12 $cmol_c\ dm^{-3}$, respectivamente). Na profundidade de 80 - 100 cm, as maiores médias foram observadas nos Vertissolos, Luvissolos, Gleissolos, Neossolos e Plintossolos com médias de 36,83; 22,69; 17,04; 14,26 e 12,42 $cmol_c\ dm^{-3}$, respectivamente. Os Cambissolos, Latossolos e Espodossolos apresentaram valores médios inferiores a 8,00 $cmol_c\ dm^{-3}$ para as duas profundidades.

Dentre os solos avaliados, os Plintossolos apresentaram os teores médios de alumínio trocável ($Al^{3+}$) mais elevados, com médias de 6,37 e 9,56 $cmol_c\ dm^{-3}$ nas profundidades de 0 - 20 e 80 - 100 cm, respectivamente. Os Argissolos apresentaram teores médios da ordem de 4,1 e 7,2 $cmol_c\ dm^{-3}$ para superfície e subsuperfície, respectivamente. Os menores valores para $Al^{3+}$ foram observados nos Vertissolos, Espodossolos e Neossolos.

Em geral as camadas subsuperficiais dos solos estudados apresentaram os maiores valores para a acidez potencial (H+Al). Valores médios variando entre 2,82 a 14,00 $cmol_c\ dm^{-3}$. Em superfície, as maiores médias foram obtidas nos Plintossolos (13,10 $cmol_c\ dm^{-3}$), Argissolos (9,30 $cmol_c\ dm^{-3}$), Cambissolos (8,80 $cmol_c\ dm^{-3}$), Latossolos (8,27 $cmol_c\ dm^{-3}$) Luvissolos (7,80 $cmol_c\ dm^{-3}$). Os demais solos apresentaram valores médios menores que 5,5 $cmol_c\ dm^{-3}$.

Os Vertissolos apresentaram, nas duas profundidades, os maiores teores médias de potássio trocável ($K^+$) (110,1 e 108,0 mg $dm^{-3}$ para 0 - 20 e 80 - 100 cm, respectivamente). Em superfície, os Luvissolos (68,4 mg $dm^{-3}$), Gleissolos (48,0 mg $dm^{-3}$), Neossolos (49,2 mg $dm^{-3}$), Argissolos (42,0 mg $dm^{-3}$) e Plintossolos (40,8 mg $dm^{-3}$) apresentaram médias consideradas teores médios (SANTOS, et al 2018). Já em subsuperfície, os Latossolos, Espodossolos e Cambissolos, apresentaram valores médios de $K^+$ menores que 5,6 mg $dm^{-3}$.

Figura 5 - Gráfico do tipo *box plot* para os principais atributos químicos das classes de solos estudados na profundidade de 0 - 20 cm

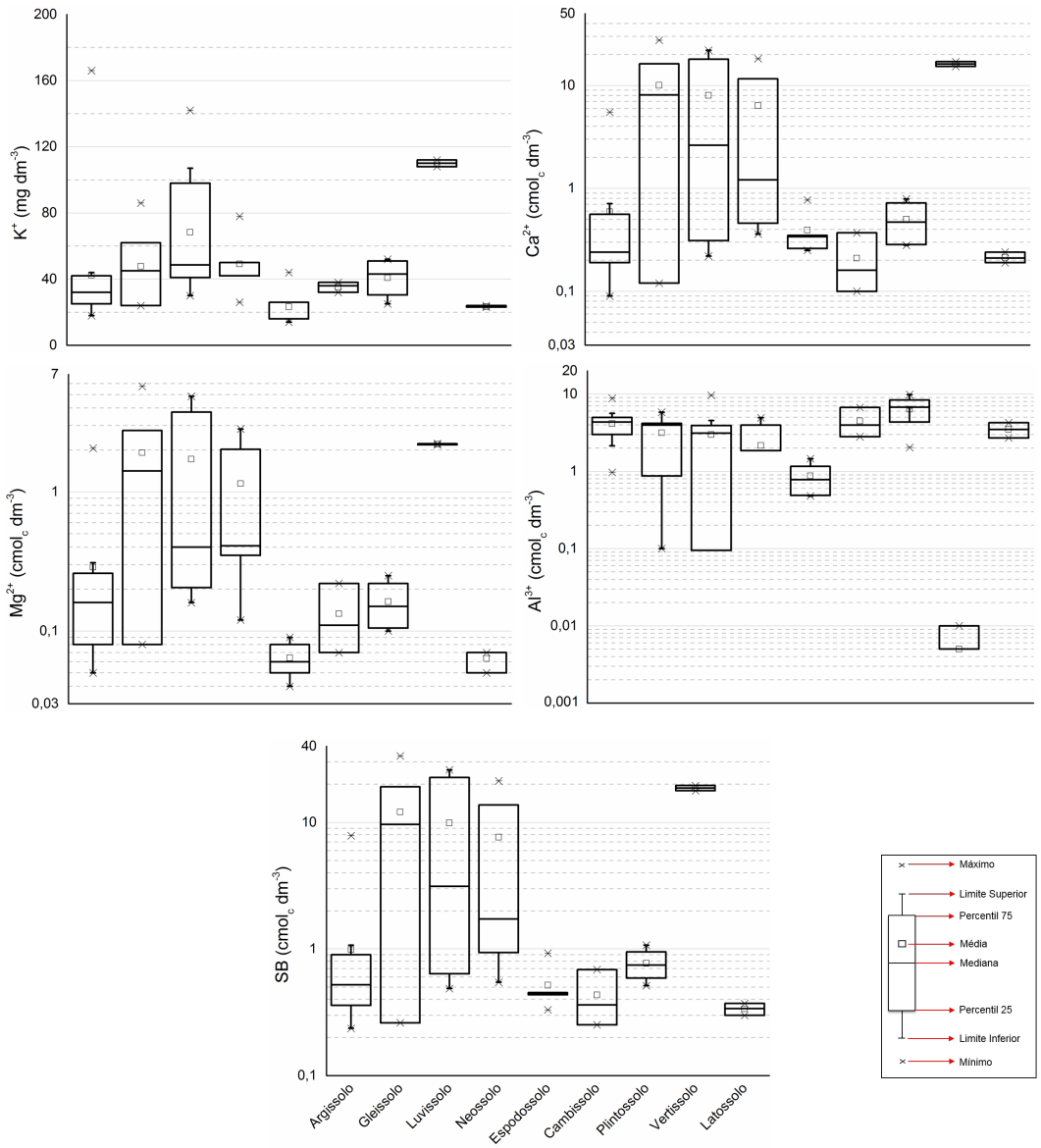


Figura 6 - Gráfico do tipo box plot para os principais atributos químicos das classes de solos estudados na profundidade de 0 - 20 cm

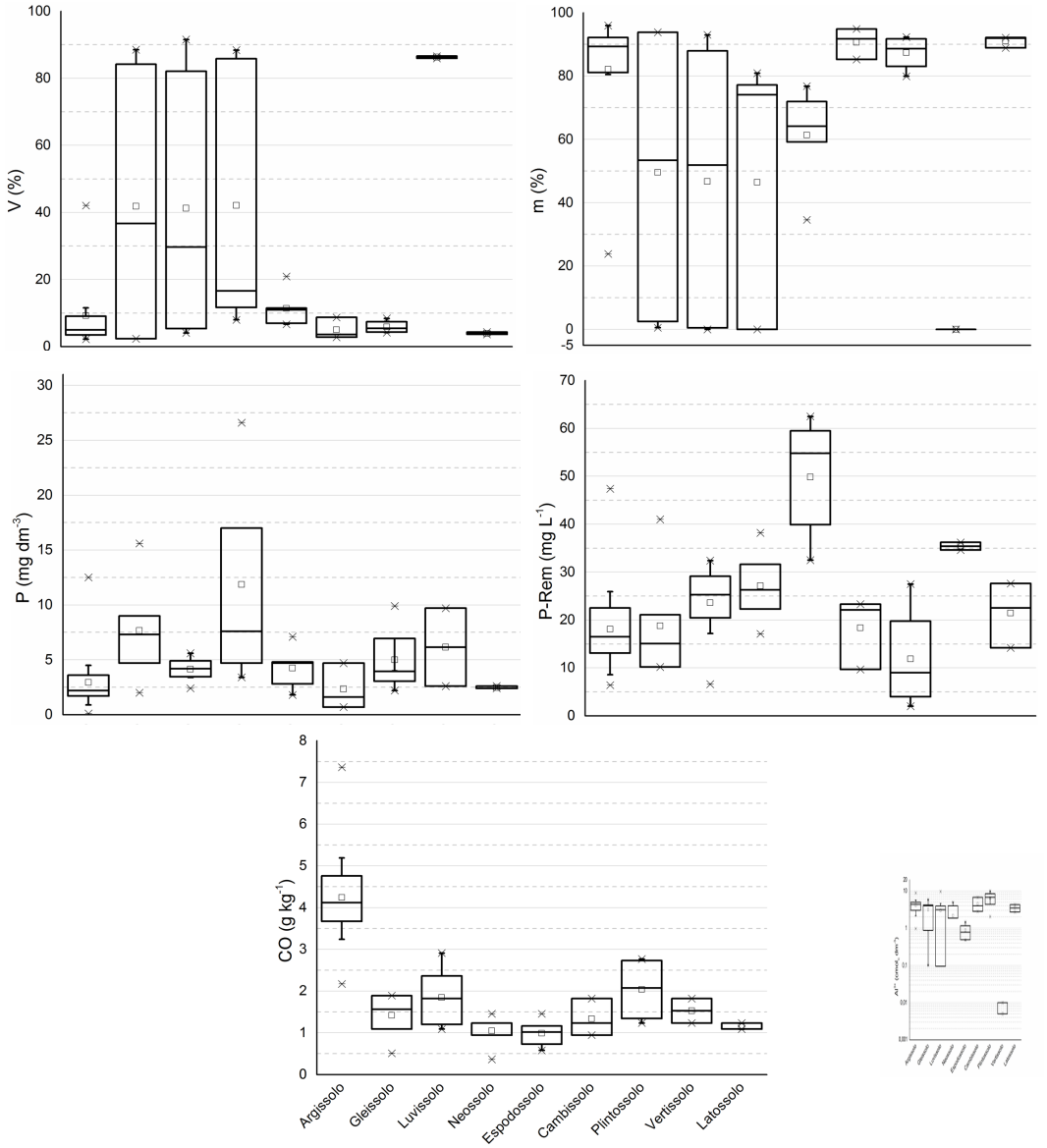


Figura 7 - Gráfico do tipo box plot para os principais atributos químicos das classes de solos estudados na profundidade de 0 - 20 cm

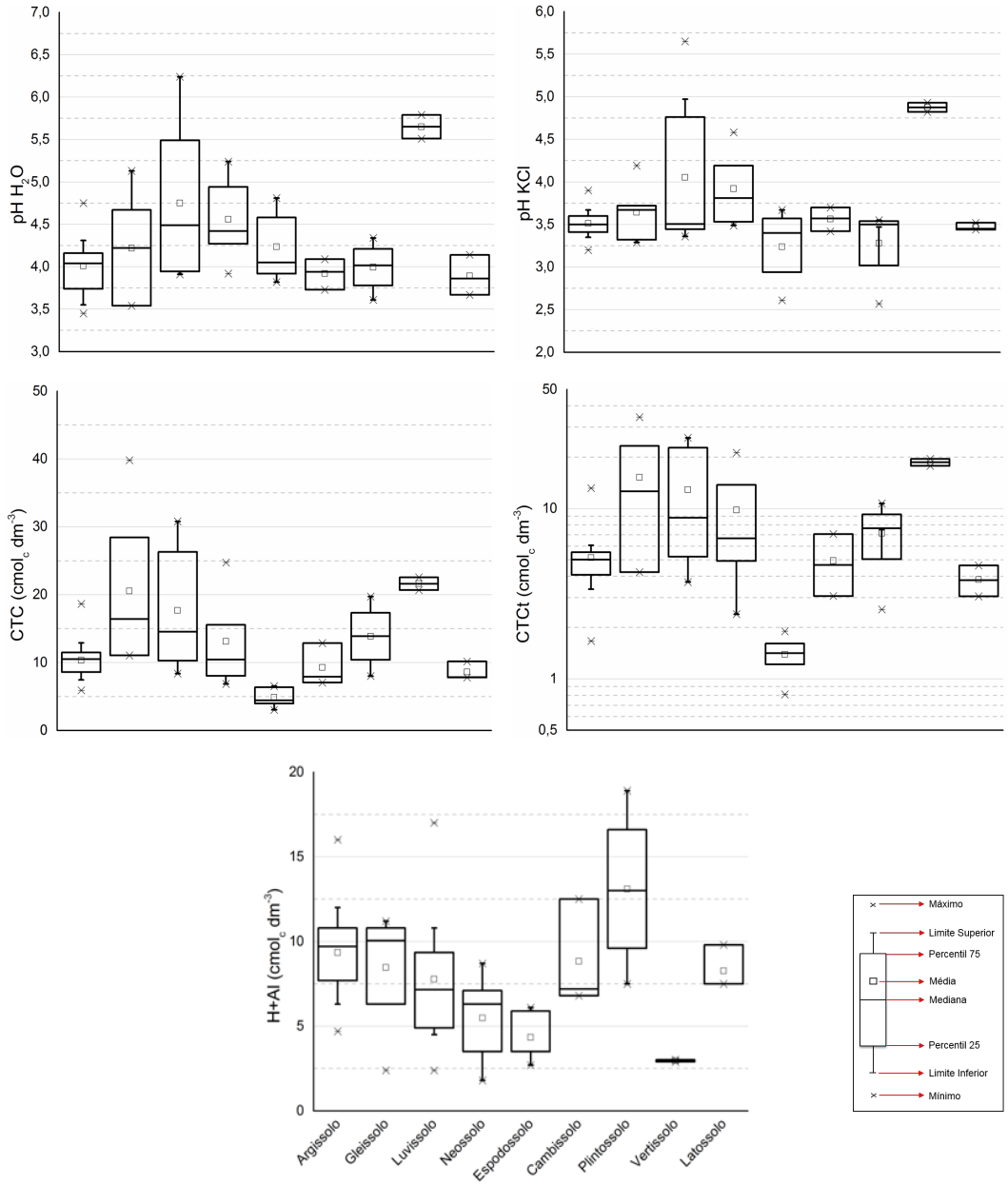


Figura 8 - Gráfico do tipo *box plot* para os principais atributos químicos das classes de solos estudados na profundidade de 80 - 100 cm

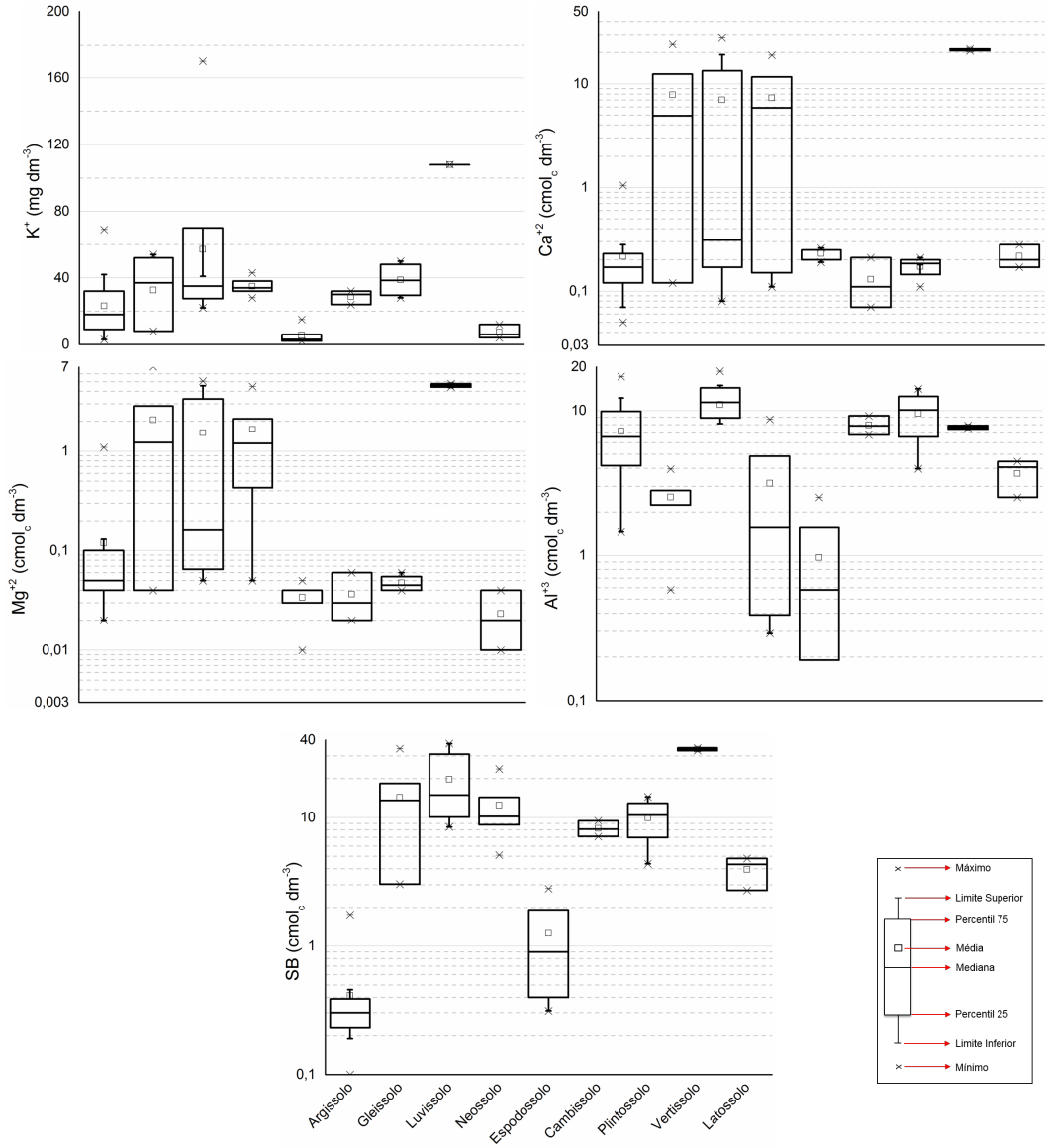


Figura 9 - Gráfico do tipo *box plot* para os principais atributos químicos das classes de solos estudados na profundidade de 80 - 100 cm

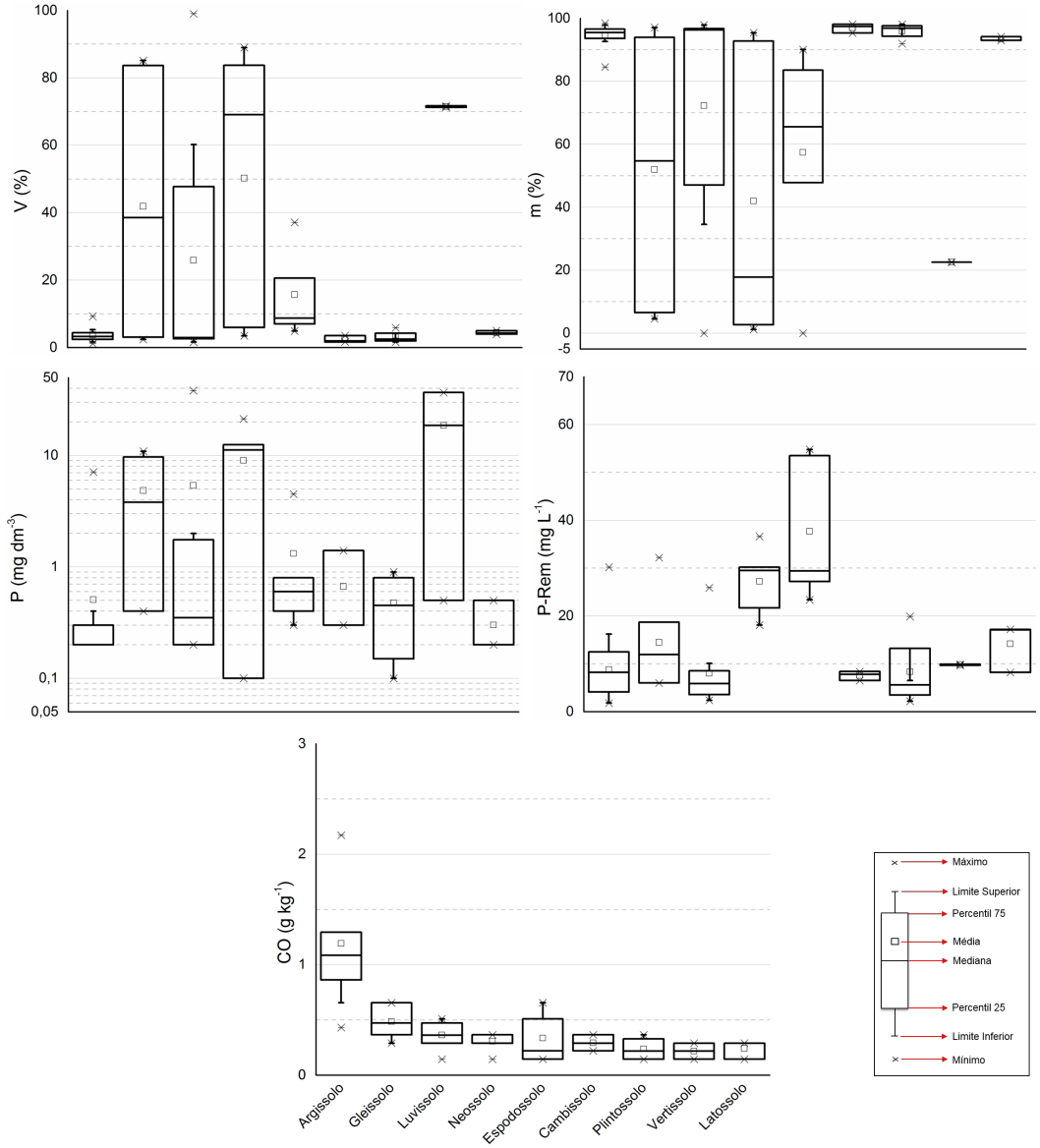
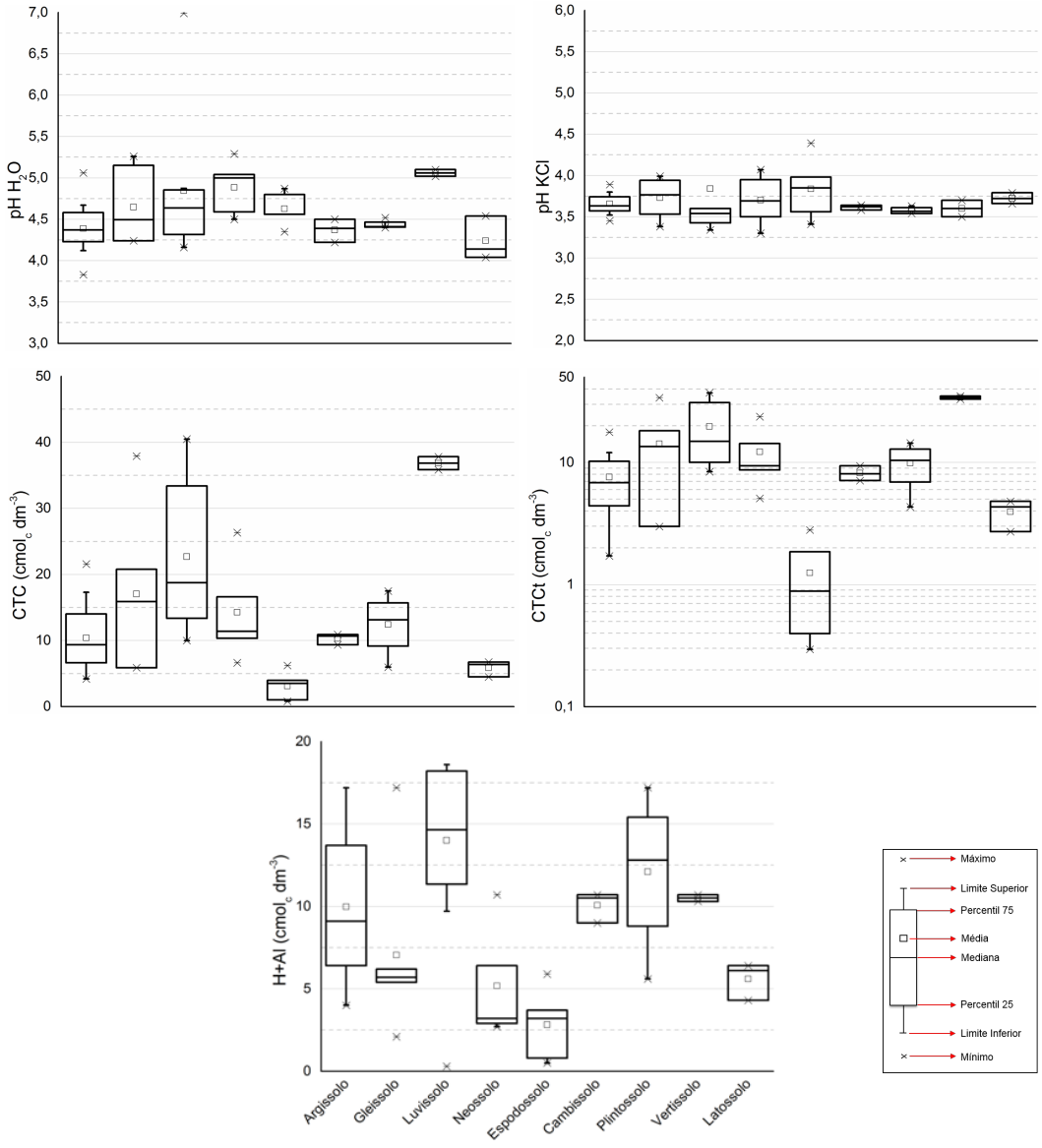


Figura 10 - Gráfico do tipo *box plot* para os principais atributos químicos das classes de solos estudados na profundidade de 80 - 100 cm




Os Espodossolos apresentaram os maiores valores médios de fósforo remanescente (P-Rem) para as duas profundidades (49,8 e 37,3 mg $L^{-1}$ para 0 - 20 e 80 - 100 cm, respectivamente). Os Vertissolos apresentaram teor médio de P-Rem 35,4 mg $L^{-1}$ na camada de 0 - 20 cm e 9,8 mg $L^{-1}$ na camada de 80 - 100 cm. Para os demais solos, os valores médios obtidos foram inferiores a 23,0 mg $L^{-1}$ na camada superficial e a 14,1 mg $L^{-1}$ em subsuperfície.

### 2.3.2 Análise multivariada dos atributos químicos e composição granulométrica

Os resultados obtidos na análise multivariada dos atributos químicos e composição graunlométrica das classes de solos estudados são exibidos nas Figuras 11 e 12. A análise de componentes principais indicou três (3) componentes para as duas camadas e possuem autovalores maiores que 1 e que essas componentes foram responsáveis por explicar 83,27 e 85,85 % da variação dos dados para as profundidades de 0 - 20 e 80 - 100 cm, respectivamente.

Na profundidade de 0 - 20 cm, as variáveis SB, V%, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, CTCt, pH em $H_2O$, CTC, CO, pH em KCl e $K^+$ têm carga fatorial positiva > 0,7 e m % tem carga fatorial negativa > 0,7 no componente 1 e, de forma geral, estas variáveis estão relacionadas com a fertilidade dos solos. O componente 2 apresenta as variáveis Argila, H+Al, $Al^{3+}$ com carga positiva > 0,7 e a variável P-Rem com carga fatorial negativa de 0,8.

Na profundidade de 80 - 100 cm, as variáveis SB, V%, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, CTCt, pH em $H_2O$, CTC, CO e $K^+$ apresentam carga fatorial positiva > 0,7 e m% tem carga fatorial negativa de 0,7 para o componente 1, parâmetros esses relacionados à fertilidade dos solos. No componente 2, as variáveis Argila, H+Al e $Al^{3+}$ apresentam carga fatorial positiva e > 0,7, carga esta oposta à da variável Areia (-0,7).

Na profundidade de 0 - 20 cm, estão distribuídos na direção do 1° quadrante (Figura 5B), os Gleissolos, duas amostras de Neossolos e duas de Luvissolos, estando assim distribuídos no mesmo quadrante que as variáveis Argila, Silte, CTC, CTCt, CO, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $K^+$ e SB. Os Argissolos, Plintossolos, e uma amostras de Latossolo estão distribuídos nos quadrantes 2 (Figura 5B), quadrante onde estão as variáveis $Al^{3+}$, H+Al e m%. No terceiro quadrante estão os Espodossolos, Cambossolos, Latossolos e dez amostras de Argissolos, relacionados com a variável Areia. O 4° quadrante estão as amostras de Vertissolos, Luvissolos, Neossolos e três amostras de Argissolos, relacionado as as variáveis P-Rem, P, V%, pH em KCl e pH em $H_2O$.

Tabela 11 - Resultados dos autovalores para a extração dos componentes principais e variância total explicada pelos componentes principais para aa profundidades 0 - 20 e 80 - 100 cm dos solos estudados.

| 0 - 20 cm | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ----------Autovalores iniciais---------- | | | Autovalores após rotação Varimax | | |
| Componentes | Total | % de Variância | Cumulativa | Total | % de Variância | Cumulativa |
| **1** | **9,954** | **55,302** | **55,302** | **9,004** | **50,023** | **50,023** |
| **2** | **3,762** | **20,900** | **76,202** | **4,049** | **22,496** | **72,519** |
| **3** | **1,273** | **7,074** | **83,276** | **1,936** | **10,757** | **83,276** |
| 4 | 0,955 | 5,306 | 88,583 | | | |
| 5 | 0,698 | 3,876 | 92,458 | | | |
| 6 | 0,500 | 2,776 | 95,235 | | | |
| 7 | 0,367 | 2,040 | 97,274 | | | |
| 8 | 0,222 | 1,235 | 98,509 | | | |
| 9 | 0,107 | 0,593 | 99,102 | | | |
| 10 | 0,064 | 0,356 | 99,459 | | | |
| 11 | 0,047 | 0,263 | 99,722 | | | |
| 12 | 0,044 | 0,246 | 99,967 | | | |
| 13 | 0,006 | 0,033 | 100,000 | | | |
| 14 | 0,000 | 0,000 | 100,000 | | | |
| 15 | 0,000 | 0,000 | 100,000 | | | |
| 16 | 0,000 | 0,000 | 100,000 | | | |
| 17 | 0,000 | 0,000 | 100,000 | | | |
| 18 | 0,000 | 0,000 | 100,000 | | | |

| 80 - 100 cm | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ----------Autovalores iniciais---------- | | | Autovalores após rotação Varimax | | |
| Componentes | Total | % de Variância | Cumulativa | Total | % de Variância | Cumulativa |
| **1** | **8,820** | **48,999** | **48,999** | **8,133** | **45,183** | **45,183** |
| **2** | **5,452** | **30,288** | **79,287** | **5,259** | **29,218** | **74,400** |
| **3** | **1,182** | **6,569** | **85,856** | **2,062** | **11,455** | **85,856** |
| 4 | 0,936 | 5,199 | 91,055 | | | |
| 5 | 0,548 | 3,044 | 94,099 | | | |
| 6 | 0,374 | 2,080 | 96,179 | | | |
| 7 | 0,295 | 1,637 | 97,816 | | | |
| 8 | 0,127 | 0,703 | 98,519 | | | |
| 9 | 0,116 | 0,644 | 99,163 | | | |
| 10 | 0,098 | 0,544 | 99,707 | | | |
| 11 | 0,032 | 0,180 | 99,888 | | | |
| 12 | 0,013 | 0,071 | 99,959 | | | |
| 13 | 0,007 | 0,041 | 100,000 | | | |
| 14 | 0,000 | 0,000 | 100,000 | | | |
| 15 | 0,000 | 0,000 | 100,000 | | | |
| 16 | 0,000 | 0,000 | 100,000 | | | |
| 17 | 0,000 | 0,000 | 100,000 | | | |
| 18 | 0,000 | 0,000 | 100,000 | | | |

Tabela 12 - Resultados da matriz das cargas fatoriais para os 3 primeiros componentes principais após rotação pelo método Varimax.

| 0 - 20 cm | | | | 80 - 100 cm | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ----Componentes---- | | | | ----Componentes---- | | |
| Variáveis | 1 | 2 | 3 | Variáveis | 1 | 2 | 3 |
| SB | **0,981** | 0,045 | 0,108 | SB | **0,951** | -0,238 | -0,031 |
| V% | **0,978** | -0,101 | -0,006 | V % | **0,850** | -0,462 | -0,116 |
| $Ca^{2+}$ | **0,978** | 0,037 | 0,108 | $Ca^{2+}$ | **0,940** | -0,276 | 0,031 |
| $Mg^{2+}$ | **0,952** | 0,087 | 0,113 | $Mg^{2+}$ | **0,913** | -0,079 | -0,290 |
| m% | **-0,934** | 0,225 | 0,068 | m % | **-0,754** | 0,557 | 0,211 |
| CTCt | **0,922** | 0,316 | 0,159 | CTCt | **0,949** | 0,290 | -0,026 |
| pH $H_2O$ | **0,844** | -0,205 | -0,042 | pH $H_2O$ | **0,741** | -0,326 | 0,356 |
| CTC | **0,842** | 0,455 | 0,232 | CTC | **0,928** | 0,350 | -0,033 |
| CO | **0,842** | 0,455 | 0,232 | COT | **0,928** | 0,351 | -0,033 |
| pH KCl | **0,777** | -0,178 | 0,004 | pH KCl | 0,241 | -0,555 | **0,739** |
| $K^+$ | **0,714** | 0,080 | -0,069 | $K^+$ | **0,747** | 0,426 | -0,252 |
| P | 0,477 | -0,193 | 0,020 | P | 0,682 | -0,439 | 0,314 |
| P-Rem | 0,285 | **-0,808** | -0,112 | P-Rem | 0,063 | -0,848 | -0,287 |
| Argila | 0,186 | **0,795** | 0,009 | Argila | 0,295 | **0,828** | 0,265 |
| H+Al | -0,535 | **0,781** | 0,211 | H+Al | 0,159 | **0,944** | -0,010 |
| $Al^{3+}$ | -0,557 | **0,767** | 0,105 | $Al^{3+}$ | 0,146 | **0,937** | 0,005 |
| Areia | -0,371 | **-0,707** | 0,572 | Areia | -0,521 | **-0,700** | -0,210 |
| Silte | 0,361 | 0,279 | **-0,835** | Silte | 0,498 | -0,082 | -0,054 |

As variáveis que apresentam cargas fatoriais menor que 0,7 estão destacadas na matriz fatorial.

Figura 11 - Distribuição das cargas fatoriais paras as variáveis químicas e físicas dos primeiros componentes principais extraídas pelo método Varimax (A), e distribuição dos escores de cada observação (amostra de solo) (B), da camada superficial (0 - 20 cm) das classes de solos estudados

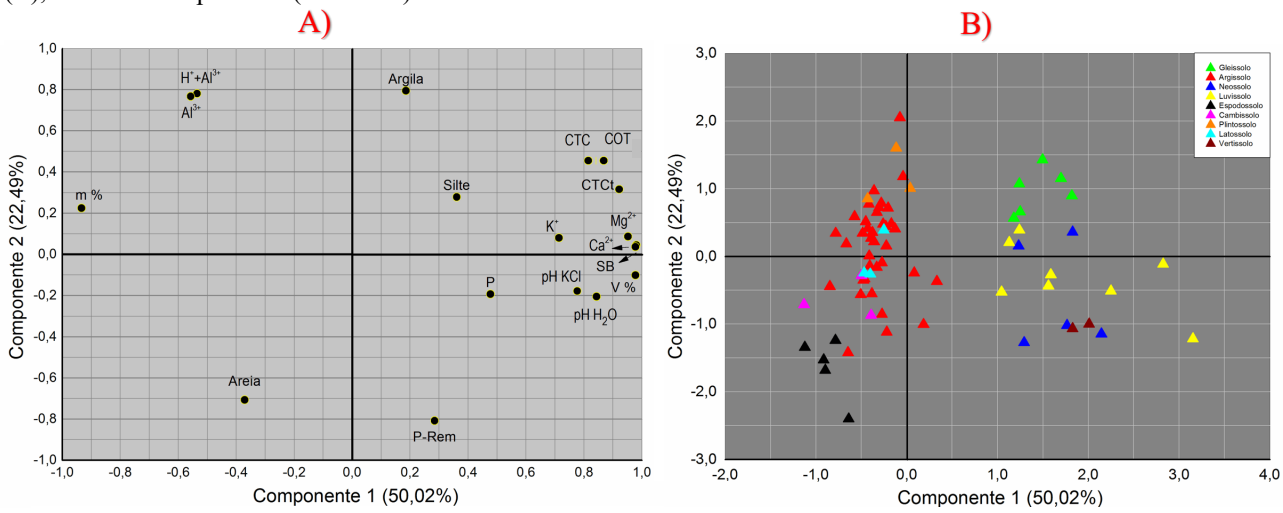
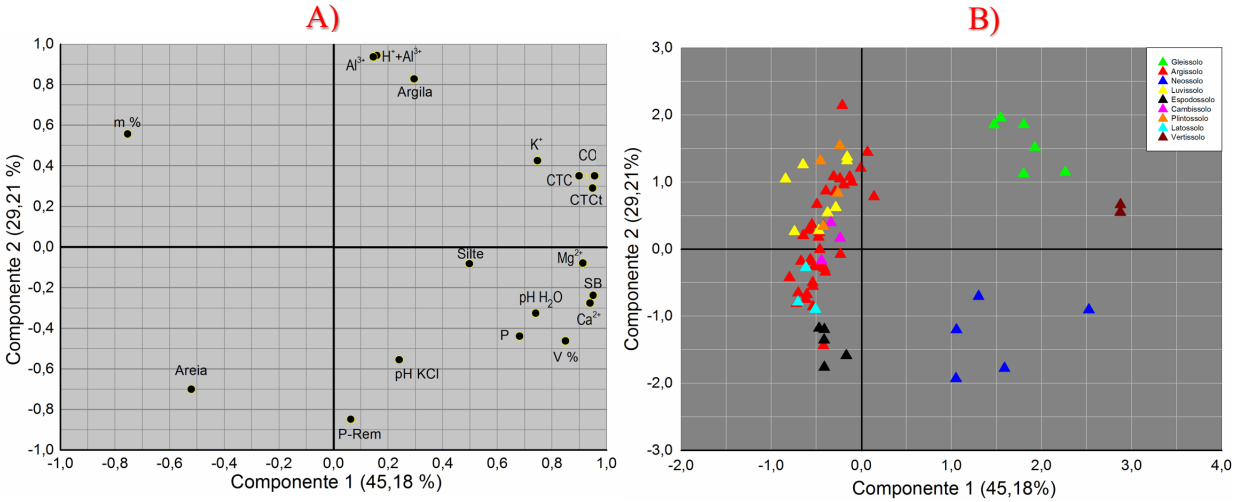


Figura 12 - Distribuição das cargas fatoriais paras as variáveis químicas e físicas dos primeiros componentes principais extraídas pelo método Varimax (A), e distribuição dos escores de cada observação (amostra de solo) (B), da camada superficial (80 - 100 cm) das classes de solos estudados




Na profundidade de 80 - 100 cm, observa-se no 1° quadrante os Gleissolos e Vertissolos, estando no mesmo quadrante que as variáveis $Al^{3+}$, H+Al, $K^{+}$, CO, CTC, CTCt e Argila. No 2° quadrante estão presentes amostras de Luvissolos, Plintossolos, Cambissolos, e dezessete amostras de Argissolos que estão relacionadas às variáveis Areia e m%. No 3° quadrante observa-se a formação de um grupo de amostras composto por Espodossolos, Latossolos e vinte amostras de Argissolos estando relacionados com a variável Areia. No 4° quadrante estão os Neossolos relacionados com as variáveis P-Rem, P, pH em $H_2O$, pH em KCl, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, SB, V% e Silte.

**2.3.3 Caracterização química relacionada à mineralogia das classes de solos estudados.**

Os resultados da caracterização química relacionada a mineralogia para cada amostra dos Argissolos, Gleissolos, Luvissolos, Neossolos, Espodossolos, Cambissolos, Plintossolos, Vertissolos e Latossolos estão apresentados nas Tabelas 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, respectivamente (apêndice). Os resultados comparativos entre as classes de solos encontram-se nas Figuras 13, 14, 15 e 16 para a profundidade de 0 - 20 e 14 e 15 para a profundidade de 80 - 100 cm, por meio de gráficos do tipo *box plot*.

Os maiores teores de $SiO_2$, $Al_2O_3$, $Fe_2O_3$, MnO e $TiO_2$ foram encontrados em subsuperfície, acompanhados dos teores de argila, que tendem a ser maiores em profundidade. Os Vertissolos apresentaram os maiores teores de $SiO_2$ nas duas profundidades, com valores médios de 149,66 e 211,42 g $kg^{-1}$ em superfície e subsuperfície, respectivamente. Os Gleissolos apresentaram uma média de 144,75 g $kg^{-1}$, enquanto os Plintossolos apresentaram, para as duas profundidades, valor médio de 129,68 g $kg^{-1}$ de $SiO_2$. Valores médios entre 69,73 e 191 g $kg^{-1}$

foram observados, nas duas profundidades, nos Argissolos, Luvissolos, Neossolos e Cambissolos. Os menores teores de $SiO_2$ foram observados nos Latossolos, que apresentaram médias de 29,28 g $kg^{-1}$ em superfície e 37,32 g $kg^{-1}$ em subsuperfície. Os Espodossolos, não apresentaram teores $SiO_2$ tanto em superfície quanto em subsuperfície.

Dentre os solos analisados, os Plintossolos apresentaram os maiores teores médios de $Al_2O_3$ nas duas profundidades, com médias de 89,20 e 99,88 g $kg^{-1}$ em 0 - 20 e 80 - 100 cm, respectivamente. Já os Espodossolos apresentaram os menores teores de $Al_2O_3$ (7,58 e 8,89 g $kg^{-1}$, em superfície em subsuerficie respectivamente).

As médias mais elevadas dos teores de $Fe_2O_3$ nos solos foram observadas na classe dos Argissolos, com valores de 31,16 e 65,59 g $kg^{-1}$ para as profundidades de 0 - 20 e 80 - 100 cm, respectivamente. Os menores teores foram observados nos Espodossolos, com valores inferiores a 2,00 g $kg^{-1.}$

Em superfície e subsuperfície, as maiores médias de $TiO_2$ foram obtidas nos Argissolos, com valores de 6,08 e 7,91 g $kg^{-1}$ nas respectivas camadas.

Os teores médios de MnO foram inferiores a 1,48 g $kg^{-1}$ nas duas profundidades de todos os solos. As maiores médias dos teores de ferro de boa cristalinidade ($Fe_d$) foram obtidas na classe dos Argissolos, tanto em superfície quanto em subsuperfície, com teores médios de 48,91 e 44,28 g $kg^{-1}$ nas respectivas profundidades. Os Latossolos, Luvissolos e Gleissolos apresentaram aproximadamente os mesmos teores médios em superfície 32,51, 22,97 e 17,33 g $kg^{-1}$. Os Plintossolos apresentaram um teor médio de 17,19 e 24,83 g $kg^{-1}$ em superfície e subsuperficie. Os menores teores de $Fe_d$ foram observados na classe dos Espodossolos.

As formas de ferro com baixo grau de cristalinidade ($Fe_o$) apresentaram as maiores médias em superfície nas classes dos Gleissolos e Neossolos, com médias de 6,48 e 5,82 g $kg^{-1}$, respectivamente. Nos demais solos, os teores obtidos foram, de maneira geral, inferiores a 5 g $kg^{-1}$.

Os teores de Al associado às formas de ferro de boa cristalinidade ($Al_d$) apresentaram seus maiores teores médios nos Argissolos (49,94 e 50,88 g $kg^{-1}$), Plintossolos (27,76 e 30,73 g $kg^{-1}$), Latossolos (26,04 e 31,29 g $kg^{-1}$) e Luvissolos (22,61 e 24,93 g $kg^{-1}$) nas duas profundidades. O Al associado às formas de ferro com baixo grau de cristalinidade ($Al_o$) apresentaram seus maiores teores médios nos Plintossolos (21,44 e 17,80 g $kg^{-1}$), Cambissolos (19,19 e 14,48 g $kg^{-1}$), Vertissolos (14,78 e 15,67 g $kg^{-1}$) e Gleissolos (14,15 e 13,87 g $kg^{-1}$) nas duas profundidades.

Tabela 13 - Resultados dos atributos químicos relacionados a mineralogia de algumas amostras de Argissolos.

| Amostra | Prof. | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | MnO | $Fe_d$ | $Al_d$ | $Fe_o$ | $Al_o$ | $Fe_o/Fe_d$ | $Fe_d/Fe_{AS}$ | Ki | Kr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | ---------- g $kg^{-1}$ ---------- | | | | | | | | | | | | |
| ARGISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 0 -20 | 95,07 | 25,72 | 47,42 | 5,45 | 0,99 | 36,56 | 22,79 | 6,54 | 12,65 | 0,18 | 2,03 | 3,41 | 2,53 |
| | 80 -100 | 244,40 | 57,88 | 131,13 | 7,29 | 0,29 | 28,07 | 37,08 | 2,86 | 20,68 | 0,10 | 0,69 | 3,17 | 2,47 |
| 21 | 0 -20 | 73,93 | 36,60 | 65,86 | 6,71 | 0,18 | 61,26 | 77,09 | 3,87 | 11,99 | 0,06 | 2,39 | 1,91 | 1,41 |
| | 80 -100 | 137,74 | 73,31 | 118,02 | 8,52 | 0,16 | 60,48 | 64,67 | 3,87 | 11,99 | 0,06 | 1,18 | 1,98 | 1,42 |
| Média | | 84,50 | 31,16 | 56,64 | 6,08 | 0,59 | 48,91 | 49,94 | 5,20 | 12,32 | 0,12 | 2,21 | 2,66 | 1,97 |
| Máximo | 0 -20 | 95,07 | 36,60 | 65,86 | 6,71 | 0,99 | 61,26 | 77,09 | 6,54 | 12,65 | 0,18 | 2,39 | 3,41 | 2,53 |
| Mínimo | | 73,93 | 25,72 | 47,42 | 5,45 | 0,18 | 36,56 | 22,79 | 3,87 | 11,99 | 0,06 | 2,03 | 1,91 | 1,41 |
| Média | | 191,07 | 65,59 | 124,57 | 7,91 | 0,23 | 44,28 | 50,88 | 3,36 | 16,33 | 0,08 | 0,94 | 2,58 | 1,95 |
| Máximo | 80 - 100 | 244,40 | 73,31 | 131,13 | 8,52 | 0,29 | 60,48 | 64,67 | 3,87 | 20,68 | 0,10 | 1,18 | 3,17 | 2,47 |
| Mínimo | | 137,74 | 57,88 | 118,02 | 7,29 | 0,16 | 28,07 | 37,08 | 2,86 | 11,99 | 0,06 | 0,69 | 1,98 | 1,42 |

Tabela 14 - Resultados dos atributos químicos relacionados a mineralogia de algumas amostras de Gleissolos

| Amostra | Prof. | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | MnO | $Fe_d$ | $Al_d$ | $Fe_o$ | $Al_o$ | $Fe_o/Fe_d$ | $Fe_d/Fe_{AS}$ | Ki | Kr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | ---------- g $kg^{-1}$ ---------- | | | | | | | | | | | | |
| GLEISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 -20 | 125,37 | 31,07 | 96,69 | 8,78 | 0,13 | 35,95 | 14,14 | 9,98 | 10,24 | 0,28 | 1,65 | 2,20 | 2,22 |
| | 80 -100 | 282,66 | 39,37 | 191,64 | 7,56 | 0,13 | 21,91 | 15,94 | 1,12 | 9,11 | 0,05 | 0,80 | 2,51 | 2,72 |
| 13 | 0 -20 | 107,86 | 25,10 | 51,44 | 4,69 | 0,57 | 13,38 | 15,13 | 5,86 | 12,15 | 0,44 | 0,76 | 3,56 | 2,04 |
| | 80 -100 | 188,17 | 40,46 | 130,64 | 7,41 | 0,60 | 10,05 | 12,07 | 5,86 | 12,15 | 0,58 | 0,36 | 2,45 | 2,54 |
| 19 | 0 -20 | 159,66 | 33,77 | 85,14 | 5,72 | 0,57 | 12,37 | 16,85 | 6,63 | 13,31 | 0,54 | 0,52 | 3,19 | 2,41 |
| | 80 -100 | 139,01 | 31,61 | 77,93 | 5,70 | 0,85 | 13,03 | 12,08 | 6,63 | 13,31 | 0,51 | 0,59 | 3,03 | 2,22 |
| 25 | 0 -20 | 157,63 | 7,34 | 39,40 | 8,29 | 0,10 | 7,61 | 22,99 | 4,91 | 20,92 | 0,64 | 1,48 | 2,49 | 1,76 |
| | 80 -100 | 197,63 | 7,34 | 89,40 | 7,29 | 0,10 | 7,11 | 16,30 | 4,91 | 20,92 | 0,69 | 1,38 | 1,86 | 2,29 |
| Média | | 112,63 | 24,32 | 68,17 | 6,87 | 0,34 | 17,33 | 17,28 | 6,84 | 14,15 | 0,47 | 1,11 | 2,86 | 2,33 |
| Máximo | 0 -20 | 159,66 | 33,77 | 96,69 | 8,78 | 0,57 | 35,95 | 22,99 | 9,98 | 20,92 | 0,64 | 1,65 | 3,56 | 2,72 |
| Mínimo | | 57,63 | 7,34 | 39,40 | 4,69 | 0,10 | 7,61 | 14,14 | 4,91 | 10,24 | 0,28 | 0,52 | 2,20 | 1,83 |
| Média | | 176,87 | 29,69 | 122,40 | 6,99 | 0,42 | 13,03 | 14,10 | 4,63 | 13,87 | 0,46 | 0,78 | 2,46 | 2,44 |
| Máximo | 80 - 100 | 282,66 | 40,46 | 191,64 | 7,56 | 0,85 | 21,91 | 16,30 | 6,63 | 20,92 | 0,69 | 1,38 | 3,03 | 2,72 |
| Mínimo | | 97,63 | 7,34 | 77,93 | 5,70 | 0,10 | 7,11 | 12,07 | 1,12 | 9,11 | 0,05 | 0,36 | 1,86 | 2,22 |

Tabela 15 - Resultados dos atributos químicos relacionados a mineralogia das amostras de Luvissolos.

| Amostra | Prof. | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | MnO | $Fe_d$ | $Al_d$ | $Fe_o$ | $Al_o$ | $Fe_o/Fe_d$ | $Fe_d/Fe_{AS}$ | Ki | Kr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | ---------- g $kg^{-1}$ ---------- | | | | | | | | | | | | |
| LUVISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0 -20 | 165,20 | 11,33 | 37,27 | 3,99 | 0,17 | 19,44 | 23,09 | 10,68 | 15,91 | 0,55 | 2,45 | 2,97 | 2,49 |
| | 80 -100 | 190,19 | 25,36 | 88,26 | 6,38 | 0,16 | 28,64 | 34,98 | 2,36 | 18,23 | 0,08 | 1,62 | 3,66 | 3,10 |
| 10 | 0 -20 | 167,44 | 32,42 | 78,56 | 4,97 | 2,07 | 8,93 | 12,89 | 2,16 | 13,57 | 0,24 | 0,39 | 3,62 | 2,87 |
| | 80 -100 | 221,42 | 43,23 | 113,67 | 5,59 | 0,42 | 9,64 | 16,95 | 1,74 | 16,31 | 0,18 | 0,32 | 3,31 | 2,67 |
| 11 | 0 -20 | 191,79 | 39,36 | 30,58 | 5,27 | 1,63 | 16,04 | 15,68 | 1,99 | 13,66 | 0,12 | 0,58 | 10,66 | 5,86 |
| | 80 -100 | 167,80 | 42,29 | 97,98 | 5,87 | 1,30 | 11,41 | 10,45 | 0,58 | 9,67 | 0,05 | 0,39 | 2,91 | 2,28 |
| 12 | 0 -20 | 159,54 | 32,66 | 74,30 | 4,64 | 0,89 | 11,77 | 19,49 | 3,07 | 16,15 | 0,26 | 0,52 | 3,65 | 2,85 |
| | 80 -100 | 199,54 | 37,98 | 105,64 | 5,81 | 0,21 | 9,29 | 18,56 | 1,54 | 18,02 | 0,17 | 0,35 | 3,21 | 2,61 |
| 15 | 0 -20 | 138,19 | 24,18 | 51,65 | 5,50 | 0,83 | 35,77 | 27,05 | 3,38 | 13,30 | 0,09 | 2,12 | 2,74 | 2,11 |
| | 80 -100 | 193,16 | 50,50 | 130,97 | 7,05 | 0,32 | 24,20 | 38,04 | 3,38 | 13,30 | 0,14 | 0,69 | 2,51 | 2,01 |
| 16 | 0 -20 | 145,10 | 16,50 | 34,43 | 3,85 | 0,23 | 34,22 | 32,98 | 6,04 | 13,44 | 0,18 | 2,96 | 2,23 | 1,71 |
| | 80 -100 | 119,76 | 31,55 | 93,13 | 6,63 | 0,23 | 42,99 | 30,93 | 6,04 | 13,44 | 0,14 | 1,95 | 2,19 | 1,80 |
| 17 | 0 -20 | 144,55 | 16,40 | 37,25 | 3,90 | 0,39 | 34,61 | 27,11 | 4,93 | 11,33 | 0,14 | 3,02 | 2,03 | 1,59 |
| | 80 -100 | 183,91 | 41,92 | 125,79 | 7,82 | 0,23 | 36,83 | 24,60 | 4,93 | 11,33 | 0,13 | 1,26 | 2,49 | 2,05 |
| Média | | 108,12 | 24,69 | 49,15 | 4,59 | 0,89 | 22,97 | 22,61 | 4,61 | 13,91 | 0,23 | 1,72 | 3,99 | 2,78 |
| Máximo | 0 -20 | 191,79 | 39,36 | 78,56 | 5,50 | 2,07 | 35,77 | 32,98 | 10,68 | 16,15 | 0,55 | 3,02 | 10,66 | 5,86 |
| Mínimo | | 44,55 | 11,33 | 30,58 | 3,85 | 0,17 | 8,93 | 12,89 | 1,99 | 11,33 | 0,09 | 0,39 | 2,03 | 1,59 |
| Média | | 182,25 | 38,97 | 107,92 | 6,45 | 0,41 | 23,29 | 24,93 | 2,94 | 14,33 | 0,13 | 0,94 | 2,90 | 2,36 |
| Máximo | 80 - 100 | 221,42 | 50,50 | 130,97 | 7,82 | 1,30 | 42,99 | 38,04 | 6,04 | 18,23 | 0,18 | 1,95 | 3,66 | 3,10 |
| Mínimo | | 119,76 | 25,36 | 88,26 | 5,59 | 0,16 | 9,29 | 10,45 | 0,58 | 9,67 | 0,05 | 0,32 | 2,19 | 1,80 |

Tabela 16 - Resultados dos atributos químicos relacionados a mineralogia das amostras de Neossolos.

| Amostra | Prof. | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | MnO | $Fe_d$ | $Al_d$ | $Fe_o$ | $Al_o$ | $Fe_o/Fe_d$ | $Fe_d/Fe_{AS}$ | Ki | Kr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | ----------g $kg^{-1}$---------- | | | | | | | | | | | | |
| NEOSSOLOS | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 0 -20 | 92,42 | 14,11 | 60,36 | 4,31 | 0,21 | 14,89 | 14,10 | 6,25 | 10,47 | 0,42 | 1,51 | 2,60 | 2,27 |
| | 80 -100 | 74,41 | 12,62 | 58,32 | 4,82 | 0,20 | 16,50 | 13,61 | 10,66 | 11,97 | 0,65 | 1,87 | 2,17 | 1,91 |
| 18 | 0 -20 | 63,38 | 10,00 | 34,15 | 4,45 | 0,18 | 11,23 | 13,46 | 5,14 | 11,35 | 0,46 | 1,61 | 3,16 | 2,66 |
| | 80 -100 | 98,16 | 15,97 | 62,03 | 8,60 | 0,38 | 34,97 | 10,79 | 5,14 | 11,35 | 0,15 | 3,13 | 2,69 | 2,31 |
| 23 | 0 -20 | 79,25 | 19,18 | 41,19 | 4,02 | 0,38 | 12,84 | 15,45 | 6,07 | 9,95 | 0,47 | 0,96 | 3,27 | 2,52 |
| | 80 -100 | 36,61 | 15,25 | 31,29 | 4,34 | 0,36 | 15,67 | 10,39 | 6,07 | 9,95 | 0,39 | 1,47 | 1,99 | 1,52 |
| Média | | 78,35 | 14,43 | 45,23 | 4,26 | 0,26 | 12,99 | 14,34 | 5,82 | 10,59 | 0,45 | 1,36 | 3,01 | 2,48 |
| Máximo | 0 -20 | 92,42 | 19,18 | 60,36 | 4,45 | 0,38 | 14,89 | 15,45 | 6,25 | 11,35 | 0,47 | 1,61 | 3,27 | 2,66 |
| Mínimo | | 63,38 | 10,00 | 34,15 | 4,02 | 0,18 | 11,23 | 13,46 | 5,14 | 9,95 | 0,42 | 0,96 | 2,60 | 2,27 |
| Média | | 69,73 | 14,61 | 50,55 | 5,92 | 0,31 | 22,38 | 11,60 | 7,29 | 11,09 | 0,39 | 2,16 | 2,28 | 1,91 |
| Máximo | 80 - 100 | 98,16 | 15,97 | 62,03 | 8,60 | 0,38 | 34,97 | 13,61 | 10,66 | 11,97 | 0,65 | 3,13 | 2,69 | 2,31 |
| Mínimo | | 36,61 | 12,62 | 31,29 | 4,34 | 0,20 | 15,67 | 10,39 | 5,14 | 9,95 | 0,15 | 1,47 | 1,99 | 1,52 |

Tabela 17 - Resultados dos atributos químicos relacionados a mineralogia das amostras de Espodossolos.

| Amostra | Prof. | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | MnO | $Fe_d$ | $Al_d$ | $Fe_o$ | $Al_o$ | $Fe_o/Fe_d$ | $Fe_d/Fe_{AS}$ | Ki | Kr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | ---------- g $kg^{-1}$ ---------- | | | | | | | | | | | | |
| ESPODOSSOLOS | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 0 -20 | 0,00 | 0,05 | 0,02 | 0,88 | 0,04 | 0,89 | 0,71 | 0,28 | 1,47 | 0,31 | 24,22 | 0,00 | 0,00 |
| | 80 -100 | 0,00 | 0,32 | 0,53 | 1,02 | 0,05 | 0,50 | 1,92 | 0,12 | 1,18 | 0,24 | 2,22 | 0,00 | 0,00 |
| 22 | 0 -20 | 0,00 | 2,54 | 15,13 | 2,93 | 0,07 | 6,72 | 12,41 | 4,72 | 10,55 | 0,70 | 3,78 | 0,00 | 0,00 |
| | 80 -100 | 0,00 | 3,60 | 18,31 | 4,30 | 0,07 | 13,39 | 21,52 | 4,72 | 10,55 | 0,35 | 5,32 | 0,00 | 0,00 |
| Média | 0 -20 | 0,00 | 1,30 | 7,58 | 1,91 | 0,06 | 3,81 | 6,56 | 2,50 | 6,01 | 0,51 | 14,00 | 0,00 | 0,00 |
| Máximo | | 0,00 | 2,54 | 15,13 | 2,93 | 0,07 | 6,72 | 12,41 | 4,72 | 10,55 | 0,70 | 24,22 | 0,00 | 0,00 |
| Mínimo | | 0,00 | 0,05 | 0,02 | 0,88 | 0,04 | 0,89 | 0,71 | 0,28 | 1,47 | 0,31 | 3,78 | 0,00 | 0,00 |
| Média | 80 - 100 | 0,00 | 1,96 | 9,42 | 2,66 | 0,06 | 6,94 | 11,72 | 2,42 | 5,87 | 0,30 | 3,77 | 0,00 | 0,00 |
| Máximo | | 0,00 | 3,60 | 18,31 | 4,30 | 0,07 | 13,39 | 21,52 | 4,72 | 10,55 | 0,35 | 5,32 | 0,00 | 0,00 |
| Mínimo | | 0,00 | 0,32 | 0,53 | 1,02 | 0,05 | 0,50 | 1,92 | 0,12 | 1,18 | 0,24 | 2,22 | 0,00 | 0,00 |

Tabela 18 - Resultados dos atributos químicos relacionados a mineralogia das amostras de Cambissolos.

| Amostra | Prof. | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | MnO | $Fe_d$ | $Al_d$ | $Fe_o$ | $Al_o$ | $Fe_o/Fe_d$ | $Fe_d/Fe_{AS}$ | Ki | Kr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | ---------- g $kg^{-1}$ ---------- | | | | | | | | | | | | |
| CAMBISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 0 -20 | 154,11 | 27,46 | 84,65 | 6,67 | 0,34 | 12,39 | 16,60 | 4,05 | 19,39 | 0,33 | 0,65 | 3,10 | 2,56 |
| | 80 -100 | 120,13 | 26,98 | 84,69 | 6,50 | 0,18 | 28,09 | 29,85 | 10,28 | 14,73 | 0,14 | 1,49 | 2,41 | 2,00 |
| 24 | 0 -20 | 121,76 | 8,21 | 29,26 | 4,27 | 0,15 | 16,24 | 22,51 | 4,13 | 18,98 | 0,63 | 2,83 | 1,26 | 1,07 |
| | 80 -100 | 137,29 | 20,52 | 104,15 | 7,92 | 0,14 | 18,47 | 22,17 | 11,10 | 14,22 | 0,56 | 1,29 | 2,24 | 1,99 |
| Média | | 87,94 | 17,83 | 56,95 | 5,47 | 0,25 | 14,32 | 19,56 | 4,09 | 19,19 | 0,48 | 1,74 | 2,18 | 1,82 |
| Máximo | 0 -20 | 154,11 | 27,46 | 84,65 | 6,67 | 0,34 | 16,24 | 22,51 | 4,13 | 19,39 | 0,63 | 2,83 | 3,10 | 2,56 |
| Mínimo | | 21,76 | 8,21 | 29,26 | 4,27 | 0,15 | 12,39 | 16,60 | 4,05 | 18,98 | 0,33 | 0,65 | 1,26 | 1,07 |
| Média | | 128,71 | 23,75 | 94,42 | 7,21 | 0,16 | 23,28 | 26,01 | 10,69 | 14,48 | 0,35 | 1,39 | 2,33 | 2,00 |
| Máximo | 80 - 100 | 137,29 | 26,98 | 104,15 | 7,92 | 0,18 | 28,09 | 29,85 | 11,10 | 14,73 | 0,56 | 1,49 | 2,41 | 2,00 |
| Mínimo | | 120,13 | 20,52 | 84,69 | 6,50 | 0,14 | 18,47 | 22,17 | 10,28 | 14,22 | 0,14 | 1,29 | 2,24 | 1,99 |

Tabela 19 - Resultados dos atributos químicos relacionados a mineralogia das amostras de Plintossolos.

| Amostra | Prof. | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | MnO | $Fe_d$ | $Al_d$ | $Fe_o$ | $Al_o$ | $Fe_o/Fe_d$ | $Fe_d/Fe_{AS}$ | Ki | Kr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | ---------- g $kg^{-1}$ ---------- | | | | | | | | | | | | |
| PLINTOSSOLOS | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 -20 | 185,70 | 13,46 | 49,03 | 3,83 | 0,12 | 20,53 | 19,70 | 3,37 | 14,19 | 0,16 | 2,18 | 2,97 | 2,53 |
| | 80 -100 | 115,11 | 22,85 | 82,91 | 5,18 | 0,17 | 30,25 | 42,01 | 2,15 | 23,72 | 0,07 | 1,89 | 2,36 | 2,01 |
| 3 | 0 -20 | 290,37 | 29,72 | 194,08 | 6,72 | 0,12 | 10,43 | 36,98 | 1,48 | 32,48 | 0,14 | 0,50 | 2,54 | 2,32 |
| | 80 -100 | 232,38 | 46,13 | 167,76 | 7,21 | 0,15 | 16,69 | 21,03 | 0,33 | 12,05 | 0,02 | 0,52 | 2,35 | 2,00 |
| 14 | 0 -20 | 220,10 | 7,36 | 24,49 | 2,60 | 0,12 | 20,60 | 26,60 | 10,13 | 17,64 | 0,49 | 4,00 | 1,40 | 1,17 |
| | 80 -100 | 134,40 | 11,61 | 48,98 | 5,06 | 0,14 | 27,54 | 29,15 | 10,13 | 17,64 | 0,37 | 3,39 | 1,19 | 1,04 |
| Média | | 132,06 | 16,85 | 89,20 | 4,38 | 0,12 | 17,19 | 27,76 | 4,99 | 21,44 | 0,27 | 2,23 | 2,30 | 2,01 |
| Máximo | 0 -20 | 290,37 | 29,72 | 194,08 | 6,72 | 0,12 | 20,60 | 36,98 | 10,13 | 32,48 | 0,49 | 4,00 | 2,97 | 2,53 |
| Mínimo | | 20,10 | 7,36 | 24,49 | 2,60 | 0,12 | 10,43 | 19,70 | 1,48 | 14,19 | 0,14 | 0,50 | 1,40 | 1,17 |
| Média | | 127,30 | 26,87 | 99,88 | 5,82 | 0,15 | 24,83 | 30,73 | 4,20 | 17,80 | 0,15 | 1,93 | 1,97 | 1,68 |
| Máximo | 80 - 100 | 232,38 | 46,13 | 167,76 | 7,21 | 0,17 | 30,25 | 42,01 | 10,13 | 23,72 | 0,37 | 3,39 | 2,36 | 2,01 |
| Mínimo | | 34,40 | 11,61 | 48,98 | 5,06 | 0,14 | 16,69 | 21,03 | 0,33 | 12,05 | 0,02 | 0,52 | 1,19 | 1,04 |

Tabela 20 - Resultados dos atributos químicos relacionados a mineralogia das amostras de Vertissolos.

| Amostra | Prof. | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | MnO | $Fe_d$ | $Al_d$ | $Fe_o$ | $Al_o$ | $Fe_o/Fe_d$ | $Fe_d/Fe_{AS}$ | Ki | Kr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | ----------g $kg^{-1}$---------- | | | | | | | | | | | | |
| VERTISSOLOS | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 0 -20 | 147,09 | 28,52 | 65,53 | 4,72 | 1,53 | 6,80 | 12,36 | 2,59 | 14,59 | 0,38 | 0,34 | 3,82 | 2,99 |
| | 80 -100 | 210,53 | 44,93 | 102,76 | 6,12 | 0,77 | 7,38 | 15,47 | 1,39 | 15,80 | 0,19 | 0,23 | 3,48 | 2,72 |
| 26 | 0 -20 | 152,23 | 29,84 | 66,55 | 4,65 | 1,43 | 6,96 | 11,12 | 2,78 | 14,98 | 0,49 | 0,45 | 3,75 | 3,12 |
| | 80 -100 | 212,32 | 45,46 | 102,49 | 6,01 | 0,65 | 7,23 | 14,12 | 1,46 | 15,54 | 0,23 | 0,30 | 3,21 | 2,13 |
| Média | 0 -20 | 149,66 | 29,18 | 66,04 | 4,68 | 1,48 | 6,88 | 11,74 | 2,68 | 14,78 | 0,44 | 0,40 | 3,78 | 3,05 |
| Máximo | | 152,23 | 29,84 | 66,55 | 4,72 | 1,53 | 6,96 | 12,36 | 2,78 | 14,98 | 0,49 | 0,45 | 3,82 | 3,12 |
| Mínimo | | 147,09 | 28,52 | 65,53 | 4,65 | 1,43 | 6,80 | 11,12 | 2,59 | 14,59 | 0,38 | 0,34 | 3,75 | 2,99 |
| Média | 80 - 100 | 211,42 | 45,20 | 102,63 | 6,07 | 0,71 | 7,31 | 14,79 | 1,42 | 15,67 | 0,21 | 0,27 | 3,35 | 2,43 |
| Máximo | | 212,32 | 45,46 | 102,76 | 6,12 | 0,77 | 7,38 | 15,47 | 1,46 | 15,80 | 0,23 | 0,30 | 3,48 | 2,72 |
| Mínimo | | 210,53 | 44,93 | 102,49 | 6,01 | 0,65 | 7,23 | 14,12 | 1,39 | 15,54 | 0,19 | 0,23 | 3,21 | 2,13 |

Tabela 21 - Resultados dos atributos químicos relacionados a mineralogia das amostras de Latossolos.

| Amostra | Prof. | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | MnO | $Fe_d$ | $Al_d$ | $Fe_o$ | $Al_o$ | $Fe_o/Fe_d$ | $Fe_d/Fe_{AS}$ | Ki | Kr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm | ----------g $kg^{-1}$---------- | | | | | | | | | | | | |
| LATOSSOLOS | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 0 -20 | 28,35 | 9,96 | 13,16 | 2,02 | 0,10 | 33,92 | 25,55 | 11,91 | 12,68 | 0,35 | 4,87 | 3,66 | 2,47 |
| | 80 -100 | 37,66 | 13,52 | 42,28 | 2,93 | 0,12 | 36,59 | 30,26 | 4,16 | 12,90 | 0,11 | 3,87 | 1,51 | 1,26 |
| 27 | 0 -20 | 30,20 | 10,21 | 15,24 | 1,78 | 0,11 | 31,10 | 26,53 | 12,32 | 10,12 | 0,31 | 5,02 | 3,32 | 2,89 |
| | 80 -100 | 36,78 | 14,54 | 44,23 | 3,02 | 0,14 | 33,34 | 32,32 | 5,20 | 11,92 | 0,10 | 4,03 | 1,34 | 1,32 |
| Média | 0 -20 | 29,28 | 10,08 | 14,20 | 1,90 | 0,10 | 32,51 | 26,04 | 12,12 | 11,40 | 0,33 | 4,95 | 3,49 | 2,68 |
| Máximo | | 30,20 | 10,21 | 15,24 | 2,02 | 0,11 | 33,92 | 26,53 | 12,32 | 12,68 | 0,35 | 5,02 | 3,66 | 2,89 |
| Mínimo | | 28,35 | 9,96 | 13,16 | 1,78 | 0,10 | 31,10 | 25,55 | 11,91 | 10,12 | 0,31 | 4,87 | 3,32 | 2,47 |
| Média | 80 - 100 | 37,22 | 14,03 | 43,26 | 2,97 | 0,13 | 34,96 | 31,29 | 4,68 | 12,41 | 0,11 | 3,95 | 1,43 | 1,29 |
| Máximo | | 37,66 | 14,54 | 44,23 | 3,02 | 0,14 | 36,59 | 32,32 | 5,20 | 12,90 | 0,11 | 4,03 | 1,51 | 1,32 |
| Mínimo | | 36,78 | 13,52 | 42,28 | 2,93 | 0,12 | 33,34 | 30,26 | 4,16 | 11,92 | 0,10 | 3,87 | 1,34 | 1,26 |

Figura 13 - Gráficos do tipo *box plot* para atributos químicos relacionados à mineralogia das classes de solos estudados na profundidade de 0 - 20 cm

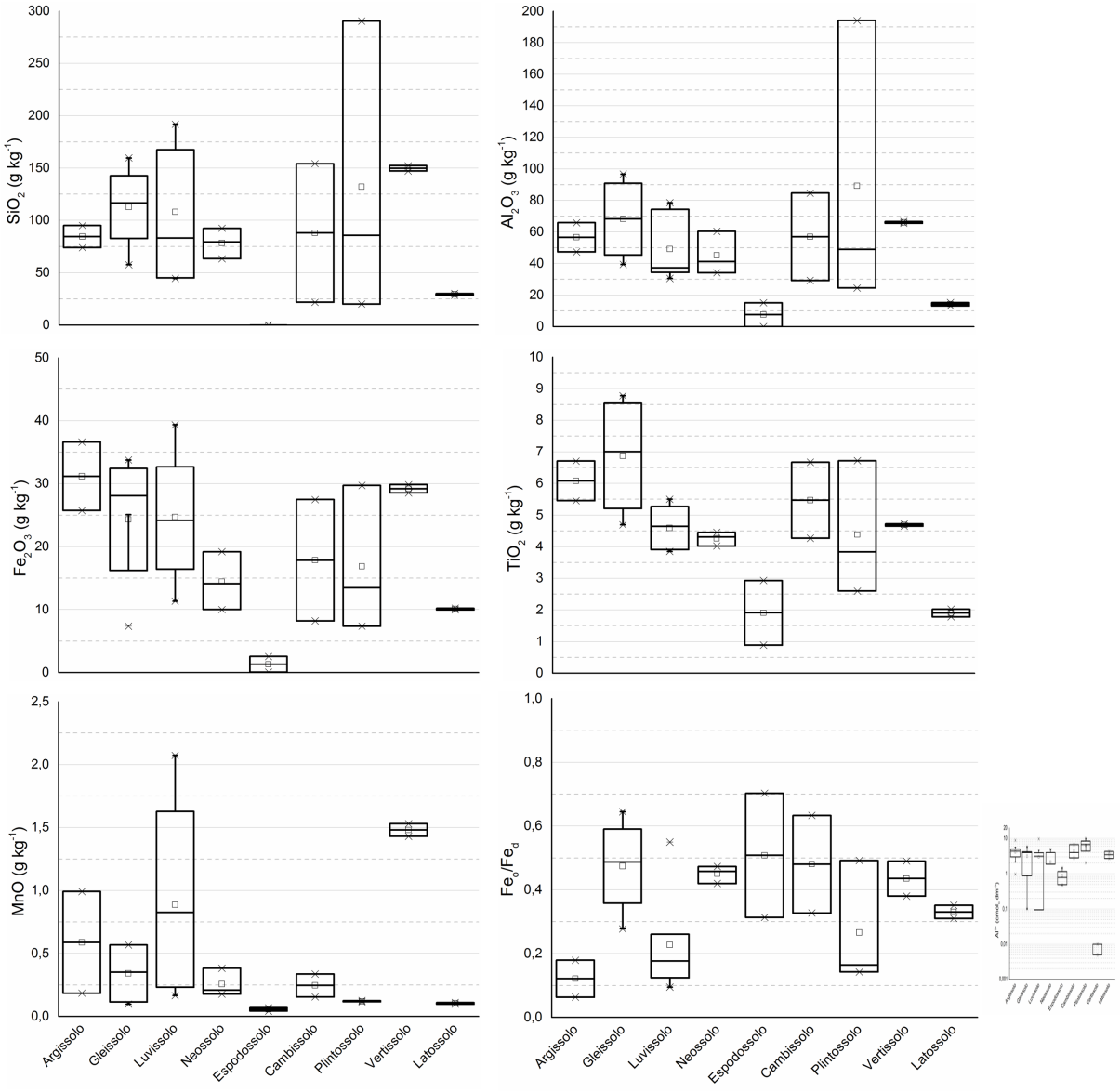


Figura 14 - Gráficos do tipo *box plot* para atributos químicos relacionados à mineralogia das classes de solos estudados na profundidade de 0 - 20 cm

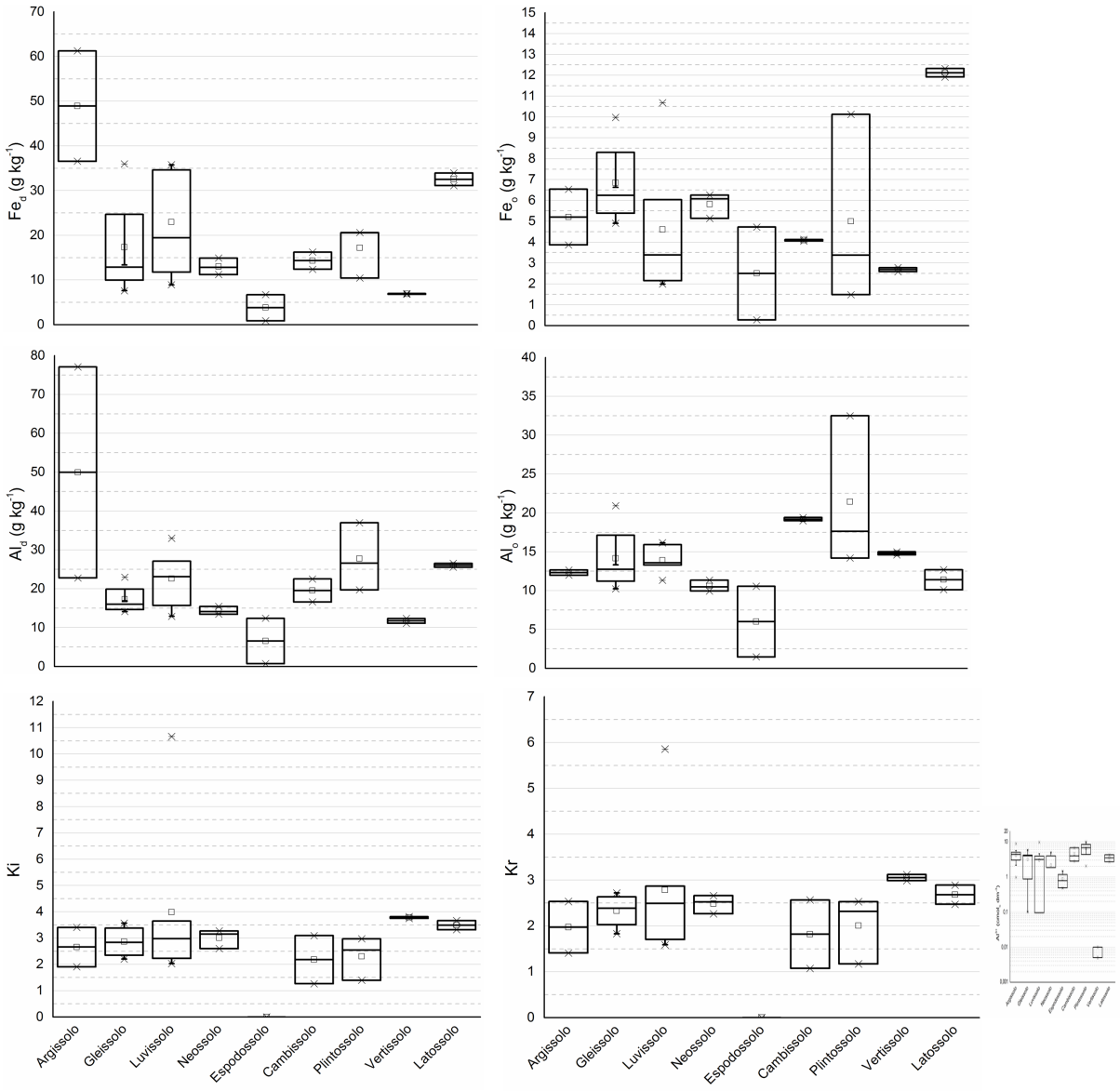


Figura 15 - Gráficos do tipo *box plot* para atributos químicos relacionados à mineralogia das classes de solos estudados na profundidade de 80 - 100 cm

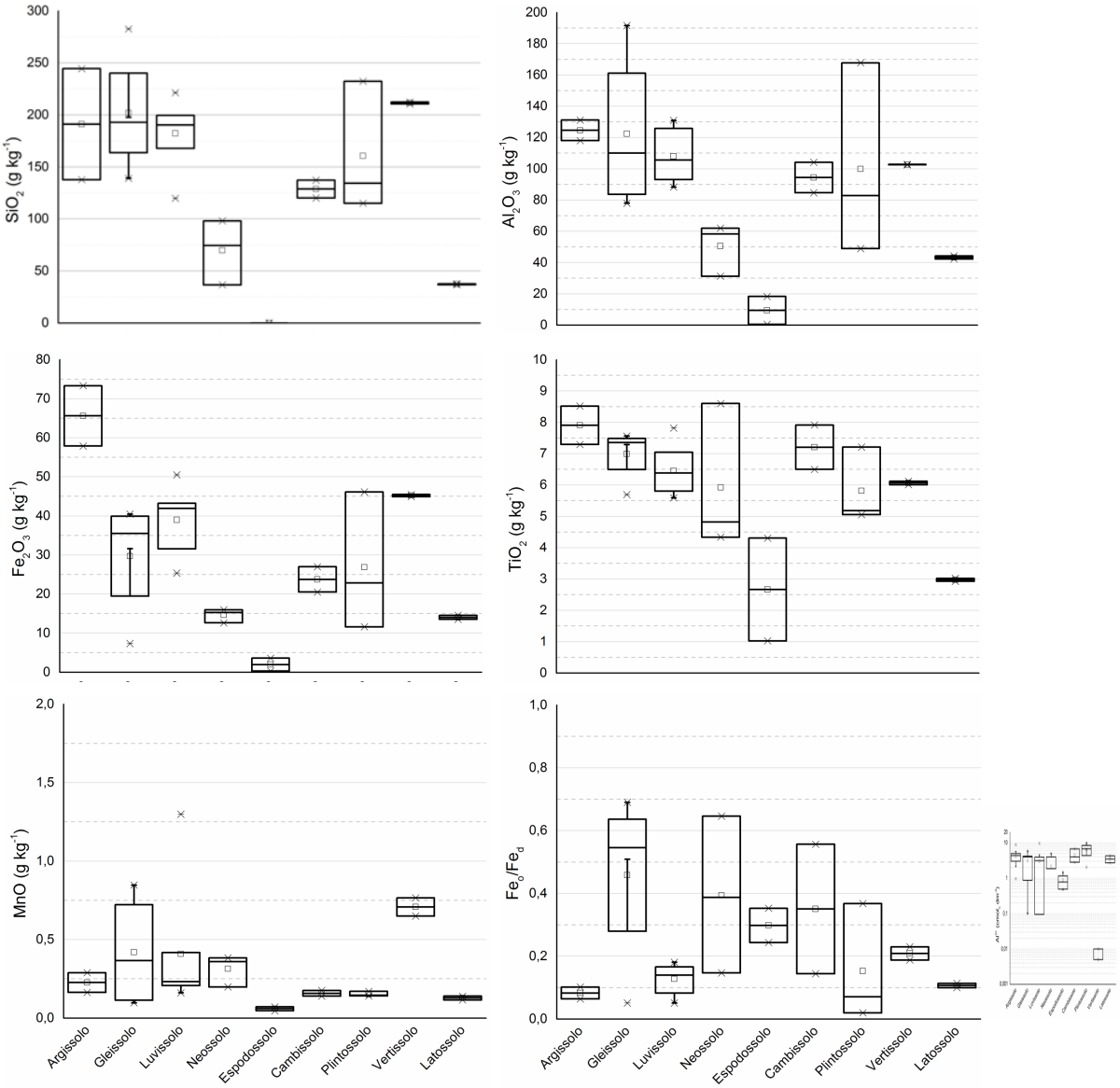
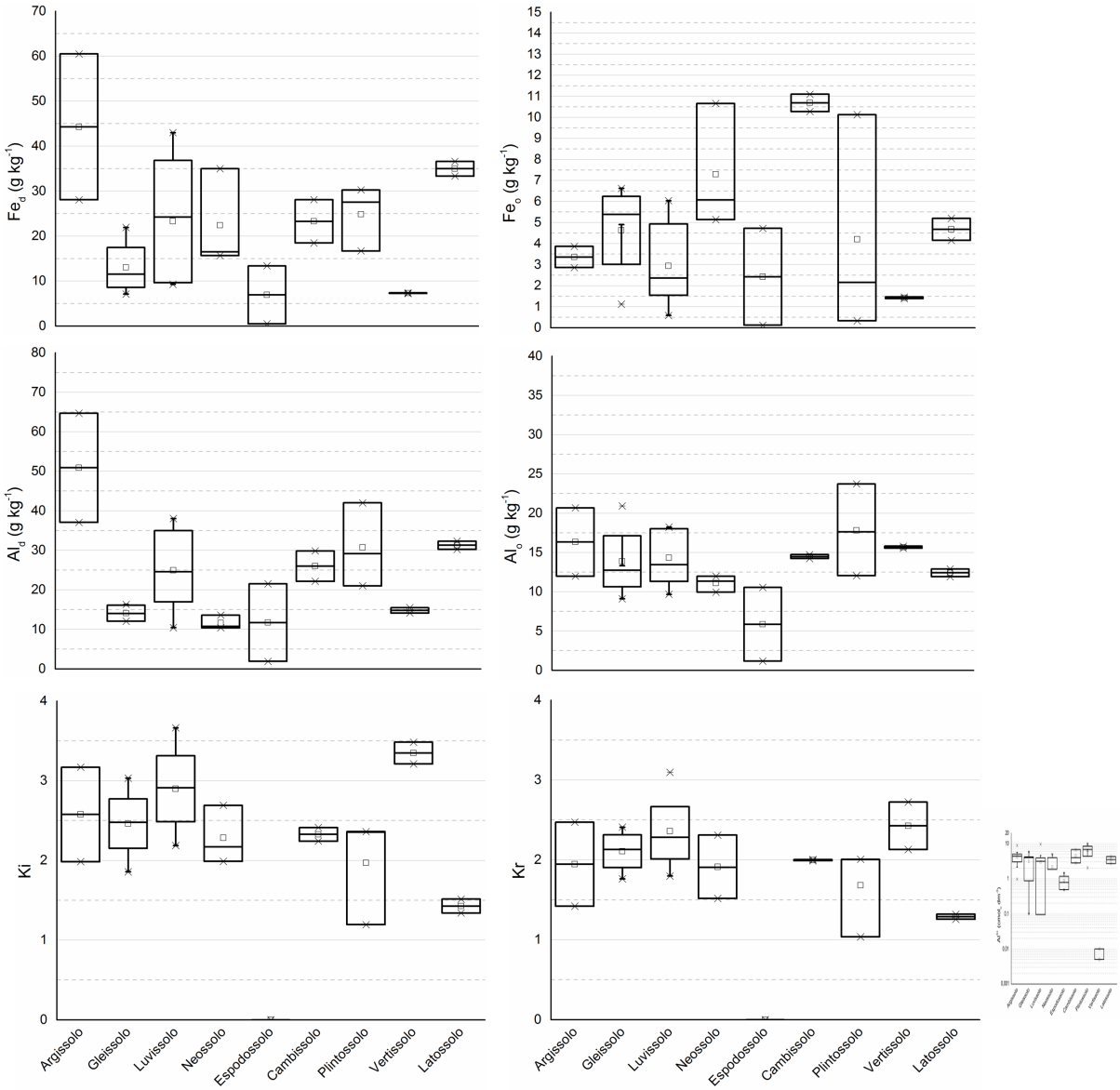


Figura 16 - Gráficos do tipo *box plot* para atributos químicos relacionados à mineralogia das classes de solos estudados na profundidade de 80 - 100 cm



### 2.3.4 Mineralogia da fração argila

Os difratogramas de raios-X representativos da fração argila dos solos dos Estados do Acre e Amazonas são apresentados nas figuras 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26. De maneira geral, os principais minerais identificados foram: caulinita, ilita, goethita, esmectita, vermiculita e quartzo.

Os minerais mais comuns na fração argila dos Argissolos foram a caulinita, ilita, goethita e quartzo (Figura 17 A e B).

Os Cambissolos (Figura 18), Gleissolos (Figura 20) e Neossolos Flúvicos (Figura 23), apresentaram, de maneira geral, mineralogia semelhante, com a presença de esmectita, vermiculita, ilita, caulinita e quartzo.

Quartzo, e anatasio e caulinita foram os minerais presentes na fração argila dos Espodossolos (Figura 19). Caulinita, vermiculita e ilita foram os minerais encontrados na fração argila dos Plintossolos (Figura 24).

Os Latossolos e Luvissolos apresentaram caulinita, ilita e quartzo como os principais minerais da fração argila (Figura 21 e 22).

Por fim, caulinita, ilita, vermiculita com hidroxi entre camadas e quartzo foram os minerais encontrados nos Vertissolos (Figura 25).

Figura 17 - Difratometria de raios - X da fração argila de Argissolos (A, B, C, e D). Amostras naturais e orientadas 0 - 20 cm (A) e amostras e naturais e orientadas 80 - 100 cm (B). Amostras desferrificadas e orientadas 0 - 20 cm (C) e amostras desferrificadas e orientadas 80 - 100 cm (D). Ct - Caulinita; Il - Ilita; Gt - Goethita; Qz – Quartzo

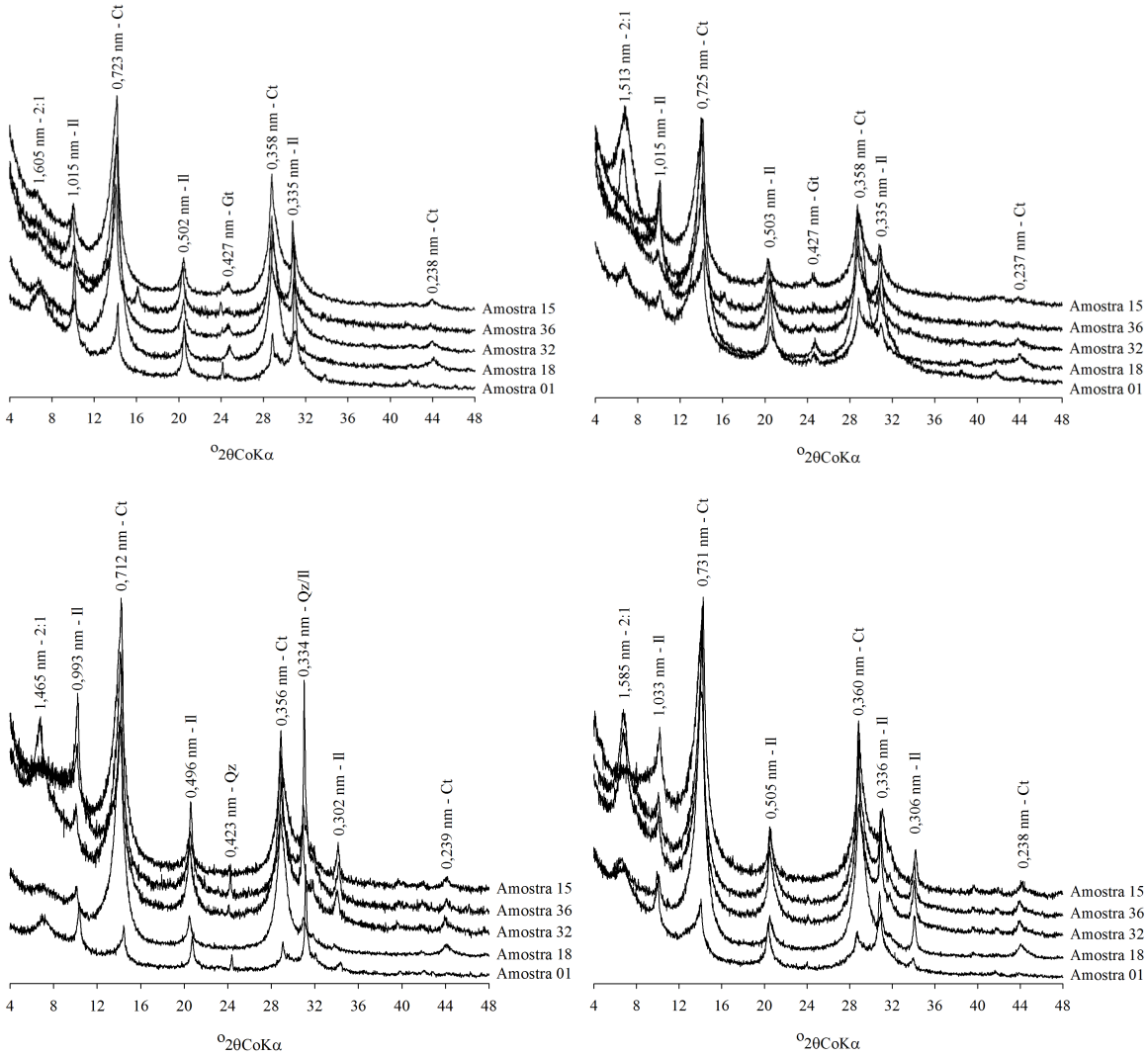


Figura 18 - Difratometria de raios - X da fração argila de Cambissolos (A, B, C, e D). Amostras naturais e orientadas 0 - 20 cm (A) e amostras e naturais e orientadas 80 - 100 cm (B). Amostras desferrificadas e orientadas 0 - 20 cm (C) e amostras desferrificadas e orientadas 80 - 100 cm (D). Ct - Caulinita; Gt - Goethita; Il - Ilita; Qz - Quartzo

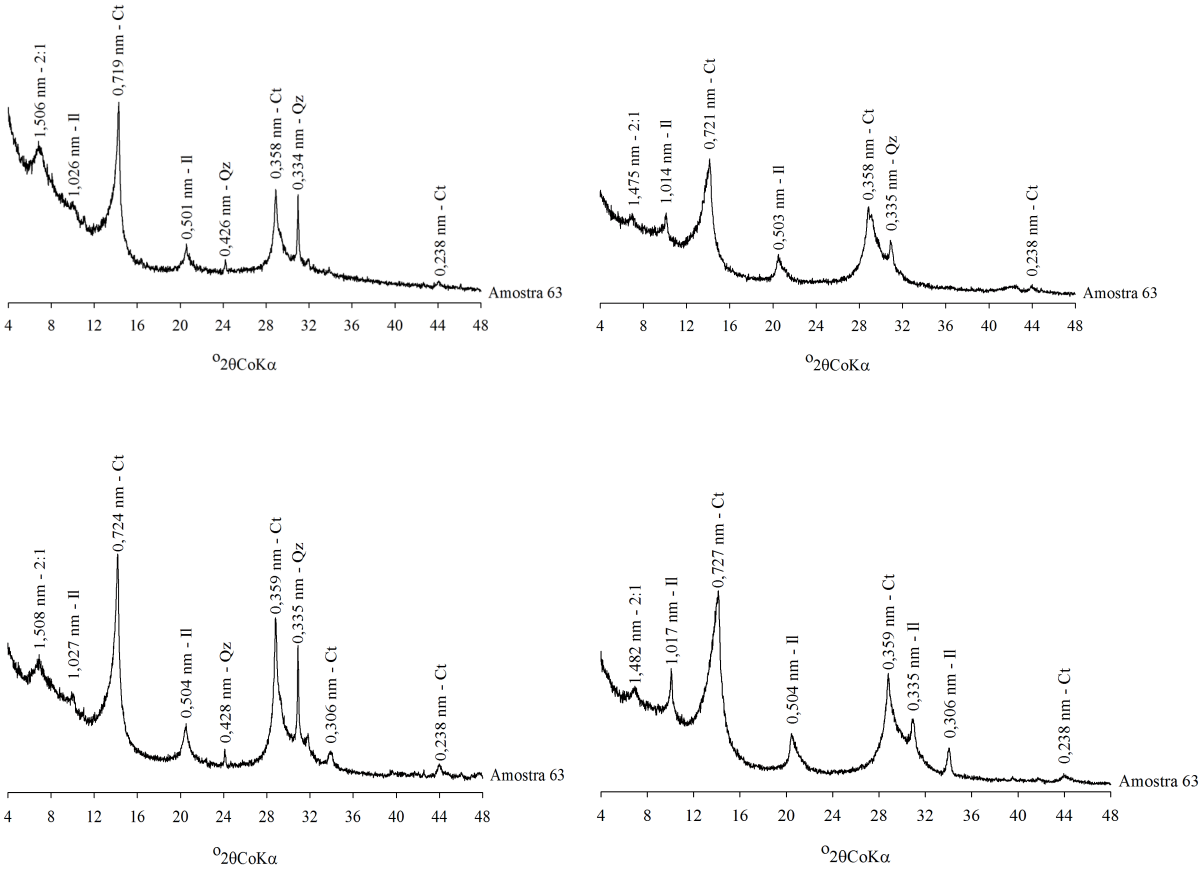


Figura 19 - Difratometria de raios - X da fração argila de Espodossolos (A, B, C, e D). Amostras naturais e orientadas 0 - 20 cm (A) e amostras e naturais e orientadas 80 - 100 cm (B). Amostras desferrificadas e orientadas 0 - 20 cm (C) amostras desferrificadas e orientadas 80 - 100 cm (D). An - Anatásio; Il - Ilita; Qz - Quartzo

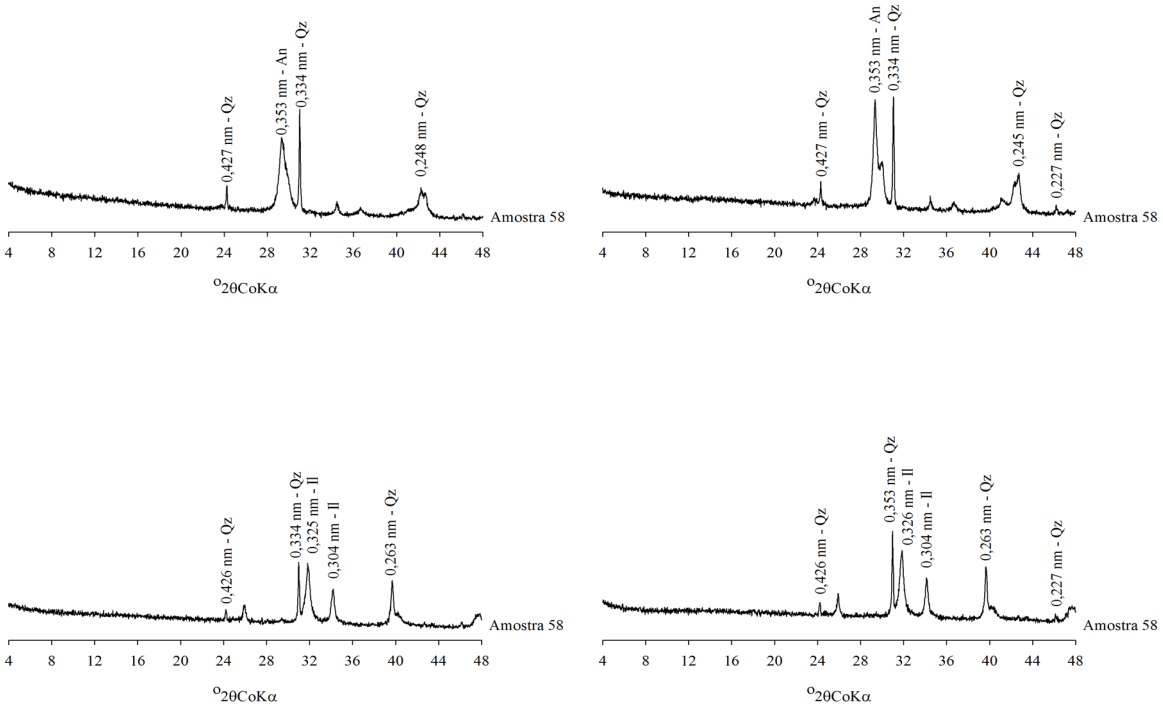


Figura 20 - Difratometria de raios - X da fração argila de Gleissolos (A, B, C, e D). Amostras naturais e orientadas 0 - 20 cm (A) e amostras e naturais e orientadas 80 - 100 cm (B). Amostras desferrificadas e orientadas 0 - 20 cm (C) e amostras desferrificadas e orientadas 80 - 100 cm (D). Es - Esmectita; Ct - Caulinita; Il - Ilita; Qz - Quartzo

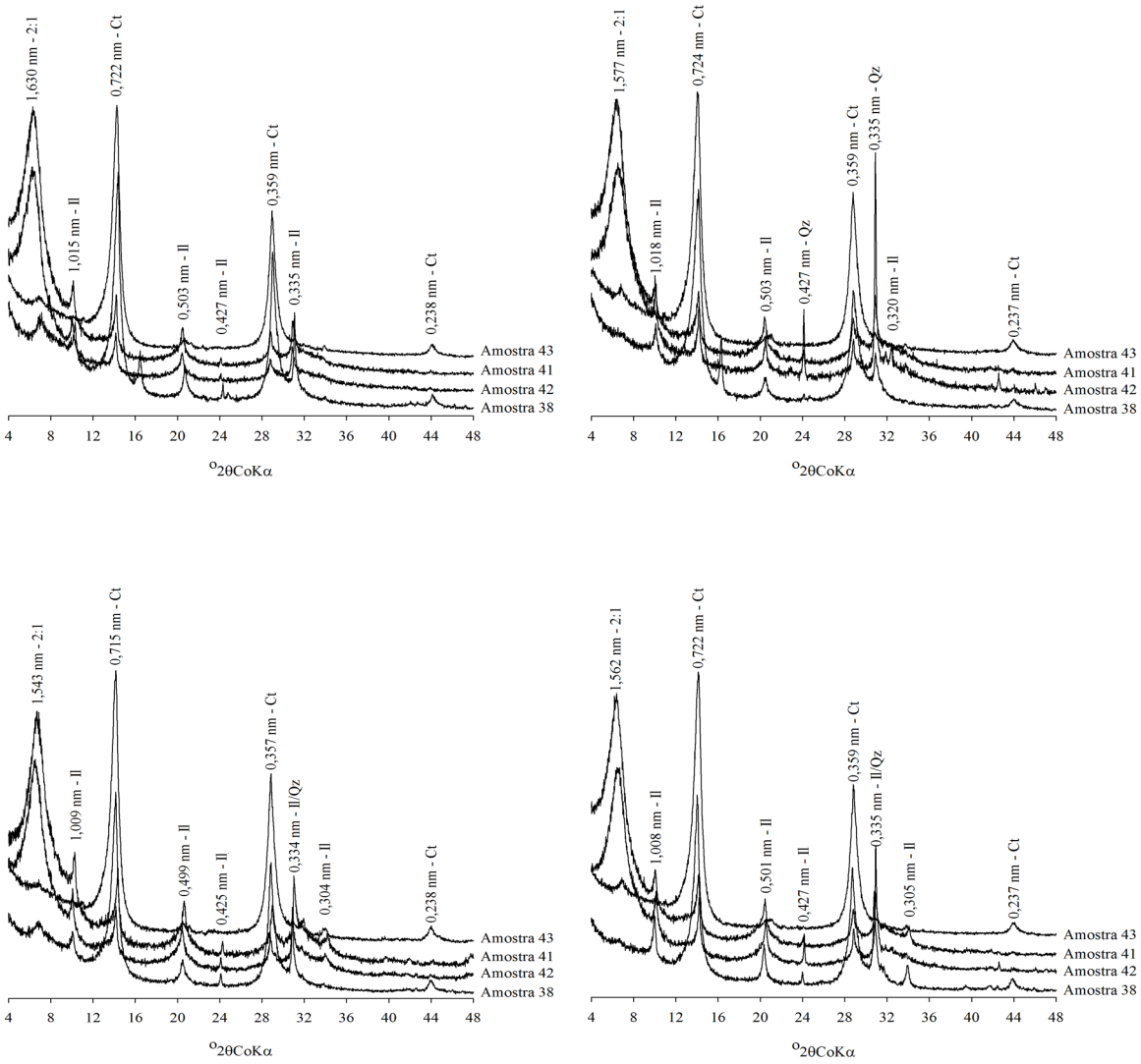


Figura 21 - Difratometria de raios - X da fração argila de Latossolos (A, B, C, e D). Amostras naturais e orientadas 0 - 20 cm (A) e amostras e naturais e orientadas 80 - 100 cm (B). Amostras desferrificadas e orientadas 0 - 20 cm (C) amostras desferrificadas e orientadas 80 - 100 cm (D). VHE - Vermiculita com Hidroxi; Ct - Caulinita; Il - Ilita; Qz - Quartzo

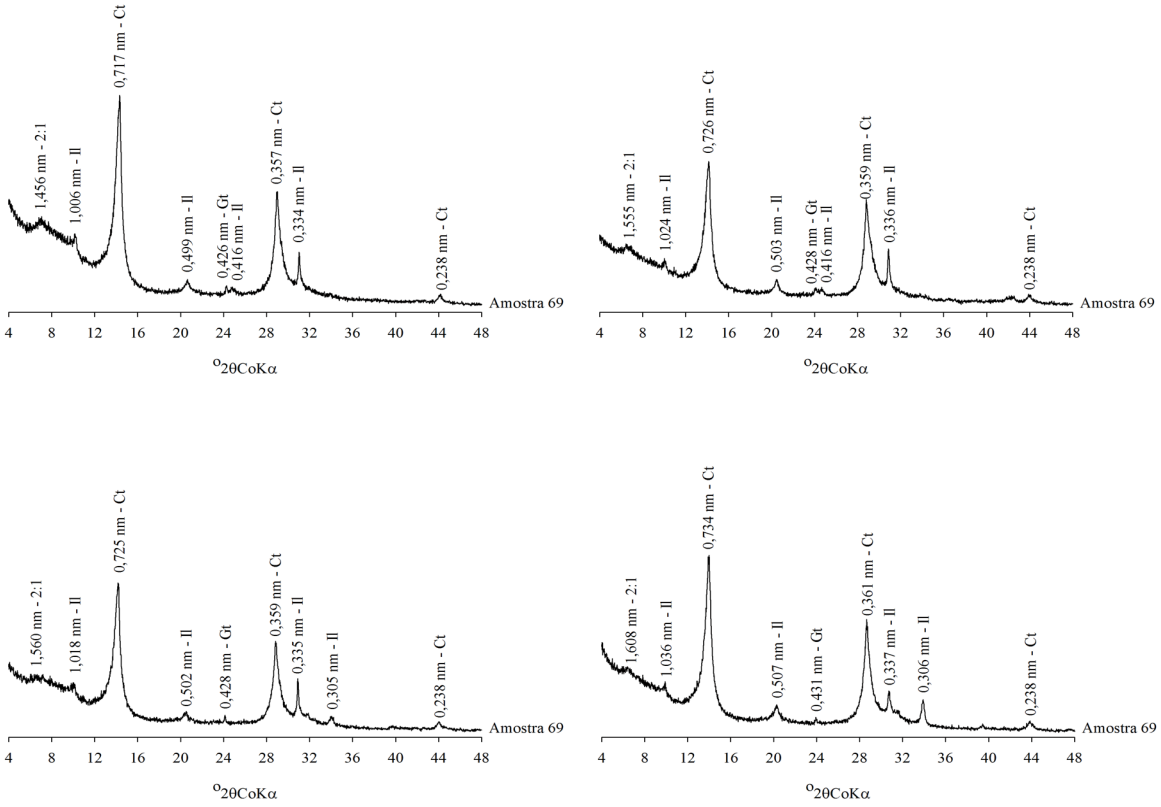


Figura 22 - Difratometria de raios - X da fração argila de Luvissolos (A, B, C, e D). Amostras naturais e orientadas 0 - 20 cm (A) e amostras e naturais e orientadas 80 - 100 cm (B). Amostras desferrificadas e orientadas 0 - 20 cm (C) amostras desferrificadas e orientadas 80 - 100 cm (D). Ct - Caulinita; Il - Ilita; Qz - Quartzo

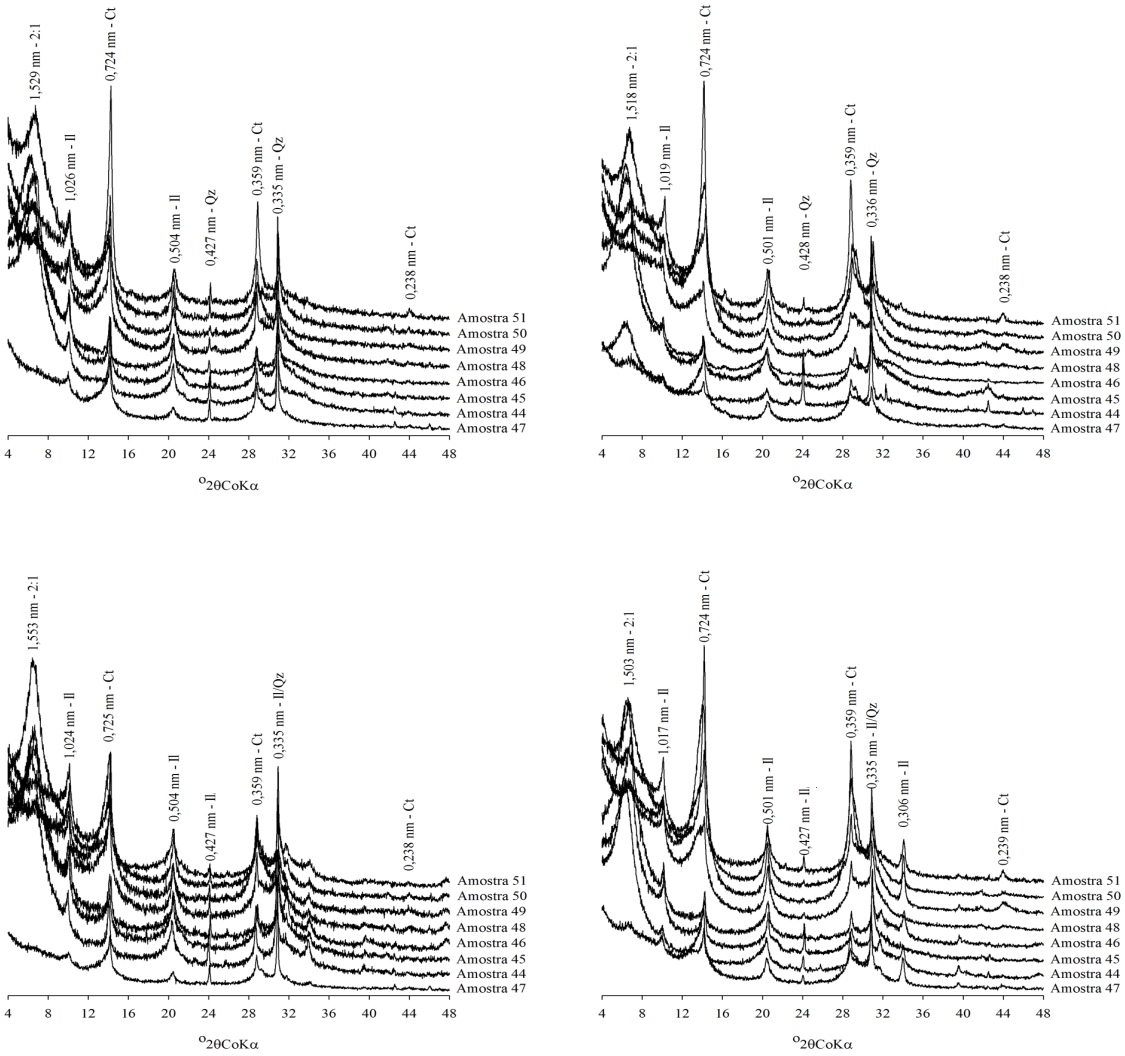


Figura 23 - Difratometria de raios - X da fração argila de Neossolos Flúvicos (A, B, C, e D). Amostras naturais e orientadas 0 - 20 cm (A) e amostras e naturais e orientadas 80 - 100 cm (B). Amostras desferrificadas e orientadas 0 - 20 cm (C) amostras desferrificadas e orientadas 80 - 100 cm (D). VHE – Vermiculita com Hidroxi entre camadas; Ct - Caulinita; Il - Ilita; Qz - Quartzo

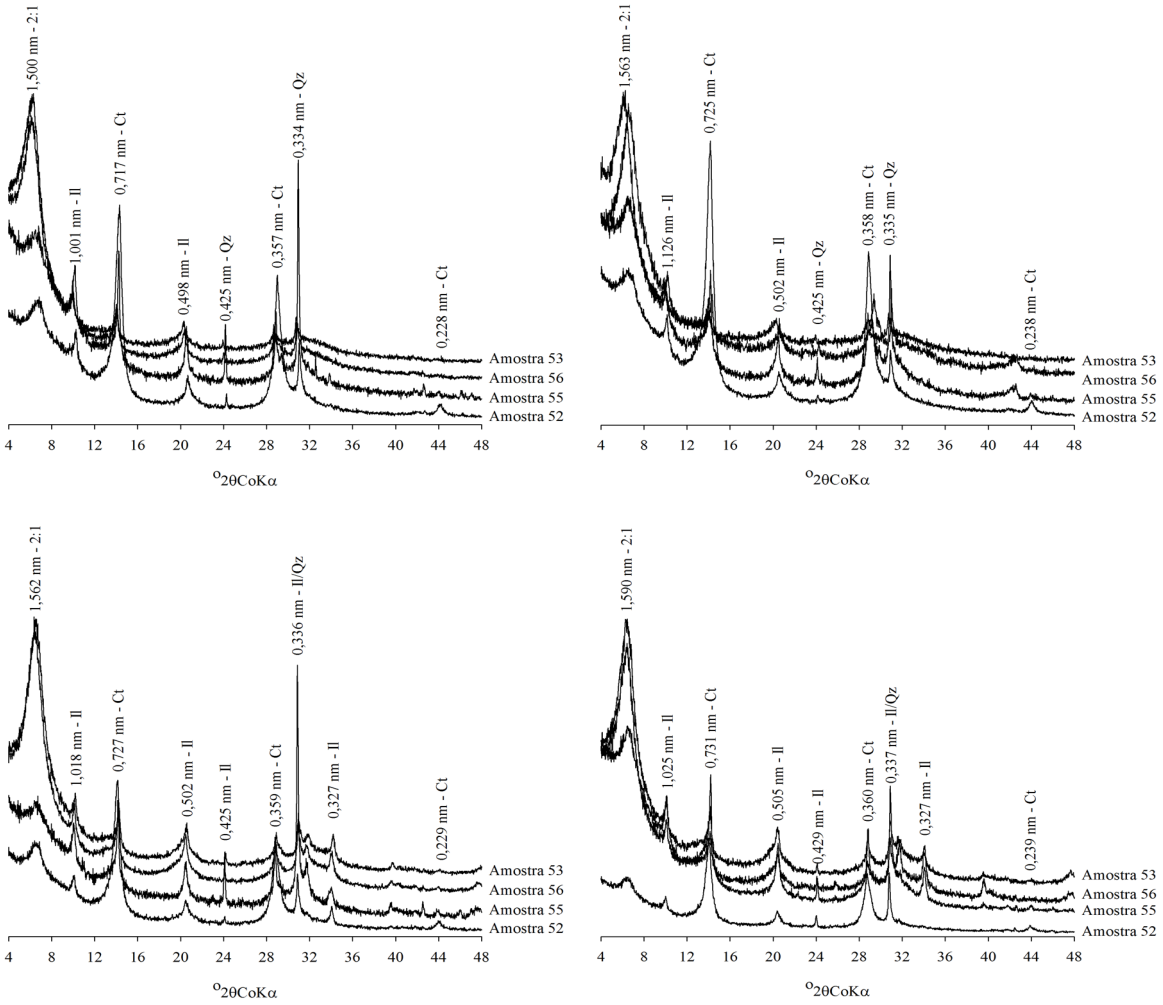


Figura 24 - Difratometria de raios - X da fração argila de Plintossolos (A, B, C, e D). Amostras naturais e orientadas 0 - 20 cm (A) e amostras e naturais e orientadas 80 - 100 cm (B). Amostras desferrificadas e orientadas 0 - 20 cm (C) amostras desferrificadas e orientadas 80 - 100 cm (D). Es - Esmectita; Ct - Caulinita; Il - Ilita; Qz - Quartzo

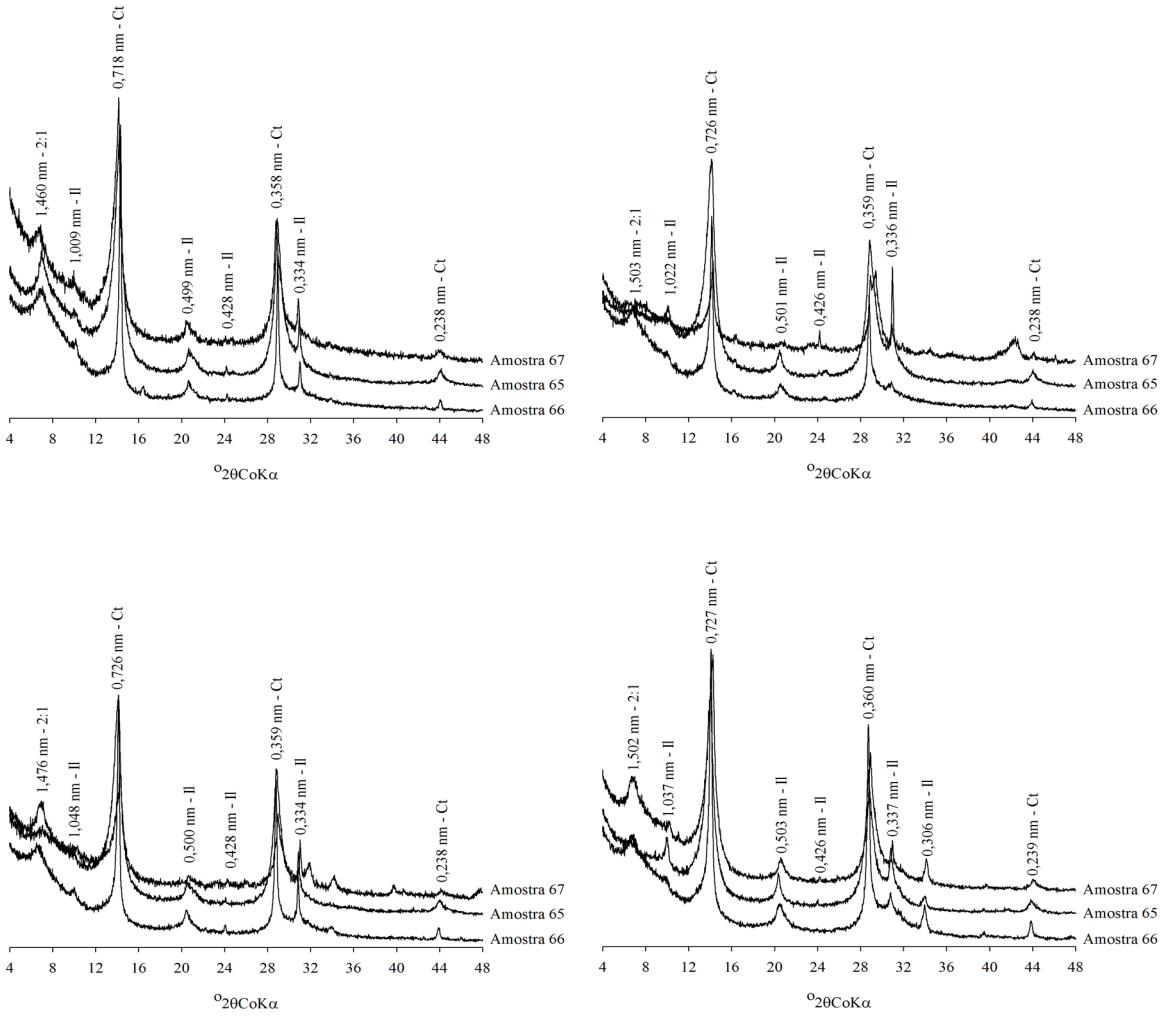


Figura 25 - Difratometria de raios - X da fração argila de Vertissolos (A, B, C, e D). Amostras naturais e orientadas 0 - 20 cm (A) e amostras e naturais e orientadas 80 - 100 cm (B). Amostras desferrificadas e orientadas 0 - 20 cm (C) amostras desferrificadas e orientadas 80 - 100 cm (D). VHE - Vermiculita com Hidroxi entre camadas; Ct - Caulinita; Il - Ilita; Qz – Quartzo

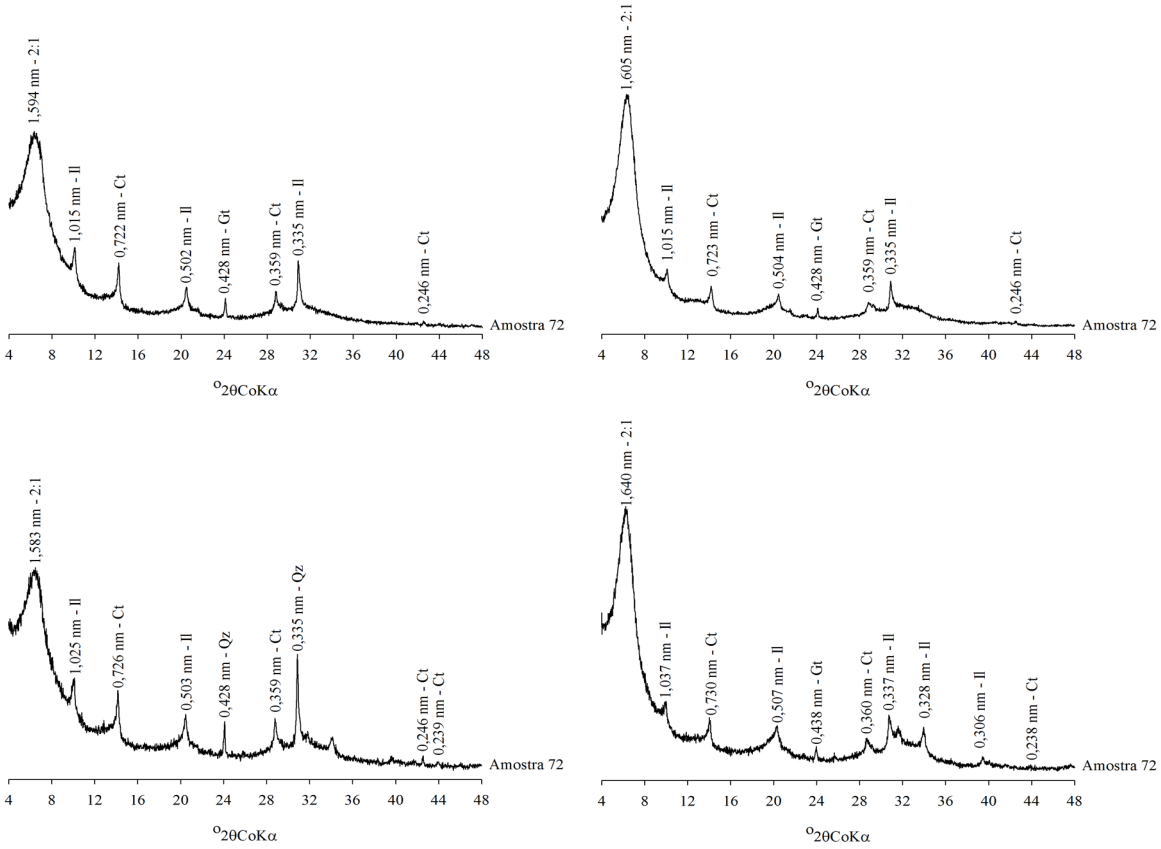
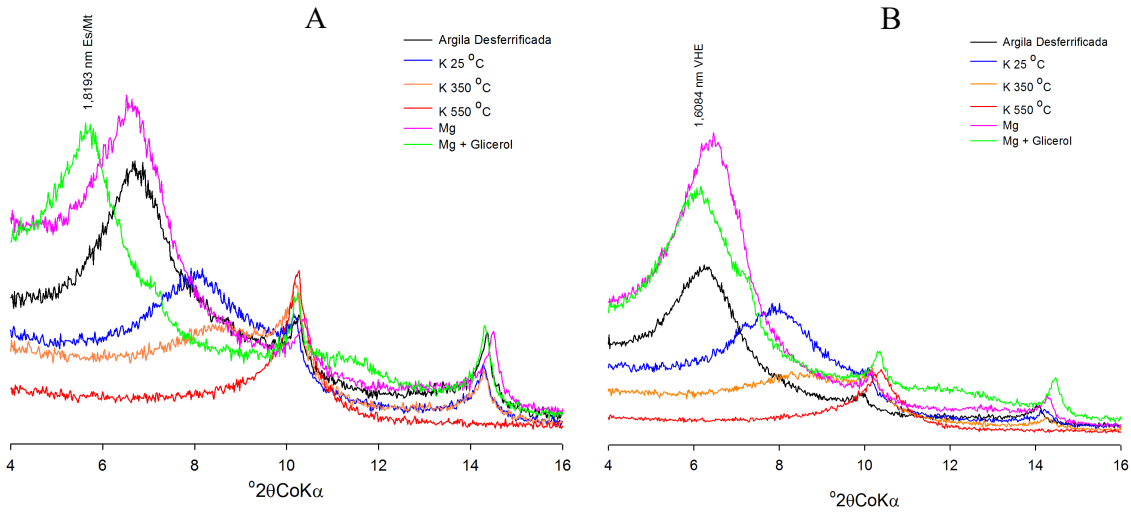



Figura 26 - Difratometria de raios - X da fração argila de Gleissolo(Amostra 01) tratados com Mg; Mg+Glicerol; K25 ºC; K350 ºC e K550 ºC (A). Fração argila de Argissolo (Amostra 42) tratados com Mg; Mg+Glicerol; K25 ºC; K350 ºC e K550 ºC (B).



## 2.4 DISCUSSÃO

### 2.4.1 Atributos químicos e composição granulométrica relacionados à fertilidade dos solos e análise multivariada

Os dados de superfície e subsuperfície evidenciaram que os solos apresentam, de maneira geral, textura argilosa a muito argilosa e, de certa forma, refletem o material de origem sobre o qual foram formados (rochas sedimentares, argilitos, siltitos e folhelhos) (REIS; ALMEIDA, 2006). Este comportamento foi também observado por Campos et al. (2012) em superfícies geomórficas na região de Humaitá (sul do Estado Amazonas), onde esses autores encontraram teores de 382 a 627 g $kg^{-1}$ de argila e associaram tais teores à natureza do material de origem dos solos (sedimentos andinos e subandinos).

Analisando uma topossequência no município de Itacoatiara - Amazonas, Botschek et al. (1996) associaram os elevados teores de argila obtidos em Latossolos (510 - 841 g $kg^{-1}$) ao material de origem dos mesmos (Formação Alter do Chão, anteriormente chamada de Formação Barreiras), formado principalmente por argilitos e arenitos. Segundo esses autores, a presença de solos com menores teores de argila nesta topossequência está relacionada a processos pedogenéticos como eluviação e remoção lateral de argila.

Moreira (2016) estudando solos em áreas com predomínio de rochas ígneas e metamórficas, associadas aos Escudos das Guianas e Brasil Central, os Latossolos e Argissolos (solos de maior ocorrência nessas áreas) encontrou solos com textura argilosa a muita argilosa. Campos et al. (2011), em estudos de solos sobre rochas graníticas na região de Santo Antônio do Matupi - AM, encontraram teores de argila entre 400 - 744 g $kg^{-1}$ e associaram tais teores à maior atividade de intemperismo ao qual os solos foram submetidos. Segundo esses autores, a variação existente entre os teores de argila dos solos está relacionada aos processos pedogenéticos e à variação do relevo nesta região.

Dubroeucq e Volkoff (1998) levantaram três hipóteses sobre a gênese dos Espodossolos na Amazônia e, como consequência, a explicação para a presença de baixos teores de argila nestes solos. Segundo esses autores, a gênese dos solos poderia estar relacionada com (1) o material de formação composto de sedimentos grosseiros, (2) os sedimentos coluviais transportados de áreas elevadas e (3) a transformação progressiva de Latossolos em Espodossolos. Esses autores afirmam que a hipótese mais aceita é a da transformação de Latossolos em Espodossolos, onde ocorre a depleção da fração argila por hidrólise ácida e a remoção dos óxidos de ferro do perfil do solo, com posterior acumulação de minerais de maior resistência aos efeitos da hidrólise (ex: quartzo), constituindo assim a fração areia desses solos. Além disso, Horbe et al. (2004) sugerem que os Espodossolos próximos da cidade de Manaus

têm sua gênese relacionada a movimentos neotectônicos e que tais movimentos permitiram a exposição de arenitos e saprolitos areno-argilosos.

Os resultados dos atributos químicos de cada tipo de solo, aliados aos resultados da análise multivariada (análise de componentes principais) permitiram uma melhor discussão dos dados quanto à fertilidade dos solos.

Observou-se que as maiores médias das variáveis químicas relacionadas à fertilidade dos solos foram obtidas em superfície e tais valores refletem a adição de compostos orgânicos da própria floresta, como galhos, folhas e flores que, ao se decompor, liberam macro e micronutrientes no solo (BRINKMANN, 1989; DEMATTÊ e DEMATTÊ, 1993; MOREIRA; FAGERIA, 2009). Nas áreas de várzea, os efeitos das inundações são responsáveis pela maior fertilidade desses solos. Sabe-se ainda que em florestas tropicais, principalmente nas áreas de terra firme, onde os solos são pobres em nutrientes, a ciclagem tem um papel fundamental na manutenção da biodiversidade destas áreas (VITOUSEK; SANFORD, 1986; QUESADA et al. 2011).

A matéria orgânica contrubui na liberação de nutrientes no solo por meio da ciclagem, mesmo assim, os solos de terra firme na Amazônia são considerados de baixa fertilidade. Os Latossolos e Argissolos desenvolvidos sobre rochas ígneas ou metamórficas dessa região, por exemplo, estão sob constante intemperismo químico, promovendo, dessa forma, a remoção de nutrientes do sistema (QUESADA et al., 2011).

Os solos de terra firme também apresentam baixa fertilidade. Nesse sentindo, Martins et al. (2006) conduziram estudos em áreas de Campos Nativos e Mata sobre a Formação Içá na região sul do Estado do Amazonas e também identificaram solos com baixa fertilidade natural. Lima (2001), em estudo sobre uma topossequência na região do Médio Amazonas (Formação Alter do Chão), observou baixos valores de nutrientes em Latossolos e Plintossolos e associou tais valores à pobreza do material de origem e à intensa lixiviação à qual esses solos foram submetidos. Resultados semelhantes foram também observados por Moreira (2016), estudando solos (Argissolos e Latossolos) do Estado do Amazonas.

Os Plintossolos e Espodossolos também são caracterizados por uma menor fertilidade natural. Lima et al. (2006), estudando uma topossequência sobre a Formação Solimões, encontraram para a classe dos Plintossolos nemor teor de nutrientes, quando comparados aos demais solos da região, e associaram tal fato à posição na paisagem na qual os Plintossolos estão dispostos. Segundo esses autores, estes solos são passíveis de saturação por água ou submersão por elevação do nível do lençol freático e os elementos de maior mobilidade ($K^{+}$, $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$) podem ser removidos do perfil com a drenagem natural dessas áreas. Garcia et al.

(2013) estudaram perfis de Plintossolos na região do Médio Amazonas e encontraram solos pobres em nutrientes catiônicos em todo o perfil, associando tal fato às altas temperaturas e quantidades de chuvas na região, que proporcionam o aumento da lixiviação de bases no perfil do solo. Nesse mesmo sentido, os Espodossolos formados a partir de Latossolos também apresentam baixa fertilidade, fato este relacionado aos baixos teores de argila (fonte de carga negativa para retenção de bases) e a uma maior quantidade de areia (quartzo, que apresenta baixa superfície específica).

A análise de componentes principais indicou, principalmente em superfície, a presença de algumas amostras de Luvissolos, Gleissolos, Neossolos e Vertissolos na direção positiva do componente principal 1 e que estão plotadas também na direção de variáveis relacionadas à fertilidade dos solos (Figura 7). Algums desses solos estão localizados na região central do Estado do Acre e são caracterizados por uma maior fertilidade natural quando comparados aos demais solos.

A Formação Solimões é composta por argilitos avermelhados a acinzentados, arenitos conchíferos, linhitos e sedimentos andinos. Lima et al. (2006), em estudo nesta formação geológica, também encontraram solos com maior fertilidade em relação aos demais de outras formações e relacionaram tal fato ao material de origem e ao menor intemperismo no local. O menor grau de intemperismo nessa região é facilmente observado pela presença de conchas em profundidade, fato este também observado pelos referidos autores. Marques et al. (2002) identificaram nesta região solos com fertilidade superior aos demais solos de terra firme da Amazônia e associaram tal resultado ao material de origem (sedimentos andinos), que apresenta minerais primários como mica e clorita. De fato, as amostras de solo coletadas na formação solimões apresentaram na fração argila mineralogia do tipo 2:1, onde são identificados picos de vermiculita (Figuras 23A e 24).

Sabe-se que os Neossolos Flúvicos, Gleissolos e os Vertissolos apresentam características químicas que os distinguem dos demais solos da região Amazônica. Teores elevados de bases trocáveis nesses solos refletem a natureza recente dos constituintes minerais destes solos e a elevada atividade química da fração argila, formada por minerais com elevada CTC, como vermiculita e montmorilonita. A ocorrência destes minerais nos solos de várzea da região Amazônica está relacionada aos sedimentos andinos que são carreados pelos afluentes dos grandes rios da região. Além disso, estes sedimentos são ricos em minerais pouco intemperizados, como ilita, clorita, esmectita e vermiculita (GUIMARÃES et al., 2013; GUYOT et al., 2007; MARTINELLI et al., 1993). Ainda nesse sentido, a presença de minerais do tipo 2:1, conferindo aos solos uma maior fertilidade, permite o uso agrícola destes, uma vez

que apresentam uma fertilidade muito maior que os solos de terra firme, o que contribui para a fixação de populações humanas nessas áreas (MARTINELLI et al., 1993).

A análise multivariada tem sido uma ferramenta bastante utilizada em estudos de solos, inclusive em outras áreas da região Amazônica. Lips e Duivenvoorden (1996), em um estudo sobre solos da região Amazônica colombiana, identificaram que os teores de nutrientes obtidos apresentavam relação direta com o material de origem dos solos e foram suficientes para diferenciar tipos de solos com a técnica da análise de componentes principais.

Moreira et al. (2009), usando técnicas de análise multivariada, identificaram que o manejo dado a Cambissolos na região de Benjamin Constant - AM estava alterando as propriedades químicas destes solos. Esses autores identificaram que as variáveis relacionadas à fertilidade dos solos apresentavam maior poder de explicação para a variabilidade dos dados. Cambissolos submetidos a processo de queima, por exemplo, apresentaram maiores teores de nutrientes, separando assim de outros tipos de manejo, como os solos para pastagem, que apresentaram menores teores de nutrientes e maiores valores de m%, $Al^{3+}$ e H+Al.

### 2.4.2 Mineralogia da fração argila

A presença de minerais do tipo 2:1 como vermiculita e ilita nos Vertissolo, Neossolos e Gleissolos reflete a carga de material sedimentar proveniente das regiões andinas e subandinas. Guyot et al. (2007) apontam que as precipitações e a topografia das cadeias de montanhas andinas são suficientes para promover uma intensa erosão, com a qual uma enorme carga de sedimentos são transportados anualmente para a bacia Amazônica. Esses autores afirmam ainda que nas áreas mais elevadas da região andina o intemperismo físico é mais atuante que o químico, promovendo a erosão de sedimentos recentes formados principalmente por ilita, clorita e esmectita na fração argila. Segundo Martinelli et al. (1993), à medida que a carga de sedimentos que compõem os solos de várzea da região Amazônica se afasta da principal área fonte (a região Andina), ocorre a redução dos minerais ilita e vermiculita e o aumento de caulinita.

As inundações que ocorrem anualmente nas áreas de várzea da região Amazônica não propiciam condições necessárias para a formação de óxidos de ferro como hematita e goethita, fato observado pela relação entre ferro de baixa cristalinidade e bem cristalizado ($Fe_o/Fe_d$). Segundo Schwertmann e Kämpf (1983), a relação $Fe_o/Fe_d$ é um indicador seguro das formas de óxidos de ferro no solo, onde relações inferiores a 0,05 sugerem a ocorrência de óxidos como hematita e goethita, principais óxidos encontrados em solos de áreas não hidromórficas no Brasil. Nas áreas de várzea, parte do ferro encontra-se na forma iônica ($Fe^{2+}$), apresenta maior solubilidade e sendo facilmente removido do perfil do solo. Quando presentes no solo, as

formas iônicas de ferro geralmente tende a se ligar à matéria orgânica, inibindo assim a formação de óxidos bem cristalizados (LIMA et al., 2006; SCHWERTMANN, KÄMPF, 1983).

Segundo Thompson e Ukrainczyk (2002), a mica da fração argila geralmente é identificada como ilita em solos e rochas sedimentares. A presença de ilita nos solos do Estado do Amazonas e Acre é marcante, principalmente nos solos desenvolvidos de sedimentos mais recentes, como nos terraços fluviais, onde são encontradas as áreas de várzeas (GUIMARÃES et al., 2013; LIMA et al., 2006; MARTINS et al., 2006; GUYOT et al., 2007).

A presença de ilita em Cambissolos, Neossolos Flúvicos, Gleissolos e Plintossolos apresenta relação com o material de origem desses solos. Os Gleissolos e Neossolos Flúvicos recebem constantemente sedimentos andinos durante o período das cheias, sedimentos estes ricos em ilita (GUYOT et al., 2007). Já a presença de ilita em Cambissolos e Plintossolos pode ser considerada uma herança do material de origem (sedimentos das formações Solimões e Içá), bem como resultado do processo de intemperismo de micas presentes nas frações areia e silte (LIMA et al., 2006).

Com exceção dos Espodosolos, a caulinita foi o mineral encontrado em todas as amostras dos solos estudados. No contexto da Formação Solimões, pode ter sua gênese relacionada a três processos: (1) produto do intemperismo de minerais primários ou secundários, (2) neoformação e (3) herança do material de origem. A caulinita como produto de intemperismo de minerais primários ou secundários está relacionada principalmente com os solos formados sobre as rochas ígneas e metamórficas presentes nos Escudos das Guianas e Brasil Central (ORRUTÉA et al., 2012; MELO et al., 2006). Além disso, pode-se esperar que minerais primários e secundários (como a mica) presentes em solos formados sobre rochas sedimentares das formações Solimões e Içá também estejam sujeitos aos processos de intemperismo químico, transformando-se em caulinita.

Balan et al. (2007), usando técnicas como espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica e espectroscopia no infravermelho, identificaram mudanças nas características químicas e físicas de caulinitas em um perfil de Latossolo próximo de Manaus - AM. Em superfície, o mineral em questão apresentava características de uma caulinita mal cristalizada (quando comparado com amostras padrões e com a parte inferior do perfil de solo), de modo que, nesse caso, os autores sugerem a neoformação de caulinita a partir da dissolução de uma caulinita mais antiga. Além disso, os autores acrescentam que, apesar do processo de neoformação, cerca de 20% da composição mineral do solo é formada por caulinitas herdadas do material de origem (caulinitas com maior cristalinidade) e 45% são de caulinitas neoformadas ou de 2ª geração (com menor cristalinidade).

O predomínio de caulinita nestes solos pode também ser evidenciado com base nos índices Ki (médias de 2,69 e 2,14 em superfície e subsuperfície, respectivamente) e Kr (médias de 2,12 e 1,78 para as camadas superficial e subsuperficial, respectivamente), índices estes usados, a principio, para definir o caráter caulinítico ou oxídico de Latossolos, mas que posteriormente também foram adotados para Argissolos e Cambissolos (EMBRAPA, 2013; RESENDE, SANTANA, 1988).

Solos com predomínio de caulinita nos Estados do Amazonas e Acre também foram relatados por Marques et al. (2010), Lima (2001) e Chauvel (1981). Segundo Lucas et al. (1993), existe uma relação entre a atividade biológica e a composição mineral do solo, sendo a ciclagem de elementos químicos aportados pela vegetação um fator relevante na manutenção da caulinita em áreas da Floresta Amazônica. Esses autores acrescentam que a liberação de silício e alumínio, oriundos da decomposição do material vegetal, seria de 5,65 e 0,65 μmol $L^{-1}$, respectivamente, ou seja, uma relação de 8:1. Tal relação é suficiente para promover uma supersaturação de silício na superfície do solo, permitindo assim a estabilização da caulinita, ou até mesmo propiciando condições para a neoformação de caulinita, como proposto por Balan et al. (2007). Essa supersaturação de silício em superfície atuaria como um efeito anti-gibbsítico, tendo em vista que a relação Si/Al favorece a formação de caulinita, e isso pode ser evidenciado pela ausência de picos de grande intensidade de gibbsita.

Os teores de ferro extraídos no ataque sulfúrico ($Fe_2O_3$; média geral de 17,75 e 27,40 g $kg^{-1}$ em superfície e subsuperfície, respectivamente) e os extraídos no DCB ($Fe_d$; média geral de 16,58 e 18,37 g $kg^{-1}$ em superfície e subsuperfície, respectivamente) foram baixos. Sobre o intemperismo de minerais primários, sabe-se que a liberação de Fe para o ambiente permite a formação de óxidos (óxidos e oxi-hidróxidos). Assim, as médias encontradas refletem, de maneira geral, solos formados sobre material sedimentar, geralmente desprovido de minerais primários ricos em Fe (LIMA, 2001).

A predominância de óxidos de boa cristalinidade ($Fe_o/Fe_d < 0,05$) nos solos de terra firme é um indicativo seguro acerca dos tipos de óxidos presentes nesses solos, nesse caso, goethita, como demostrado por Schwertmann e Kämpf (1983). A presença desses minerais desse tipo em solos na Amazônia também foi observada por Kitagawa e Moller (1979), Lima (2001), Marques et al. (2010) e Campos et al. (2011), Xavier (2013), Aquino et al. (2016) e Moreira (2016).

## 2.5 CONCLUSÕES

Os solos do Bioma Amazônia estão distribuídos de maneura geral em dois tipos de ambiente, terra firme e várzea, apresentando características distintas do ponto de vista químico. Os solos de terra firme apresentam uma menor fertilidade e seus teores de nutrientes têm estreita relação com a decomposição de matéria orgânica no solo, enquanto que os solos de várzea, provenientes de sedimentos andinos, apresentam elevada fertilidade natural e tal condição propicia seu uso agrícola entre os períodos das cheias na região.

As diversas classes de solos apresentam uma mineralogia contrastante, o que está relacionado ao material de origem. Os solos formados sobre material de origem sedimentar mais recente, como os da região estudada, apresentam mineralogia do tipo 2:1, com minerais expansivos, e maior fertilidade natural. A caulinita é o mineral predominante na fração argila de todos os solos, exceto dos Espodossolos. Adicionalmente, observou-se a ocorrência freqüente de ilita na fração argila inclusive de solos mais bem drenados.

Ainda há grande necessidade de estudos mais aprofundados com relação à gênese dos solos formados sobre as principais rochas sedimentares, procurando melhor compreender a relação entre tais solos e a Floresta Amazônica. Observa-se também a necessidade de mais estudos voltados à classificação e caracterização desses solos, o que poderá subsidiar um melhor uso e conservação destes.

## 2.6 REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, W. A. P.; MARQUES, J. J. **Manual de coleta de solos para valores de referência de qualidade no Estado de Minas Gerais.** FEAM. Belo Horizonte, 15 p.; il. 2013.

ACRE - Governo do Estado. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico- Econômico do Acre**. Zoneamento ecológico-econômico do Acre fase II**: documento síntese: escala 1:250.000. Rio Branco: SEMA, 2006.

ALLOWAY, B. J. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. **Environmental Pollution** 22, 2013. 615p.

AMARAL, E. F. et al. Solos. In: ACRE. Governo do Estado. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico- Econômico do Acre**. Zoneamento ecológico-econômico do Acre fase II**: documento síntese: escala 1:250.000. Rio Branco: SEMA, 2006.

ANJOS, L. H. C. et al. (Ed.). **Guia de campo da IX Renião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos.** Brasilia, DF: Embrapa, 2013.

AQUINO, R. E. et al. Characteristics of color and iron oxides of clay fraction in Archeological Dark Earth in Apuí region, Southern Amazonas. **Geoderma**, v. 262, p. 35 – 44, 2016.

ARAÚJO, E. A. et al. **Aspectos gerais dos solos do Acre com ênfase ao manejo sustentável.** In: Paulo Guilherme Salvador Wadt. (Org.). Manejo de solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre. Rio Branco: Embrapa/CPAF-Acre, 2005, v. p. 10-38.

ARAÚJO, E.A. **Caracterização de solos e modificações provocadas pelo uso agrícola no assentamento Favo de Mel, na Região do Purus - Acre.** Viçosa, MG: UFV, 2001. 122p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.

BAIZE, D.; STERCKEMAN, T. Of the necessity of knowledge of the natural pedogeochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. **Science Total Environmetal**. v.264, p.127-139, 2001.

BALAN, E. et al. Inheritance vs neoformation of kaolinite during lateritic soil formation: a case study in the middle amazon basin. Clays and clay minerals, v. 55, p. 253 - 259, 2007.

BERNOUX, M. et al. **Carbon storage in biomass and soils**. In M. E. McClain (Ed.), The biogeochemistry of the Amazon Basin and its role in a changing world (pp. 165- 184). Oxford: Oxford University Press. 2001.

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

BIONDI, C. M. **Teores Naturais de Metais Pesados nos Solos de Referência do Estado de Pernambuco.** 2010, 67f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciências do Solo) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BIONDI, C. M. **Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do Estado de Pernambuco. 2010.** 70f. Tese (Doutorado), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

BIONDI, C.M. et al. Teores Naturais de Bário em Solos de Referência do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1819-1826, 2011b.

BIONDI, C.M. et al. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em Solos de Referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1057-1066, 2011a.

BIRANI, S. M. **Teores de metais disponíveis e atributos químicos em solos do Estado do Pará. 2010**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2010.

BOTSCHEK, J., FERRAZ, J., JAHNEL, M., SKWRONEK, A. Soil chemical properties of a toposequence under primary rain forest in the Itacoatiara vicinity (Amazonas, Brazil). **Geoderma**, v. 72, p. 119 - 132, 1996.

BRAVARD, S., RIGHI, D. Characteristics of clays in an oxisol-spodosol toposequence in Amazonia (Brazil). **Clays minerals**, v. 23, p. 279 - 289, 1988.

BRUS, D. J.; LAME, F. P. J.; NIEUWENHUIS, R. H. National baseline survey of soil quality in the Netherlands. **Environmental Pollution**, v. 157, p. 2043-2052. 2009.

CAIRES, S. M. **Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade**. 2009, 304f (Tese de Doutorado) UFV, Viçosa, 2009.

CAMPOS, M. C. C. et al. Características mineralógicas de Latossolos e Argissolos na região Sul do Amazonas. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 9, p. 01-7, 2011.

CAMPOS, M. C. C. et al. Relações solo-superfície geomórficas em uma topossequência várzea-terra firme na região de Humaitá. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 325 – 336, 2012.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; DE MELLO, C. R; CERRI, C.E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2010.

CAVALCANTE, L.M. **Relatório sobre a Geologia do Estado do Acre**. Rio Branco: SEMA/IMAC, 2006. (Texto integrante do eixo recursos naturais do ZEE Fase II). 2006. 25 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras:** água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. (Org.) Organizadores: BRANDÃO, C. J. et al. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB. 73p. (Série Relatórios Ambientais). 2001.

CHAUVEL, A. Contribuição para o estudo da evolução dos Latossolos amarelos, distróficos, argilosos na borda do platô, na região de Manaus: mecanismos da gibbsitização. **Acta Amazônica**, v. 11, p. 227 - 245, 1981.

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

CHEN, M.; MA, L. Q.; HARRIS, W. G. Baseline concentrations of 15 trace elements in florida surface soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 28, 1173-1181, 1999.

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

COELHO, M. R. et al. **Levantamento pedológico de uma área- piloto relacionada ao projeto BiosBrasil** (Conservation and sustainable management of below-ground biodiversity: phase I), município de Benjamin Constant (AM): Janele 6. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 68, EMBRAPA, 2005.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm>. Acesso em: abril de 2015.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 420**, de 28 de dezembro de 2009.

CORREIA, F. W. S.; MANZI, A. O.; CÂNDIDO, L. A.; SANTOS, R. M. N.; PAULIQUEVIS, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, 2007.

COSTA, W. P. L. B. **Metais pesados em solos do Rio Grande do Norte: valores de referência de qualidade e relações geopedológicas**. 2013. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.

CUNHA, O. M. et al. Formas de alumínio em solos ácidos brasileiros com teores excepcionalmente altos de $Al^{3+}$ extraível com KCl. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1362 - 1377, 2015.

DEMATTÊ, J. L. I., DEMATTÊ, J. A. M. Comparisons of chemical properties of forest (Amazon Region) and savanna soils (Central Region) of Brazil. **Scientia Agrícola**, v. 50, n. 2, p. 272 – 286, 1993.

DIAS FILHO, M. B.; DAVIDSON, E. A.; CARVALHO, C. J. R. **Linking biogeochemical cycles to cattle pasture management and sustainability in the Amazon Basin**. In: MCCLAIN, M.E.; VICTORIA, R.L. & RICHEY, J.E., eds. The biogeochemistry of the Amazon Basin. New York, Oxford University Press. p.84-105. 2001.

dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays Clay Mineral** 7, 317-327. 1960.

DUBBE, A.; ZBYTNIEWSKI, R.; KOWALKOWSKI, T.; CUKROWSKA, E.; BUSZEWSKI, B. Adsorption and migration of heavy metals in soil. **Polish Journal of Environmental Studies**, vol. 10, n. 1, 2001.

DUFFUS, J. H. "Heavy Metals" - A meaningless term? (IUPAC Technical Report). **Pure Appl. Chem**., Vol. 74, No. 5, pp. 793-807, 2002.

EIRAS, J. F., et al. **Bacia do Solimões.** Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, 8(1):17-45, 1994.

EMBRAPA. **Levantamento de solos e zoneamento agroecológico preliminar de área de influência da Rodovia BR-364 no Estado do Acre.** (Primeiro relatório parcial). EMBRAPA/SNLCS-SEPLAN/AC. Belém, PA. 1979. 16 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo.** 3º ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos, Rio de Janeiro. 2017. 230 p.

FADIGAS, F. S. et al. Concentraçãoes naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 151 - 159, 2002.

FADIGAS, F. S. et al. Estimation of reference values for Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in Brazilian soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, p. 945- 959, 2006.

FADIGAS, F.S. et al. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, 699-705, 2006.

FALESI, I. C. **Solos da Rodovia Transamazônica**. 55. ed. Belém: IPEAM, 1972. 196 p.

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

FISCH, G.; MARENGO, J. A; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica**., 28(2): 101-126. 1998.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Iron oxides in selected Brazilian Oxisols: I. Mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, 55(4): 1143-1149, 1991.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Iron oxides in selected Brazilian Oxisols: I. Mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v.72, n.1, p.37-51, 1996.

FONTES, M. P. F.; WEED, S.B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, 72: 37-52, 1996.

FRITSCH, E., MONTES-LAUAR, C. R., BOULET, R., MELFI, A. J., BALAN, E., MAGAT, P. Lateritic and redoximorphic features in a faulted landscape near Manaus, Brazil. European **Journal of Soil Science**, v. 53, p. 203 - 217, 2002.

GAMA, J. R. N. F. & KIEHL, J. C. Influência do alumínio de um podzólico vermelho-amarelo do Acre sobre o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 475-482, 1999.

GAMA, J. R. N. F. **Caracterização e formação de solos com argila de atividade alta no Estado do Acre.** Itaguaí, RJ: UFRRJ, 1986. 150 p. Dissertação de Mestrado.

GARCIA, C. H. P. et al. Chemical properties and mineralogy of soils with plinthite and petroplinthite in Iranduba (AM), Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 936 - 946, 2013.

GOMES, P. C.; FONTES, M. P. F.; COSTA, L. M.; MENDONÇA. Extração fracionada de metais pesados em latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 543 - 551, 1997.

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

GUIMARÃES, S. T. et al. Caracterização e classificação de gleissolos da várzea do rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, n. 2, p. 317-326, 2013.

GUYOT, J. L. et al. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. **Catena**, v. 71, p. 340-356. 2007.

HORBE, A. M. C. et al. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari - AM, Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 37, p. 81 - 90, 2007.

HORBE, A. M. C., HORBE, M. A., SUGUIO, K. Tropical Spodosols in northeastern Amazonas State, Brazil. **Geoderma**, v. 229, p. 55 - 68, 2004

HORCKMANS, L.; SWENNEN, R.; DECKERS, J.; MAQUIL, R. Local background concentrations of trace elements in soils: a case study in the Grand Duchy of Luxembourg. **Catena**, v. 59, p. 279-304, 2005.

IBGE, 2010a. Mapa de Solos do Estado do Amazonas. ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/pedologia/unidades_federacao/am_pedologia. pdf Acesso em 28 de Junho de 2016.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants.** 3.ed. Boca Raton, CRC Press, 413p, 2001.

KABATA-PENDIAS, A. Behavioural properties of trace metals in soils. **Applied Geochemistry**, n. 2, p. 3-9, 1993.

KABATA-PENDIAS, A. Soil-Plant transfer of trace elements - an environmental issue. **Geoderma**, v.122, p.143-149, 2004.

KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U., Goethite and hematite in a climo-sequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. **Geoderma**, v. 29, p. 27-39, 1983.

KITAGAWA, Y., MOLLER, M. R. F. Clay mineralogy of some typical soils in the Brazilian Amazon region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 14, p. 201 – 228, 1979.

LATRUBESSE, E. M. et al. Paleoenviromental model for the late cenzoic of southwestern Amazonia: paleontolgy and geology. **Acta Amazonica**., 27, 103-118. 1997.

LI, Z.; MA, Z.; KUIJP, T. J.; YUAN, Z.; HUANG, L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. **Science of The Total Environment**, vol. 468-469, p. 843-853, 2014.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 176p. (Tese de Doutorado).

LIMA, H. N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER C.E.G.R.; KER, J.C.& LIMA, A.M.N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 59-68, 2006.

LIPS, J., DUIVENVOORDEN, J. F. Regional patters of well drained upland soil differentiation in the middle Caquetá basin of Colombian Amazonia. **Geoderma**, v. 72, p. 219 – 257, 1996.

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

LUCAS, Y. et al. The relation between biological activity of the rain forest and mineral composition of soils. **Science**, v. 260, p. 521 - 523, 1993.

MA, L. Q.; TAN, F.; HARRIS, W. G. Concentration and distributions of eleven metals in Florida soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 26, p. 769-775. 1997.

MAIA, S. M. F. et al. Effect of grassland management on soil carbono sequestration in Rondônia and Mato Grosso States, Brazil. **Geoderma**. 149, 84-91. 2009.

MARQUES, J. D. O. et al. Atributos químicos, físicos-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. **Acta Amazônica**, v. 40, p. 1 – 12, 2010.

MARQUES, J. J. G. S. M.; TEIXEIRA, W.G.; SCHULZE, D.G. & CURI, N. Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. **Clay Mineralogy**, v. 37, p. 651-661, 2002.

MARTINELLI, L. A. et al. Chemical and mineralogical composition of Amazon River floodplain sediments, Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 8, p. 391 – 402, 1993.

MARTINEZ-LLADÓ, X.; VILÀ, M.; MARTÍ, V.; ROVIRA, M.; DOMÈNECH, J. A.; PABLO, J. Trace element distribution in topsoils in Catalonia: background and reference values and relationship with regional geology. **Environmental Engineering Science**, v. 25, p. 863-898. 2008.

MARTÍNEZ, J.; LLAMAS, J.; MIGUEL, E.; REY, J.; M. C. HIDALGO, M. C. Determination of the geochemical background in a metal mining site: example of the mining district of Linares (South Spain). **Journal of Geochemical Exploration**, v. 94, p. 9-29. 2007.

MARTINS, J. S. **Pedogênese de podzólicos vermelho-amarelos do Estado do Acre, Brasil**. 1993. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, PA.

MATOS, A. T.; FONTES, M. P. F.; JORDÃO, C. P.; DA COSTA, L. M. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20, 379-386, 1996.

McGRATH, S.P.; ZHAO, F.J. Ambient background metal concentrations for soils in England and Wales. **Environmental Agency**, 2006. 31p.

McKEAGUE, J.A.; DAY, J.H.D. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 46, p. 13-22, 1966.

McKENZIE, R.M. The adsorption of lead and other heavy metals on oxides of manganese and iron. **Australian Journal of Soil Research**, v.21, p. 505-513, 1980.

MEHRA, O. P., JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by

MELO, V. F. et al Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1039 – 1050, 2006.

MIRANDA-TREVINO, J. C.; COLES, C. A. Kaolinite properties, structure and influence of metal retention on pH. **Applied Clay Science**, v. 23, p. 133-13, 2003.

MOLINA, M.; ABURTO, F.; CALDERÓN, R.; CAZANGA, M. & ESCUDEY, M. Trace element composition of selected fertilizers used in Chile: Phosphorus fertilizers as a source of long-term. soil contamination. **Soil and sediment Contamination**., v.18, p.497-511, 2009.

MÖLLER, M. R. F.; KITAGAMA, Y. **Mineralogia de argilas em cambissolos do sudoeste da Amazônia Brasileira.** Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1982. 19 p. (Embrapa-CPATU. Boletim de Pesquisa, 34)., OLIVEIRA, V. H.; ALVARENGA, M. I. N. Principais solos do Acre. Rio Branco, AC: Embrapa-UEPAE, 1985, 40 p. (Embrapa-UEPAE. Documentos, 5).

MOREIRA, A., FAGERIA, N. K. Soil chemical atributes of Amazonas State, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, p. 2912 - 2925, 2009.

MOREIRA, F. M. S. et al. Differentiation in the fertility of Inceptisols as related to land use in the upper Solimões revier region, western Amazon. **Science Total Environment**, v. 408, p. 349 - 355, 2009.

MOREIRA, L. J. S. **Caracterização química, física e mineralógica e teores naturais de metais pesados em solos do Estado do Amazonas - Brasil**. 2016. 144f. Tese, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

NAGAJYOTI, P. C.; LEE, K. D., SREEKANTH, T. V. M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 8, p. 199-216, 2010.

NAIDU, R.; SUMNER, M. E.; HARTER, R. D. Sorption of heavy metals in strongly weathered soils: an overview. Environmental Geochemistry and Health, v. 20, n. 01, p. 5-9, 1998.

NIMER, E. **Clima:** Geografia do Brasil - Região Norte. IBGE. Rio de Janeiro, v.3, 61- 67p. 1991.

OLIVEIRA, I. A., et al. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 45, p. 1 – 12, 2015.

ORRUTÉA, A. G., MELO, V. F., MOTTA, A. C. V., LIMA, V. C. Mineralogia e reserva de K de Cambissolos submetidos a diferentes manejos após derrubada e queima da floresta na Amazônia Meridional. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 2, p. 461 – 470, 2012.

PAYE, H. de S. et al. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.34, p.2041- 2051, 2010.

PIERANGELI, M. A. P. et al. Teor total e capacidade máxima de adsorção de chumbo em Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 279-288, 2001

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

REIS, N. J; ALMEIDA, M. E. **Arcabouço Geológico**. In: MAIA, M.A.M.; MARMOS, J.L., eds. Geodiversidade do Estado do Amazonas. Manaus, CPRM, 2010. p.17-26.

RESENDE, M. SANTANA, D.P. **Uso das relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para a classificação dos Latossolos.** In: Reunião de classificação, correlação de solos e interpretação de aptidão agrícola, 3. Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, Embrapa – SNLCS, SBCS, 1988. p.225-232.

RODRIGUES, T. E. et al. **Caracterização e classificação dos solos do município de Presidente Figueiredo, Estado do Amazonas**. Documentos n° 123, EMBRAPA, 2001.

RODRIGUES, T. E. **Solos da Amazônia**. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F., eds. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.19-60.

SALATI, E. et al. **Amazônia:** desenvolvimento, integração e ecologia. São Paulo, Brasliense; Brasília, CNPq, 1983.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, L. A. C. et al. Caracterização de Terras Pretas Arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 825 – 826, 2013.

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

SCHWERTAMNN, U., KAMPF, N. Óxidos de ferro jovens em ambientes pedogenéticos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 251 – 255, 1983.

SIAM - **SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL**. Disponível em < http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=18414#_ftn1>. Acessado em 04 de dezembro de 2016.

SILVA, F. W. R. et al. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (Terras Pretas de Índio) na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 673 – 681, 2011.

SIOLI, H. **Amazônia:** Fundamentos de ecologia da maior região de florestas tropicais. Trad. J. BECKER. Ed. Vozes, Petrópolis, 1990. 72 p.

SOARES FILHO, B. S. et al. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, p. 520-523, 2006.

SOMBROEK, W.G. **Amazon soils:** A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen, Centre for Agricultural Publication and Documentation, 1966. 292p.

SU, Y. Z.; YANG, R. Background concentrations of elements in surface soils and their changes as affected by agriculture use in the desert-oasis ecotone in the middle of Heihe River Basin, north-west China. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 98, p. 57-64. 2008.

TAVARES, T. M; CARVALHO, F. M. Avaliação de exposição de populações a metais pesados no ambiente: exemplos do Recôncavo Baiano. Quimica Nova, v.15, n. 2, 1992.

TEIXEIRA, W.G.; et al. **Solos do Estado do Amazonas**. In: MAIA, M.A.M.; MARMOS, J.L., eds. Geodiversidade do Estado do Amazonas. Manaus, CPRM, 2010. p.71-86.

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

THOMPSON, M.L., UKRAINCZYK, L. Micas. In: DIXON, J.B. & SCHULZE, D.G. Soil mineralogy with environment applications. Madison, 2002. p.431-461. (SSSA Book Series, 7)

TURNER, W. R.; BRANDON, K.; BROOKS, T. M.; COSTANZA, R.; FONSECA, G. A. B.; PORTELA, R. Global conservation of biodiversity and ecosystem services. **Bioscience**, v. 57, p. 868 2007.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Method 3051a** - Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Revision 1 Fev 2007. 30p. Disponível em ‹http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf›. Acesso em março de 2015.

vegetacao/unidades_federacao/am_vegetacao.pdf>. Acesso em 28 de Junho de 2013.

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

VITOUSEK, P. M., SANFORD JR, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 137 – 167, 1986.

WADT, P. G. S. **Manejo de solos ácidos do Estado do Acre.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre. 2002. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 79).

WUANA, R. A., OKIEIMEN, F. E. Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. **ISRN Ecology**. v.11, 2011.

XAVIER, B. T. L. **Mineralogia e teores naturais de metais pesados na bacia sedimentar Amazônica**. 2013. 110f. Tese, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

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

ZHAO, F. J.; McGRATH, S. P.; MERRINGTON, G. Estimates of ambient background concentrations of trace metals in soils for risk assessment. **Environmental Pollution**, v. 148, p. 221-229. 2007.

# 3. CAPÍTULO II - TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS DA BACIA DO RIO JURUÁ.

## RESUMO

A Amazônia destaca-se não somente no cenario nacional, mas tambem internacional por abrigar a maior floresta equatorial úmida, sendo relevante econômica e social para a região. Atividades humanas como desmatamento, queimadas, pecuária, expansão urbana e industrial, tem contribuído para a redução da mesma. Essas práticas são responsáveis pela emissão de subustâncias inorgânicas e orgânicas no meio, dentre elas os metais pesados, que são encontrados naturalemte no ambiente, mas também podem ter seus teores influenciados por ações antrópicas. A determinção dos teores naturais de metais pesados, visa a partir da elaboração de Valores de Referência de Qualidade (VRQ's) distinguir os teores de origem antrópica, visando contribuir no embasamento de ações de fortalecimento de políticas públicas de cunho ambiental, visando a proteção dos solos. O trabalho teve como objetivo determinar os teores naturais de As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Ti, V, Zn e Zr em solos da bacia do Rio Juruá de acordo com metodologia preconizada pela Resolução CONAMA 420/2009 e a relação com a química e mineralogia, visando subsidiar o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ's) dos Estados do Amazonas e Acre. Amostras de 73 solos foram usadas para a determinação dos teores naturais de metais, que foram extraídos por disgestão ácida ($HNO_3$ + HCl). Os resultados apontam que os solos desses Estados apresentam teores de metais inferiores aos de solos de outras partes do Brasil e do mundo. Os maiores teores foram encontrados nos solos e várzea (Gleissolos e Neossolos), e os menores teores foram observados nos Espodossolos. Com o uso da análise multivariada, foi possível indentificar dois grupos de metais nesses solos, em que os solos de várzea apresentaram os maiores teores médios de As, Cd, Hg, Co, Zr, Ti e V. Os elementos Ba, Mn, Pb, Cr, Cu, Zn apresentaram seus maiores teores nos solos de terra firme. Os teores naturais de metais pesados em solos dos Estados do Acre e Amazonas seguiram a seguinte ordem: Mn > Ti > Ba > V > Zn > Co > Pb > Cu > Zr > Cr > Ni > As > Hg > Cd.

Palavras-chave: Metais pesados. VRQ's. Amazônia. Solos de várzea. Meio ambiente

# NATURAL CONTENT OF HEAVY METALS ON SOILS OF THE JURUÁ RIVER BASIN

## ABSTRACT

The Amazon region stands out not only in the national scenario, but also internationally because it houses the largest humid equatorial forest, the Amazon Forest being economically and socially relevant to the region. Human activities such as deforestation, burning, livestock, urban and industrial expansion, have contributed to the reduction of the forest. These practices are responsible for the emission of organic and inorganic substates in the environment, among them the heavy metals, which are naturally found in the environment, but may also have their levels influenced by anthropogenic actions. The determination of the natural contents of heavy metals is aimed at distinguishing the levels of anthropogenic origin from the elaboration of Quality Reference Values (VRQ's), intending to contribute to the strengthening of public policies of environmental nature, aiming at the protection of soils. The present study has the objective of determining the natural levels of heavy metals in soils of the states of Acre and Amazonas, with the prorpose to subsidize the environmental bodies to elaborate the VRQ's. Samples of 73 soils were used to determine the natural metal contents, which were extracted in acidic disgestion ($HNO_3$ + HCl). The results indicate that the soils of these states present lower levels of metals than the soils of other parts of Brazil and the world. The highest levels were found in soils and várzea (Gleissols and Neosols), and the lowest levels were observed in Spodosols. With the use of multivariate analysis, it was possible to identify two groups of metals in these soils, where the soils of the floodplain presented the highest average levels of As, Cd, Hg, Co, Zr, Ti and V. The elements Ba, Mn, Pb, Cr, Cu and Zn presented their highest levels in the terra firme soils. The natural levels of heavy metals in soils of the states of Acre and Amazonas followed the following order: Mn > Ti > Ba > V > Zn > Co > Pb > Cu > Zr > Cr > Ni > As > Hg > Cd.

Keywords: Heavy metals. VRQ's. Amazônia. Soils of várzea. Environment.

## 3.1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é constituída por uma das mais extensas e antigas áreas geologicamente estáveis do mundo, o Cráton Amazônico, que se estende de Roraima ao Planalto Central, cuja parte central é recoberta por sedimentos de idades variadas. Apesar da Amazônia ser dominada por terras baixas, boa parte da região é associada a solos bem drenados e se encontram influenciadas por oscilações do nível do mar, que acompanharam as grandes mudanças climáticas do Quaternário (SCHAEFER, et al., 2017).

As rochas sedimentares representam 66,8% da área da Amazônia Legal. É interessante ressaltar, no entanto, que o conjunto de rochas sedimentares forma uma fina capa sobre as rochas ígneas e metamórficas, que formam seu embasamento (IBGE, 2011). As maiores extensões de rochas sedimentares são medidas no Estado do Amazonas, onde 1.344.201,7 km$^2$ prefazem 86,2% da área estadual. No Estado do Acre 99,8% é recoberto por rochas sedimentares representando o maior percentual da Amazônia Legal (SCHAEFER, et al., 2017).

Os Estados do Amazonas e Acre abrangem uma área de 1.559.146,876 km$^2$ e 164.123,737 km$^2$ respectivamente, apresentando população estimada em 4.080.611 habitantes no Amazonas, e 869.265 habitantes no Acre dos quais em média 70 % vivem em zonas urbanas e o restante vive nas zonas rurais (IBGE, 2018). O clima do Estado Amazonas, de acordo com a classificação de Köppen, é dividido em dois tipos: Afi (clima tropical chuvoso sem estação seca) e Ami (clima tropical chuvoso com pequeno período seco), com temperatura média anual de 25,9 °C, precipitação média de 2536 mm por ano (VIEIRA; SANTOS, 1987). O clima do Acre é caracterizado como tropical chuvoso do tipo Ami, segundo classificação de Köppen com temperatura média em torno de 24,5 °C, com mínima de 18 °C e máxima de 32 °C e precipitação média anual de 1956 mm (MESQUITA, 1996).

As bacias sedimentares do Amazonas, Solimões, Alto Tapajós e Acre, são as principais feições geológicas desses Estados. Tais bacias estão depositadas sobre um substrato rochoso pré-cambriano, onde ocorrem rochas de natureza ígnea, sedimentar e metamórfica (Figura 1) (REIS, ALMEIDA, 2010). A Bacia do Solimões representa uma das mais homogêneas e monótonas pedopaisagens da Amazônia, pela regularidade do relevo tubular, ou fracamente dissecado, e pela evolução da paisagem sob fraco soerguimento, com substratos poucos permeáveis (SCHAEFER, et al. 2017).

A Bacia do Solimões com 500.00 km$^2$ de área está delimitada a oeste com a bacia do Acre, pelo Arco de Iquitos; a leste com a Bacia do Amazonas, pelo Alto Purus. Dentro da bacia, o Arco de Carauari a divide em duas sub-bacias: Jandiatuba a oeste, composta por rochas ígneas e metamórficas, e Juruá a leste, com 3.800 m de espessura de sedimentos, sobre substrato

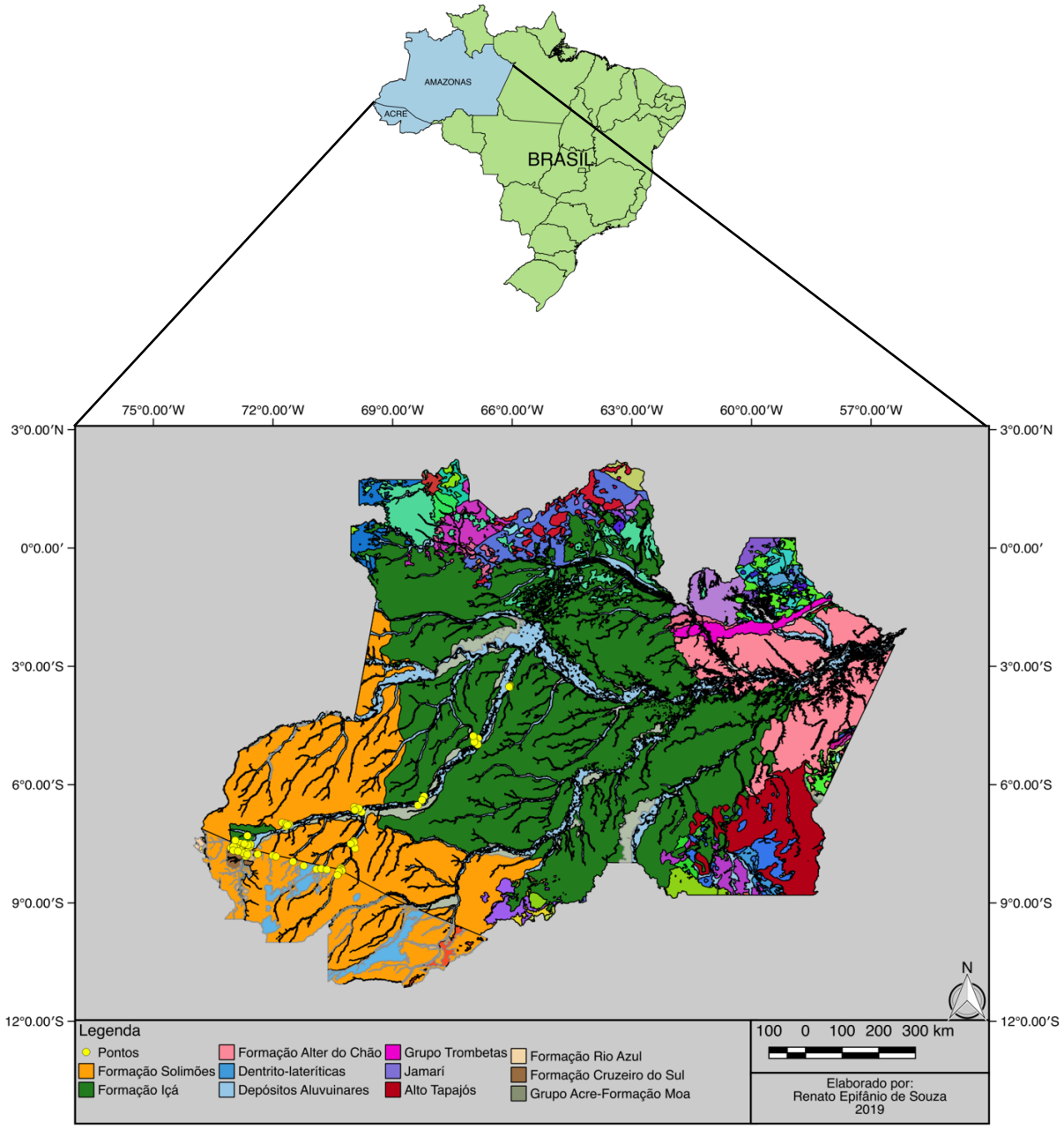
semelhante, além de riftes proterozóicos (EIRAS, et al. 1994). A sequência Cretácea corresponde aos depósitos fluviais da Formação Alter do Chão, preservados devido à subsidência relacionada à orogenia andina. Finalmente, os pelitos e os arenitos pliocênicos da Formação Solimões constituem a Superseqüência Terciária (SANTOS, et al. 1993).

A Bacia do Acre é a parte mais distal de cunho sedimentar cuja idade compreende o intervalo do Cretáceo ao Plioceno. Sua estrutura consiste em um conjunto de falhas reversas de direção norte-sul, da qual a mais importante é a Falha Batã, que marca a terminação oriental da sequência sedimentar paleozóico-jurássica que se estende desde os Andes (FEIJÓ; SOUZA, 1994). Seu limite oriental com a Bacia do Solimões é o Arco de Iquitos. Os 6.000 m de rochas sedimentares da Bacia do Acre estão distribuídos em quatro supersequências: carbonífero-permiana, jurássica, cretácea e terciária (CPRM, 2003). Cavalcante (2006), relata que terreno geológico que compõe a bacia sedimentar do Acre é bastante monótono sendo composto predominantemente pelos pelitos da formação Solimões com arenitos intercalados, os arenitos da formação Içá e os depósitos de coberturas aluvionares. Ocorrem ainda as formações Moa, Rio Azul, Divisor e Ramon, com arenitos, pelitos, calcarenitos e folhelhos. Essas bacias sedimentares encontradas na Amazônia, apresentam os arenitos, siltitos e argilitos como suas principais rochas constituintes (CAVALCANTE, 2006; CPRM, 2003).

A Bacia do Rio Juruá é uma bacia compartilhada entre o Brasil e o Peru, especificamente com o Departamento peruano de Ucayali e com os Estados brasileiros do Acre e Amazonas (ZEE, 2010). O Rio Juruá tem, em toda a sua extensão de 3.280 km, um desnível de 410 m. Nasce no Peru com o nome de Paxiúba a 453 m de altitude, unindo-se depois com o Salambô e fonnando, daí para diante o Juruá propriamente dito. Atravessa a parte noroeste do Estado do Acre, no sentido S-N, entra no Estado do Amazonas e despeja suas águas no Rio Solimões. O Juruá é um rio de planície, com todas as características decorrentes de pequeno declive. Seus principais afluentes ficam dispostos na margem direita onde a configuração geral é mais plana, sendo poucos os contribuintes de vulto da margem esquerda. Correndo a princípio na direção N-NE, lança-se depois para L-NE e, finalmente, é NE a direção geral de seu curso até a foz (ZEE, 2006).

A Bacia do Rio Juruá compõe-se por uma seção essencialmente arenosa, com pelitos subordinados. São encontrados arenitos de granulação muito fina a grossa com cor branca e cinza e estratificação cruzada de grande e pequeno porte, associados a siltito, folhelho cinza e castanho, calcário e anidrita (EIRAS et al.,1994).

Figura 1 - Principais ocorrências geológicas dos Estados do Amazonas e Acre - Brasil e pontos de coleta dos solos analisados no presente estudo




A Bacia do Rio Juruá, ocupa parte do Estado do Acre e parte significativa do sul e sudoeste do Estado do Amazonas, difere dos demais ambientes da Amazônia, sendo atípica quanto às características químicas e físicas dos solos (ZEE, 2006). O material de origem (argilitos e siltitos) contribui para diversidade de classes de solos, muitas vezes pouco intemperizados (geralmente com minerais de argila de maior atividade) e, aparentemente, sem nenhuma relação com o relevo, caracterizando um endemismo edáfico na região. Esse endemismo também resulta em grande variação entre e dentro das unidades de mapeamento de solos. (ANJOS, et al. 2013).

No Estado do Amazonas, as classes de solos predominantes são os Argissolos (45%), Latossolos (26%), Gleissolos e Neossolos Flúvicos (9%), Espodossolos (7%) e Plintossolos (3,5%) (TEIXEIRA et al., 2010), enquanto que no Acre, as classes de solos são os Argissolos (38,32%), Cambissolos (31,56%), Luvissolos (14,60%), Gleissolos (5,98%), Latossolos (3,15%), Vertissolos (3,04%), Plintossolos (2,21%) e Neossolos (1,16%) (AMARAL et al., 2006). No município de Feijó, cerca de 80% de seu território ocupado por Cambissolo. Os Gleissolos e Neossolos Flúvicos são os que ocorrem ao longo dos grandes rios de águas barrentas que cortam o Estado, e muitas vezes estes são chamados de solos de várzeas, enquanto os demais solos são conhecidos como solos de terra firme. Os Gleissolos e Neossolos Flúvicos também se destacam na região, principalmente nos municípios de Cruzeiro do Sul e Mâncio Lima, com suas extensas áreas de várzeas (ZEE, 2006).

O termo “metal pesado” (heavy metal) usado por décadas no meio acadêmico, ainda não possui uma definição clara, objetiva e regulamentada pelo órgão de maior competência em química, a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC). Este termo apresenta várias definições na literatura, gerando assim uma confusão sobre sua definição. Segundo Duffus (2002), existem pelos menos seis definições em uso sobre metais pesados, a saber: baseada na densidade do elemento ou nos grupos de elementos químicos em questão; no peso atômico; no número atômico; baseada em outras propriedades químicas; na toxicidade do elemento e por último em definições não químicas usadas antes de 1936.

As ocorrências naturais destes elementos nos solos estão relacionadas ao intemperismo, a pedogênese e as deposições atmosféricas originadas de processo naturais (HATJE, et al., 2017; SOUZA, et al., 2015; BIONDI, et al., 2011). No entanto, os diversos usos dos solos, atribuídos à produção agropecuária, industrial e a urbanização, em determinados cenários, podem favorecer a entrada e o acúmulo de metais pesados nos solos em teores significativamente superiores quando comparadas às entradas naturais (LI, et al., 2014).

Os trabalhos de pesquisa, as instituições ambientais, juntamente com o senso crítico dos dias atuais demonstram sinais de uma maior sensibilização ambiental. Dentre várias, a regra para este novo século é o aproveitamento da matéria prima, a reciclagem dos resíduos e minimização da contaminação dos corpos d’água como medidas de uma melhor gestão ambiental. Neste contexto, surge o papel do solo como receptor da carga residuária das populações.

Os solos funcionam como um compartimento tampão para os elementos químicos inorgânicos, orgânicos e xenobióticos. Para os elementos orgânicos e xenobióticos, os atributos

biológicos (macro e microrganismos, materia orgânica) dos solos, imobilizam, quelatizam, degradam e mineralizam estes elementos, eliminando ou minimizando sua toxicidade. Em se tratando dos elementos inorgânicos como os metais pesados, os atributos químico-físicos dos solos retêm estes elementos em sua matriz orgânica e inorgânica, minimizando a disponibilidades dos mesmos e possíveis impactos relativos a uma labilidade excessiva dos metais pesados (ALLOWAY, 2013; BIONDI, 2010; CAIRES, 2009).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na resolução 420/2009, de 28 de dezembro de 2009, regulamenta o estabelecimento de critérios e valores orientadores referentes à presença de substâncias químicas, para a proteção da qualidade do solo. O CONAMA compila os valores de prevenção e intervenção da legislação da CETESB nesta resolução. Estabelece que os valores de referência de qualidade (VRQ's) devam ser definidos por cada Estado da federação, de forma a respeitar as diversidades regionais. Para isso, o CONAMA indica a necessidade de cada Estado identificar um conjunto de solos representativos de sua diversidade, baseando-se na litologia, relevo e clima, estipulando o prazo de cinco anos a partir da data de publicação da resolução como o prazo limite para que os órgãos ambientais de cada Estado estabeleçam seus valores orientadores prazo esse já passado (CONAMA, 2009).

Subsidiar os órgãos ambientais no estabelecimento dos VRQ's é um dos objetivos da presente pesquisa, pois com a pouca relevância com que o poder público tem tratado as questões ambientais, as universidades têm um papel fundamental no auxílio dessa política para que os Estados se adequem a resolução estabelecida pelo CONAMA.

Nas regiões de abrangência desse trabalho, estudos sobre metais pesados são incipientes por terem uma logística difícil e inixistência de um banco de solos de referência. Os dados gerados neste estudo para bacia do Rio Juruá são importantes na formulação dos VRQ's, pois o Estado do Acre não se relata na literatura pesquisas desta natureza. No Amazonas, Xavier (2013) na região metropolitana de Manaus, Moreira (2016) na parte norte e oeste do Estado e Ferreira (2017) em solos urbanos da região metropolitana de Manaus realizaram estudos com metais pesados.

Com base nas informações desta pesquisa os dados podem ser extrapolados para regiões com características semelhantes, visto que o suporte ao planejamento das coletas teve base nas unidades de mapeamento do IBGE (2011) para a Amazônia Legal.

O trabalho teve como objetivo determinar os teores naturais de As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Ti, V, Zn e Zr em solos da bacia do Rio Juruá e a relação com a química e mineralogia, visando subsidiar o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ's) dos Estados do Amazonas e Acre.

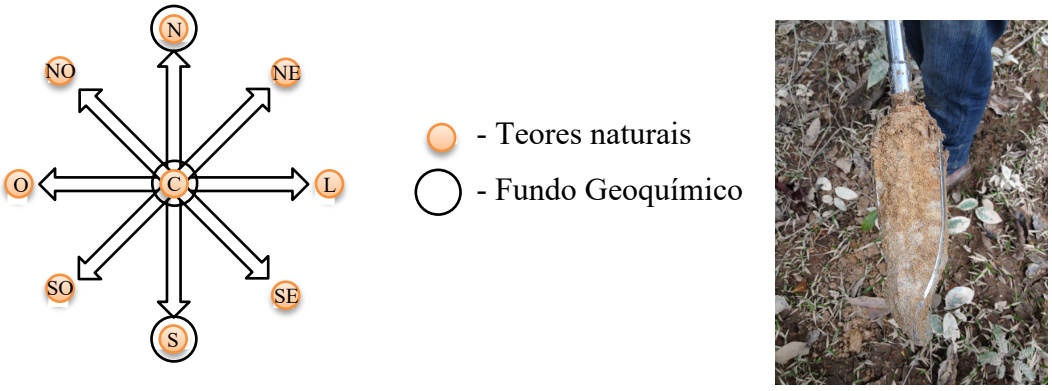
## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Amostragem dos solos

A partir da análise conjunta dos mapas de solos (IBGE, 2011; RADAM, 1977) e geologia (CPRM, 2006) dos Estados do Amazonas e Acre, foram definidas áreas para a coleta das amostras de solos, levando-se em consideração a representatividade dos diferentes materiais de origem e solos dos Estados. As amostras foram coletdas obedecendo as seguintes unidades de mapeamento de solos (IBGE, 2011): Argissolos, Cambissolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos Flúvicos, Luvissolos, Plintossolos e Vertissolo em municípios do Estado do Amazonas: de Guajará, Ipixuna, Envira, Eirunepé, Itamararí, Carauarí e Juruá no Estado do Amazonas e do Estado do Acre: Cruzeiro do Sul, Mâncio Lima, Rodrigues Alves, Tarauacá e Feijó.

Ao todo, foram coletadas 73 amostras de solos (Tabela 1) em áreas de floresta nativa ou remanescente, priorizando os locais com o mínimo de atividade antrópica (Figura 1). As coletas foram realizadas com o uso de um trado tipo holandês. As amostras utilizadas neste estudo são do tipo composta na profundidade de 0 - 20 cm, obedecendo a Resolução no 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (CONAMA, 2009).

Figura 2 - Esquema de amostragem de solos e trado holândes inoxidável.




Na camada superficial foram coletadas nove subamostras, sendo uma no ponto central, uma nos pontos cardeais N, S, L e O e outras nos pontos colaterais NE, SE, NO e SO a uma distância de 5 m do ponto central (ABRAHÃO; MARQUES, 2013). Em seguida foram coletadas três amostras na camada subsuperficial (80 - 100 cm) sendo uma no ponto central, uma ao norte e outra ao sul a uma distancia de 5 m do ponto central. As subamostras de cada camadas foram misturadas, formando duas amostras compostas, representativas das respectivas camadas.

Tabela 1 - Localização, formação geológica e material de origem dos solos estudados.



| Amostra | Municípios | Latitude | Longitude | Unidade de mapeamento** | Altitude (m) | Formação geológica* | Material de origem* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Cruzeiro do Sul - AC | 7°29'9.73"S | 72°49'1.73"O | PVAd27 | 221 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 2 | Cruzeiro do Sul - AC | 7°45'47.06"S | 72°23'9.85"O | PVAa1 | 216 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 3 | Cruzeiro do Sul - AC | 7°32'46.21"S | 72°37'7.77"O | PVAd20 | 220 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 4 | Mancio Lima - AC | 7°36'21.83"S | 73° 3'18.66"O | Lad104 | 253 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 5 | Mancio Lima - AC | 7°40'2.70"S | 72°59'48.28"O | PVAd27 | 215 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 6 | Rodrigues Alves - AC | 7°47'56.71"S | 72°39'35.26"O | PVAa35 | 200 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 7 | Rodrigues Alves - AC | 7°49'3.96"S | 72°40'45.30"O | PVAa35 | 207 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 8 | Rodrigues Alves - AC | 7°43'52.61"S | 72°44'43.41"O | PVAa35 | 196 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 9 | Rodrigues Alves - AC | 7°41'19.46"S | 72°52'39.27"O | PVAa35 | 212 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 10 | Tarauacá - AC | 8° 8'29.45"S | 70°54'30.96"O | TCo8 | 272 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 11 | Tarauacá - AC | 8° 3'25.81"S | 71°13'45.00"O | TCo8 | 258 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 12 | Tarauacá - AC | 7°49'58.21"S | 71°55'8.55"O | TXo7 | 235 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 13 | Feijó - AC | 8° 6'16.88"S | 70°17'55.52"O | PVAa6 | 181 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 14 | Feijó - AC | 8°12'18.35"S | 70°21'0.72"O | PVAa6 | 177 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 15 | Feijó - AC | 8°17'36.75"S | 70°22'59.79"O | TXo2 | 203 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 16 | Guajará - AM | 7°30'42.79"S | 72°33'57.02"O | FTd52 | 184 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 17 | Guajará - AM | 7°31'36.66"S | 72°37'40.07"O | PAd20 | 218 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 18 | Guajará - AM | 7°29'47.41"S | 72°43'9.08"O | PVAd427 | 233 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 19 | Ipixuna - AM | 6°59'22.92"S | 71°40'10.08"O | PVAd333 | 181 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 20 | Ipixuna - AM | 7° 1'35.18"S | 71°38'7.85"O | PVAd333 | 163 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 21 | Envira - AM | 7°30'56.43"S | 70° 1'0.39"O | PVAa6 | 175 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 22 | Envira - AM | 7°28'24.65"S | 70° 1'11.50"O | PVAa6 | 163 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 23 | Envira - AM | 7°37'5.62"S | 69°56'30.50"O | TCo14 | 197 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 24 | Envira - AM | 7°27'51.24"S | 69°58'6.22"O | TCo14 | 173 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 25 | Eirunepé - AM | 6°37'51.89"S | 69°52'17.32"O | PVAa6 | 130 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 26 | Eirunepé - AM | 6°34'15.37"S | 69°57'47.60"O | PVAal26 | 194 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 27 | Itamaratí - AM | 6°23'58.72"S | 68°15'46.42"O | PVAa17 | 156 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 28 | Itamaratí - AM | 6°20'56.28"S | 68°15'11.46"O | PVAa19 | 164 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 29 | Itamaratí - AM | 6°19'22.53"S | 68°14'0.20"O | PVAa17 | 152 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 30 | Itamaratí - AM | 6°17'45.14"S | 68°12'40.24"O | PVAa17 | 132 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 31 | Carauarí - AM | 4°49'37.63"S | 66°51'9.50"O | PVAa25 | 80 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |

Tabela 1 - Continuação...

| Amostra | Municípios | Latitude | Longitude | Unidade de mapeamento** | Altitude (m) | Formação geológica* | Material de origem* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | Carauarí - AM | 4°55'3.01"S | 66°57'8.30"O | PVAa25 | 100 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 33 | Carauarí - AM | 4°45'58.74"S | 66°58'32.28"O | PVAa25 | 80 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 34 | Juruá - AM | 3°28'45.66"S | 66° 2'38.34"O | FXa5 | 77 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 35 | Juruá - AM | 3°29'46.83"S | 66° 2'23.49"O | FXa5 | 67 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 36 | Juruá - AM | 3°31'50.49"S | 66° 3'44.57"O | FXa5 | 81 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 37 | Juruá - AM | 3°29'57.75"S | 66° 4'4.09"O | GXve3 | 60 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 38 | Mancio Lima - AC | 7°39'18.88"S | 72°50'14.34"O | GXve3 | 192 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 39 | Guajará - AM | 7°33'40.36"S | 72°34'24.44"O | GXve3 | 191 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 40 | Ipixuna - AM | 7° 3'39.67"S | 71°40'26.03"O | GXve3 | 171 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 41 | Eirunepé - AM | 6°41'44.44"S | 69°46'43.01"O | GXve3 | 121 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 42 | Carauarí - AM | 4°51'55.10"S | 66°54'57.91"O | GXve9 | 83 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 43 | Juruá - AM | 3°30'47.59"S | 66° 3'8.06"O | TXo7 | 83 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 44 | Cruzeiro do Sul - AC | 7°48'1.71"S | 72° 0'16.86"O | TCo8 | 195 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 45 | Tarauacá - AC | 8° 9'16.67"S | 70°38'51.44"O | TXo7 | 227 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 46 | Tarauacá - AC | 7°56'41.63"S | 71°29'59.32"O | TXo2 | 228 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 47 | Feijó - AC | 8°10'57.03"S | 70°16'18.79"O | PVAd333 | 192 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 48 | Ipixuna - AM | 6°59'15.23"S | 71°42'44.33"O | PVAd333 | 182 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 49 | Ipixuna - AM | 6°56'59.11"S | 71°45'52.28"O | PVAd333 | 193 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 50 | Ipixuna - AM | 7° 0'31.88"S | 71°35'33.77"O | PVAa6 | 185 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 51 | Eirunepé - AM | 6°35'41.80"S | 69°50'58.97"O | GXve3 | 142 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 52 | Rodrigues Alves - AC | 7°47'4.17"S | 72°38'45.51"O | GXve3 | 182 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 53 | Envira - AM | 7°29'44.81"S | 70°3'2.87"O | GXve3 | 156 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 54 | Envira - AM | 7°25'35.04"S | 69°58'57.11"O | GXve3 | 155 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 55 | Itamaratí - AM | 6°31'24.23"S | 68°21'46.53"O | GXve3 | 101 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 56 | Carauarí - AM | 4°59'3.11"S | 66°51'50.82"O | LAd105 | 73 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 57 | Mancio Lima - AC | 7°33'45.52"S | 72°59'17.19"O | PVAa6 | 213 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 58 | Feijó - AC | 8° 7'44.93"S | 70°17'8.17"O | ESKg8 | 189 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 59 | Guajará - AM | 7°24'48.38"S | 72°56'52.76"O | CXal3 | 209 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |

Tabela 1 - Continuação...

| Amostra | Municípios | Latitude | Longitude | Unidade de mapeamento** | Altitude (m) | Formação geológica* | Material de origem* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | Eirunepé - AM | 6°36'48.31"S | 69°52'41.15"O | PVAa19 | 129 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 61 | Itamaratí - AM | 6°23'11.17"S | 68°15'59.30"O | TXo2 | 153 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 62 | Feijó - AC | 8° 9'16.24"S | 70°19'2.39"O | CXal3 | 177 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 63 | Eirunepé - AM | 6°38'36.52"S | 69°56'48.84"O | PVAa25 | 141 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 64 | Carauarí - AM | 4°51'30.96"S | 66°57'18.45"O | FTd52 | 97 | Formação Içá | Arenitos finos, siltitos e argilitos |
| 65 | Mancio Lima - AC | 7°38'25.36"S | 72°48'52.44"O | FTd52 | 193 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 66 | Cruzeiro do Sul - AC | 7°36'43.75"S | 72°48'9.81"O | FTd52 | 181 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 67 | Guajará - AM | 7°17'32.47"S | 72°38'46.59"O | FXa5 | 174 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 68 | Juruá - AM | 3°30'54.78"S | 66° 4'41.27"O | LAd105 | 70 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 69 | Mancio Lima - AC | 7°35'21.07"S | 72°55'43.67"O | LAd105 | 183 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 70 | Rodrigues Alves - AC | 7°42'49.46"S | 72°39'42.60"O | LAd105 | 192 | Depósitos Aluvionares | Sedimentos arenosos e argilosos semiconsolidados |
| 71 | Cruzeiro do Sul - AC | 7°31'5.81"S | 72°41'57.20"O | TCo7 | 230 | Formação Cruzeiro do Sul | Arenitos fino e argilitos |
| 72 | Tarauacá - AC | 8° 7'51.45"S | 70°47'21.42"O | TCo7 | 199 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |
| 73 | Tarauacá - AC | 8° 4'47.54"S | 70°48'28.05"O | FTd52 | 256 | Formação Solimões | Argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos |

*CPRM, 2006; **IBGE, 2018

### 3.2.2 Análises químicas e composição granulométrica

Os procedimentos analíticos para caracterização química e física das amostras foram realizados conforme as metodologias descritas em EMBRAPA (2017) no Laboratório de Análises de Rotina da Fertilidade do Solo na Universidade Federal de Viçosa - UFV. O pH do solo em água foi medido em solução solo:água (1:2,5) e o pH em cloreto de potássio foi medido em solução solo:cloreto de potássio (1:2,5). Fósforo (P) e potássio (K) disponíveis foram determinados usando o extrator Mehlich-1 (HCl 0,05 mol $L^{-1}$ e $H_2SO_4$ 0,0125 mol $L^{-1}$) e determinados por espectrofotometria UV-Vis e espectrofotometria de chama, respectivamente.

Os cátions trocáveis $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ e $Al^{3+}$ foram extraídos por solução KCl 1 mol $L^{-1}$. $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$ foram determinados por espectrometria de absorção atômica e o $Al^{3+}$ por volumetria com solução diluída de NaOH. A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinada por volumetria com solução de NaOH em presença de fenolftaleína como indicador. A soma de bases (Valor S), a capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe), a capacidade de troca catiônica total a pH 7 (Valor T), a saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (m) foram calculadas a partir dos valores obtidos nas análises químicas mencionadas.

O carbono orgânico do solo foi determinado pelo método Walkley-Black, que utiliza a oxidação pelo dicromato de potássio em meio ácido, seguida de titulometria de complexação com solução de sulfato ferroso (0,025 mol $L^{-1}$).

Para a determinação das frações granulométricas do solo foi empregado o método da pipeta, utilizando-se o hidróxido de sódio como agente dispersante. A fração areia foi separada por tamisação (peneira de 0,053 mm), enquanto as frações silte e argila foram separadas por sedimentação (EMBRAPA, 2017).

Determinaram-se os teores de Fe, Al, Si, Mn e Ti no ataque sulfúrico, de acordo com o Embrapa (2017). Também foram determinados os teores de ferro em óxidos cristalinos ($Fe_d$) por ditionito-citrato em sistema tamponado com bicarbonatode sódio (DCB), conforme Mehra e Jakson (1960) e os teores de Fe em óxidos de baixa cristalinidade ($Fe_o$) por solução de oxalato de ácido de amônio 0,2 mol $L^{-1}$ a pH 3,0, de acordo com McKeague e Day (1966). A análise mineralógica da fração argila foi realizada por difratometria de raios-X (DRX) em um difratômetro (Marca PANalytical - Modelo X'pert PRO) com tubo ânodo de cobalto. Foram analisadas as amostras de argila natural e desferrificada.

### 3.2.3 Digestão semi-total (3051A)

Para determinação dos teores naturais de metais pesados, tomou-se uma alíquota 0,500 g da fração terra fina seca ao ar (TFSA) de cada amostra de solo, pulverizou-se e em seguida peneirou-se em peneia de 200 mesh (0,075 mm) com malha de aço inoxidável. O precedimento de determinação dos teores de metais pesados se deu em triplicata no qual foram foi realizada via extração semitotal (EPA 3051A) (USEPA, 1998), em forno de microondas (Marca Anton Paar® - Modelo Mutiwave ECO), com o emprego 9 mL de ácido nítrico concentrado (68% v/v) mais 3 mL de ácido clorídrico concentrado (37% v/v), ambos os ácidos de elevada pureza, conforme o método 3051A da United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2007). Após a digestão, foram quantificados os teores naturais de metais As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Ti, V, Zn e Zr por espectrometria de emissão atômica de plasma induzido (ICP-OES), equipamento modelo Optima 8300 da Perkin Elmer®, utilizando-se visualização axial do plasma para melhor sensibilidade aos elementos em menores teores.

As curvas de calibração de cada método foram preparadas na mesma matriz utilizada na digestão das amostras. Os comprimentos de onda nos quais os metais foram analisados e os limites de detecção e quantificação praticável do método são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Comprimentos de onda utilizados para a leitura dos metais e limites de detecção e de quantificação praticável do método

| Elemento | Comprimento de onda | Limite dte detecção do método - LD | Limite de quantificação praticável - LQP |
|---|---|---|---|
| | nm | mg $L^{-1}$ | mg $kg^{-1}$ |
| Arsênio (As) | 188,976 | 0,00001071 | 0,00312153 |
| Bário (Ba) | 233,522 | 0,00008232 | 0,02743930 |
| Cádimo (Cd) | 228,801 | 0,00000055 | 0,00018181 |
| Coblato (Co) | 228,608 | 0,00000049 | 0,00016258 |
| Cromo (Cr) | 206,162 | 0,00000027 | 0,00009048 |
| Cobre (Cu) | 327,389 | 0,00000006 | 0,00001959 |
| Mercúrio (Hg) | 184,888 | 0,00000887 | 0,00295650 |
| Manganês (Mn) | 257,61 | 0,00000002 | 0,00000814 |
| Níquel (Ni) | 231,604 | 0,00000015 | 0,00005072 |
| Chumbo (Pb) | 220,353 | 0,00001023 | 0,00340865 |
| Titânio (Ti) | 336,111 | 0,00000001 | 0,00000325 |
| Vanádio (V) | 290,879 | 0,00000004 | 0,00001494 |
| Zinco (Zn) | 213,857 | 0,00000040 | 0,00013299 |
| Zircônio (Zr) | 343,818 | 0,00000001 | 0,00000244 |

O controle de qualidade da análise foi realizado com a utilização de uma amostra de solo certificada (*Montana II Soil, NIST 2711a*), que foi utilizada como referência durante os procedimentos de digestão das amostras (Tabela anexo).

### 3.2.4 Análise estatística

As análises estatísticas descritivas (média, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação) foram realizadas com o auxílio do programa OriginLab® (version 9). As análises multivariadas (análise cluster e componentes principais) foram conduzidas utilizando-se o programa IBM SPSS® (version 19). Os dados foram submetidos à transformação do tipo *Box Cox* para normalização. As análises do tipo *cluster* foram realizadas para avaliar a dissimilaridade dos teores de metais em relação às classes de solos e, para isso, foi utilizada a distância de correlação, sendo os resultados expressos em um dendograma. A divisão dos grupos foi determinada utilizando-se o método de *Ward* (WARD, 1963).

## 3.3 RESULTADOS

### 2.3.1 Estatística descritiva dos atributos químicos, mineralógicos e composição granulométrica dos solos

A análise estatística descritiva dos atributos químicos, mineralógicos e composição granulométrica dos solos é apresentada na Tabela 4. De maneira geral, verificou-se um elevado coeficiente de variação (CV) para todos os atributos, o que era esperado com base na diversidade de solos e ambientes comtemplados no presente estudo.

De modo geral, os dados evidenciam o predomínio de solos ácidos, com valores de pH em água variando entre 3,5 e 6,2. Em média, a maior acidez foi observada nas áreas dos Latossolos (valor médio de pH = 3,89, na camada de 0 a 20 cm), enquanto a menor acidez foi observada nas áreas dos Vertissolos (valor médio de pH = 5,65, na camada de 0 a 20 cm).

Os teores de P disponível variaram entre entre 0,1 a 26,6 mg $dm^{-3}$, apresentando em média 4,3 mg $dm^{-3}$. O menor teor de P disponível (2,3 mg $dm^{-3}$) foi observado nas áreas dos Cambissolos e o maior teor (26,6 mg $dm^{-3}$) foi observado na área dos Neossolos. Os teores dos cátions trocáveis também apresentaram variações expressivas, conforme descrito a seguir: os teores de $K^+$ variaram entre 14 e 166 mg $dm^{-3}$, sendo o menor valor observado em Espodossolos e o maior em Argissolos; os teores de $Ca^{2+}$ variaram entre 0,1 a 27,6 $cmol_c$ $dm^{-3}$, sendo o menor valor observado nos Argissolos e o maior nos Gleissolos; os teores de $Mg^{2+}$ variaram entre 0,04 e 5,7 $cmol_c$ $dm^{-3}$, sendo o menor observado nos Espodossolos e o maior nos Gleissolos; e, finalmente, os valores de $Al^{3+}$ variaram entre 0,0 e 9,9 $cmol_c$ $dm^{-3}$, os menores valores foram observados em Luvissolos, Neossolos e Vertissolos e os maiores em Plintossolos.

A CTC e a capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe) apresentaram valores médios de 12,2 e 7,3 $cmol_c$ $dm^{-3}$, respectivamente. O carbono orgânico (CO) nos solos apresentou um valor médio de 0,93 g $kg^{-1}$, variando entre 0,22 e 2,91 g $kg^{-1}$. A saturação de bases (V%) exibiu o valor médio obersvado foi de 19,3%, enquanto que a saturação de alumínio (m%) o teor médio foi 70,4%, variando entre 0,0 e 96,0%.

Os óxidos de ferro bem cristalizados ($Fe_d$) (média 20,8 g $kg^{-1}$) predominaram sobre as formas de ferro de baixa cristalinidade ($Fe_o$), (média 4,9 g $kg^{-1}$). Os teores de ferro ($Fe_2O_3$), alumínio ($Al_2O_3$), silício ($SiO_2$) e titânio ($TiO_2$) extraídos com ácido sulfúrico, expressos na forma de óxidos, apresentaram valores médios de 25,2; 71,6; 115,8 e 5,3 g $kg^{-1}$, respectivamente. O teor médio de argila obtido foi de 409,1 g $kg^{-1}$, com variação entre 10,1 e 844,2 g $kg^{-1}$, indicando assim solos com textura arenosa até solos de textura muito argilosa.

Tabela 4 - Estatística descritiva dos atributos químicos e físicos das classes de solos estudados.

| Parâmetro | Média | Máximo | Mínimo | DP | CV (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| pH ($H_2O$) | 4,2 | 6,2 | 3,5 | 0,4 | 13,5 |
| pH (KCl) | 3,6 | 5,7 | 2,6 | 0,3 | 13,0 |
| ΔpH | -0,6 | 0,1 | -1,5 | 0,3 | 59,8 |
| P (mg $dm^{-3}$) | 4,3 | 26,6 | 0,1 | 2,5 | 94,9 |
| $K^+$ (mg $dm^{-3}$) | 45,5 | 166,0 | 14,0 | 21,7 | 67,0 |
| $Ca^{2+}$($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 3,0 | 27,6 | 0,1 | 4,2 | 213,1 |
| $Mg^{2+}$($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 0,7 | 5,7 | 0,0 | 0,8 | 180,9 |
| $Al^{3+}$ ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 3,6 | 9,9 | 0,0 | 1,8 | 63,4 |
| H+Al ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 8,5 | 18,9 | 1,8 | 2,5 | 40,0 |
| SB ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 3,7 | 33,5 | 0,2 | 5,0 | 200,7 |
| CTCe ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 7,3 | 34,4 | 0,8 | 4,5 | 90,2 |
| CTC ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 12,2 | 39,8 | 3,0 | 4,5 | 53,8 |
| V (%) | 19,3 | 91,5 | 2,2 | 20,3 | 142,8 |
| m (%) | 70,4 | 96,0 | 0,0 | 25,0 | 44,9 |
| CO (g $kg^{-1}$) | 0,93 | 2,91 | 0,22 | 5,5 | 59,6 |
| P-Rem (mg $L^{-1}$) | 2,9 | 7,4 | 0,4 | 8,9 | 57,4 |
| $Fe_d$ (g $kg^{-1}$) | 20,8 | 61,3 | 0,5 | 11,1 | 53,4 |
| $Al_d$ (g $kg^{-1}$) | 22,4 | 77,1 | 0,7 | 9,3 | 41,4 |
| $Fe_o$ (g $kg^{-1}$) | 4,9 | 12,3 | 0,1 | 2,5 | 51,1 |
| $Al_o$ (g $kg^{-1}$) | 13,9 | 32,5 | 1,2 | 3,4 | 24,2 |
| $SiO_2$ (g $kg^{-1}$) | 115,8 | 290,4 | 0,0 | 63,6 | 54,9 |
| $Fe_2O_3$ (g $kg^{-1}$) | 25,2 | 73,3 | 0,1 | 12,8 | 50,9 |
| $Al_2O_3$ (g $kg^{-1}$) | 71,6 | 194,1 | 0,0 | 35,6 | 49,7 |
| $TiO_2$ (g $kg^{-1}$) | 5,3 | 8,8 | 0,9 | 1,5 | 28,8 |
| MnO (g $kg^{-1}$) | 0,4 | 2,1 | 0,0 | 0,3 | 80,8 |
| Areia (g $kg^{-1}$) | 409,1 | 844,0 | 10,0 | 178,8 | 51,6 |
| Silte (g $kg^{-1}$) | 289,8 | 629,0 | 27,0 | 122,3 | 50,5 |
| Argila (g $kg^{-1}$) | 300,9 | 867,0 | 32,0 | 96,4 | 45,3 |

SB = $K^+$+$Ca^{2+}$+$Mg^{2+}$; CTC = SB+($H^+$+$Al^{3+}$); CTCe = SB+$Al^{3+}$; V (%) = (SBx100) /CTC; m (%) = ($Al^{3+}$x100) /CTCe

### 3.3.2 Teores naturais dos metais nos solos

Os dados referentes aos teores naturais de metais pesados nos solos não seguem distribuição normal, conforme observado nas Figuras 3 e 4. Os histogramas evidenciam que grande parte das amostras apresentaram teores de metais inferiores ou próximos da média e que apenas um menor número de amostras foi responsável por teores elevados de metais nos solos amostrados.

Figura 3 - Histogramas de frequência absoluta para metais nos solos estudados com base nos teores naturais extraídos em digestão ácida. Nos gráficos, o valor médio da concentração de cada metal corresponde ao ponto de pico do histograma (linha vermelha)

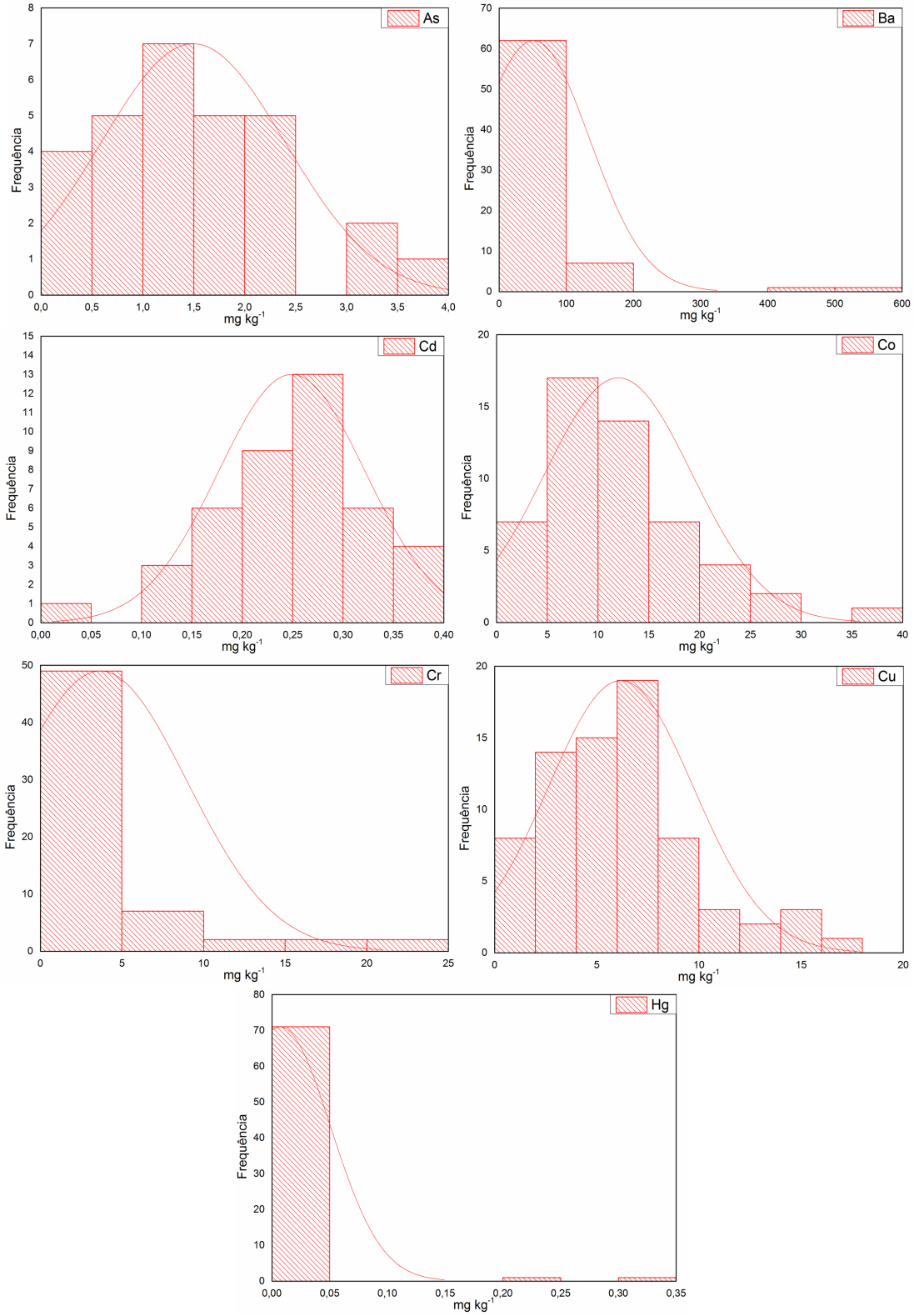
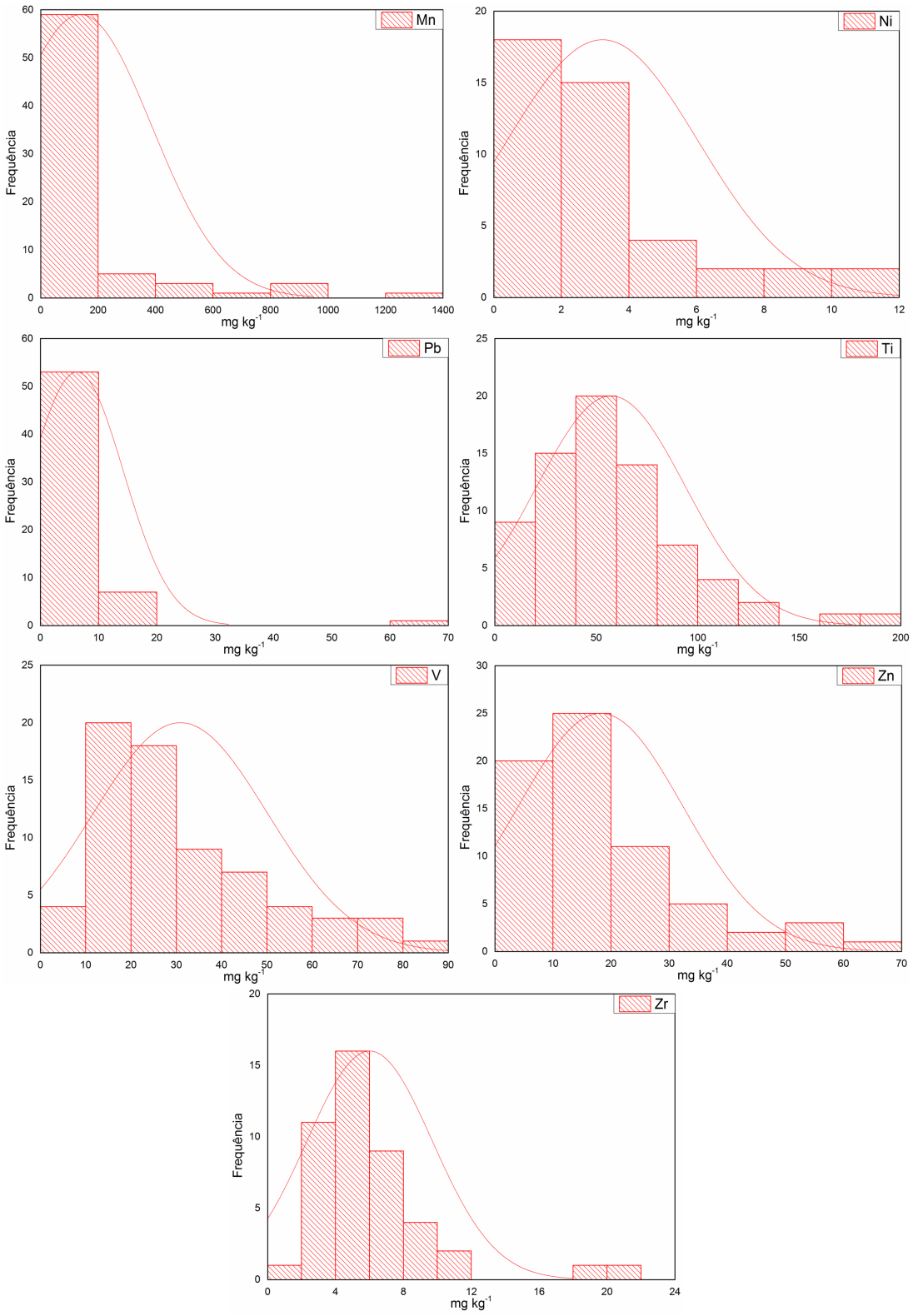


Figura 4 - Histogramas de frequência absoluta para metais nos solos estudados com base nos teores naturais extraídos em digestão ácida. Nos gráficos, o valor médio da concentração de cada metal corresponde ao ponto de pico do histograma (linha vermelha)



Os dados referentes aos teores máximo e mínimo, mediana, média e percentis 25 e 75 de cada metal, independente da classe de solo, podem ser observados na Figura 5.

Os menores teores médios foram observados nos elementos Cd (0,25 mg $kg^{-1}$), Hg (0,26 mg $kg^{-1}$), As (0,79 mg $kg^{-1}$), Ni (3,22 mg $kg^{-1}$), Cr 3,38 mg $kg^{-1}$), Zr (6,01 mg $kg^{-1}$), Cu (6,17 mg $kg^{-1}$) e Pb ( 6,26 mg $kg^{-1}$). Os maiores teores médios foram encontrados nos Co (12,05 mg $kg^{-1}$), Zn (18,01 mg $kg^{-1}$), V (31,17 mg $kg^{-1}$), Ba (50,43 mg $kg^{-1}$), Ti (57,85 mg $kg^{-1}$) e Mn (128,95 mg $kg^{-1}$).

Os maiores teores de Mn (1242,6 mg $kg^{-1}$ - amostra 44), Ba (530,70 mg $kg^{-1}$ - amostra 46), Zn (63,81 mg $kg^{-1}$ - amostra 45), Cd (0,37 mg $kg^{-1}$ - amostra 48) e Cu (17,69 g $kg^{-1}$ - amostra 45) foram observados nos Luvissolos. Por outro lado, o Luvissolo correspondente a amostra 47 apresentou teores muito abaixo da média dessa classe de solos

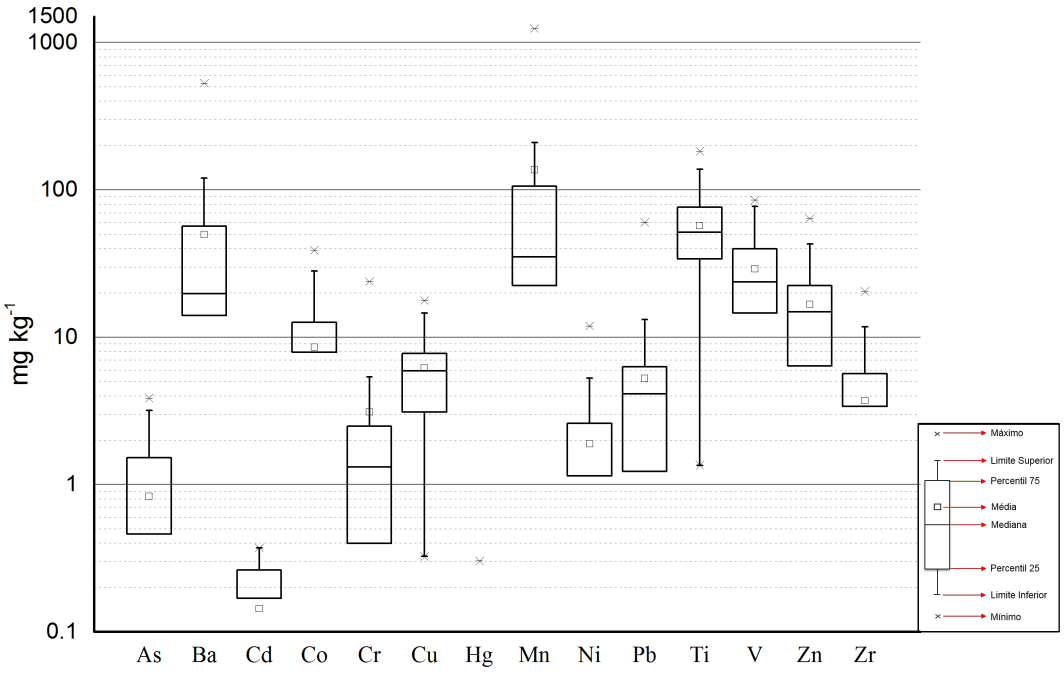
Os maiores teores de Ni (11,91 mg $kg^{-1}$) e Co (38,82 mg $kg^{-1}$) foram observados nos Gleissolos, correspondentes às amostras 41 e 43, respectivamente. O maior teor de Cr (23,82 mg $kg^{-1}$) foi observado na amostra 72 pertencente a classe dos Vertissolos. A classe dos Espodossolos foi a que apresentou  os teores mínimos de metais.

A ocorrência de Hg foi muito rara, tendo sido observada em apenas duas das amostras analisadas (amostra 43 - Gleissolo - e amostra 61 - Espodossolo), em ambas o teor detectado é inferior a 0,5 mg $kg^{-1}$. O As também está ausente na maioria das amostras (60%), não tendo sido detectado em nehuma das amostras de Cambissolos, Latossolos e Vertissolos. De modo semelhante, não se detectou a ocorrência de Cd e Ni nos Latossolos e Vertissolos; Co nos Latossolos; Zr nos Vertissolos; e Pb nos Espodossolos.

Por outro lado, a ocorrência de Ti foi observada em todas as amostras analisadas. Outros elementos detectados na maioria das amostras foram: Mn (em 99%); Ba (em 97%); V (em 94%); e Zn (em 92%).

No geral, observou-se a seguinte ordem decrescente quanto aos teores médios de metais pesados obtidos: Mn > Ti > Ba > V > Zn > Co > Pb > Cu > Zr > Cr > Ni > As > Hg > Cd. A variação dos teores de cada elemento, independente da classe de solo e visualizada por intermédio do coeficiente de variação dos dados, indica que a menor variação foi obtida para o elemento Cd (29 %) e a maior para o elemento Ba (183 %).

Figura 5 - Teores mínimo e máximo, percentis 25 e 75, mediana e média dos teores de metais pesados nos solos estudados




### 3.3.4 Teores naturais dos metais por classe de solo e análise multivariada

O maior teor médio de Co (14,36 mg $kg^{-1}$), Ni (6,77 mg $kg^{-1}$) e Zr (6,76 mg $kg^{-1}$) foram observados nos Gleissolos; de As (1,39 mg $kg^{-1}$) e Pb (20,89 mg $kg^{-1}$) nos Plintossolos; de Cu (9,04 mg $kg^{-1}$) e Zn (31,67mg $kg^{-1}$), nos Luvissolos; de Cr (22,61 mg $kg^{-1}$) e Mn (850,99 mg $kg^{-1}$), nos Vertissolos; e de Ti (66,72 mg $^{kg-1}$) nos Argissolos (Figuras 6 e 7).

Por outro lado, o menor teor médio de Ba (4,19 mg $kg^{-1}$), Co (2,60 mg $kg^{-1}$), Cr (0,19 mg $kg^{-1}$), Mn (7,65 mg $kg^{-1}$), Ni (0,75 mg $kg^{-1}$), V (0,76 mg $kg^{-1}$), e Zr (1,36mg $kg^{-1}$) foram observados nos Espodossolos; o de Cd (0,14 mg $kg^{-1}$), nos Argissolos e Plintossolos; e o de Pb (1,67 mg $kg^{-1}$), nos Neossolos (Figuras 6 e 7).

A análise de componentes principais (ACP) identificou quatro componentes que têm poder de explicação de 74% na variação dos teores de metais pesados nos solos estudados (Tabela 6). O primeiro componente principal explica 26,44% dos resultados, sendo Cd, Co, Cu e Ni, as variáveis que apresentam carga fatorial maior que 0,7 e têm maior influência na variação do dados nesta componente, enquanto a segunda componente principal explica 23,03 % dos resultados e apresenta os elementos Ba, Mn e Zn com carga fatorial maior que 0,7 e representam as variáveis que maior têm poder de explicação dos resultados na segunda componente principal (Tabela 7).

Figura 6 - Teores médios de metais pesados nas classes de solos estudados

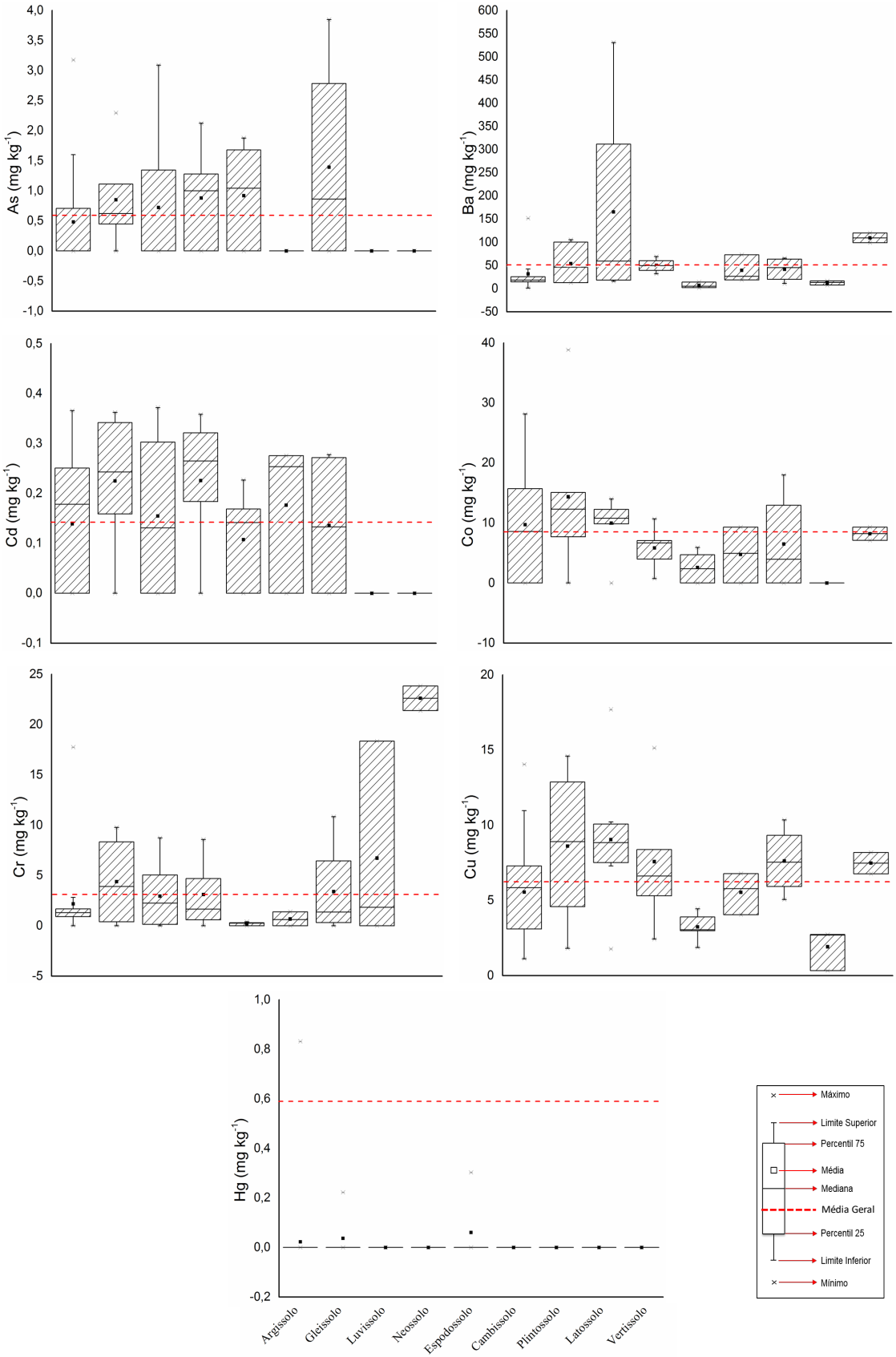


Figura 7 - Teores médios de metais pesados nas classes de solos estudados

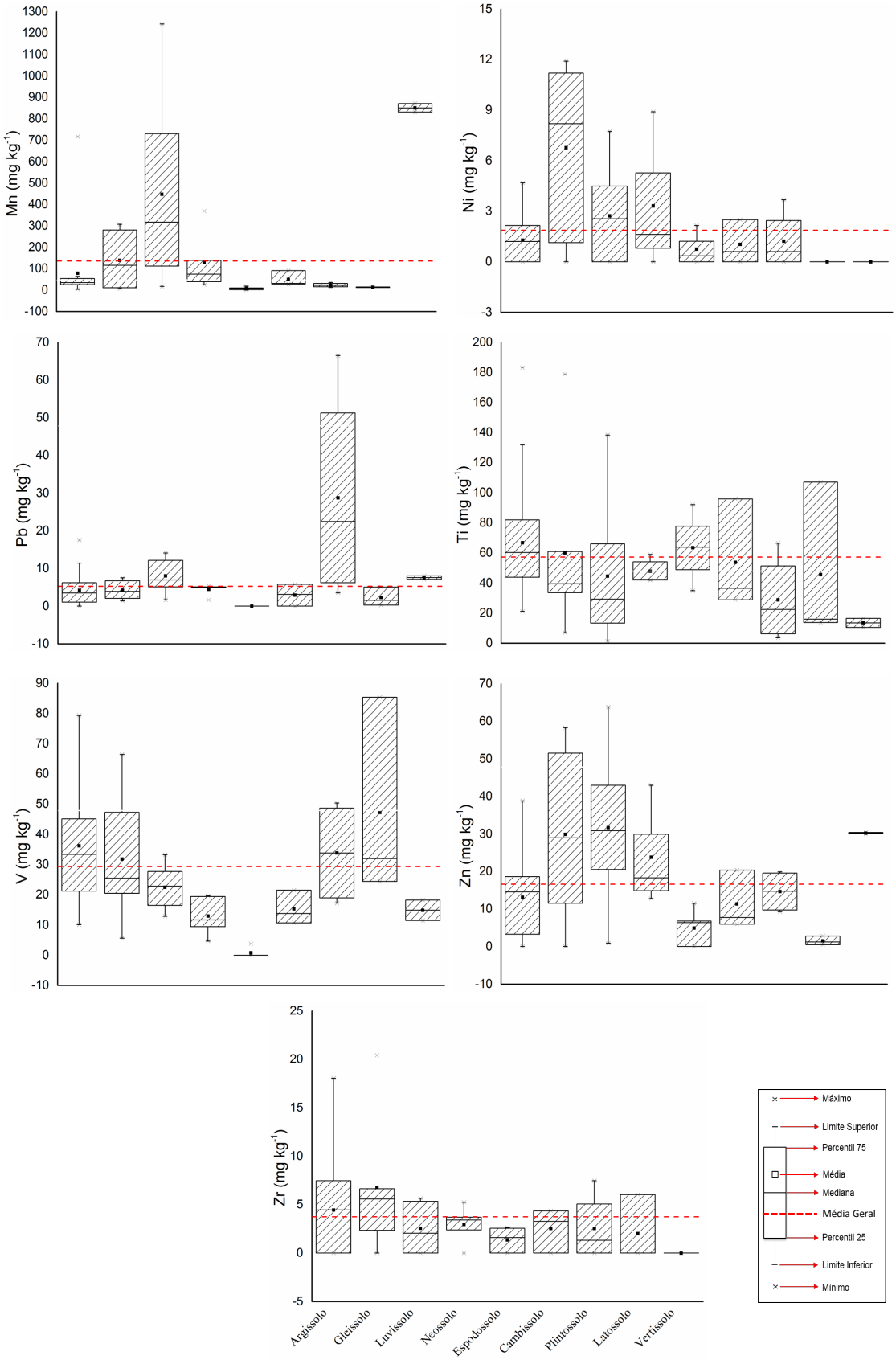


Tabela 6 - Resultados dos autovalores para a extração das componentes principais e variância total explicada pelas componentes para a profundidade de 0 - 20 cm dos solos estudados.

| | ----------Autovalores iniciais---------- | | | Autovalores após rotação Varimax | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Componentes | Total | % de Variância | Cumulativa | Total | % de Variância | Cumulativa |
| **1** | **4,278** | **30,560** | **30,560** | **3,702** | **26,440** | **26,440** |
| **2** | **3,413** | **24,381** | **54,941** | **3,224** | **23,028** | **49,467** |
| **3** | **1,543** | **11,022** | **65,963** | **2,119** | **15,136** | **64,604** |
| **4** | **1,080** | **7,714** | **73,677** | **1,270** | **9,073** | **73,677** |
| 5 | 0,978 | 6,982 | 80,659 | | | |
| 6 | 0,856 | 6,113 | 86,772 | | | |
| 7 | 0,587 | 4,190 | 90,962 | | | |
| 8 | 0,401 | 2,863 | 93,825 | | | |
| 9 | 0,334 | 2,386 | 96,210 | | | |
| 10 | 0,228 | 1,627 | 97,837 | | | |
| 11 | 0,123 | 0,882 | 98,719 | | | |
| 12 | 0,105 | 0,752 | 99,471 | | | |
| 13 | 0,043 | 0,304 | 99,775 | | | |
| 14 | 0,031 | 0,225 | 100,000 | | | |

Tabela 7 - Resultados da matriz das cargas fatoriais para os 4 primeiros componentes principais após rotação pelo método Varimax.

| | ---------- Componentes--------- | | | |
|---|---|---|---|---|
| Variáveis | 1 | 2 | 3 | 4 |
| As | 0,610 | -0,035 | -0,033 | 0,387 |
| Ba | -0,093 | **0,825** | -0,109 | 0,092 |
| Cd | **0,877** | -0,248 | -0,027 | -0,052 |
| Co | **0,719** | 0,075 | 0,453 | 0,274 |
| Cr | -0,141 | 0,384 | 0,535 | -0,257 |
| Cu | **0,705** | 0,620 | 0,004 | -0,153 |
| Hg | 0,034 | -0,040 | 0,023 | **0,900** |
| Mn | -0,018 | **0,892** | 0,005 | 0,033 |
| Ni | **0,811** | 0,274 | 0,081 | -0,073 |
| Pb | 0,049 | 0,465 | -0,075 | -0,127 |
| Ti | 0,307 | -0,447 | 0,620 | 0,222 |
| V | 0,016 | -0,118 | **0,896** | -0,024 |
| Zn | 0,597 | **0,766** | 0,016 | -0,058 |
| Zr | 0,637 | -0,230 | 0,644 | 0,243 |

As variáveis que apresentam cargas fatoriais menor que 0,7 estão destacadas na matriz fatorial.

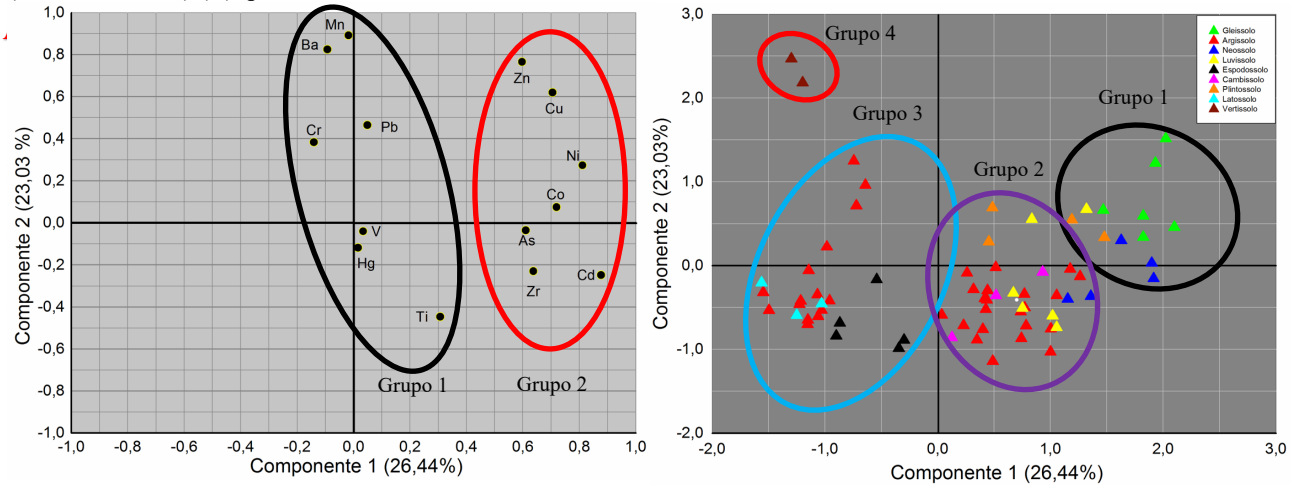
A análise de componentes principais permitiu o agrupamento dos solos em quatro diferentes grupos, cujas características atuais resultam da atuação conjunta dos processos pedogenéticos, fatores de formação, especialmente, material de origem, e as condições do ambiente e de drenagem atuais.

Os grupos 1 e 2 incluem solos que apresentaram os maiores teores de As, Cd, Co, Cu, Ni, Zn e Zr. Estes solos estão na direção positiva do primeiro componente principal, direção essa também na qual estão os elementos supracitados (Figura 8 A e B).

No grupo 1 estão contidos Neossolos, Gleissolos, duas amostras de Plintossolos e uma única amostra da classe dos Luvissolos. Portanto, este grupo contém solos que, de modo geral, apresentam limitações de drenagem e que ocasionalmente podem ficar submersos, exceto o Luvissolo. Enquanto no grupo 2 estão algumas amostras dos Argissolos, Cambissolos, Luvissolos, duas amostras de Plintossolos e duas amostras de Neossolos.

O grupo 3 contém Latossolos, Espodossolos e algumas das amostras de Argissolos, representanto, de modo geral solos mais intemperizados e mais bem drenados associados aos ambientes de terra firme. Os solos deste grupo, de maneira geral, apresentam os maiores teores de Pb, Cr, Hg e Ti (Figura 8 A e B). finalmente, o grupo 4 contém os Vertissolos, que mostrou comportamento diferente dos demais solos.

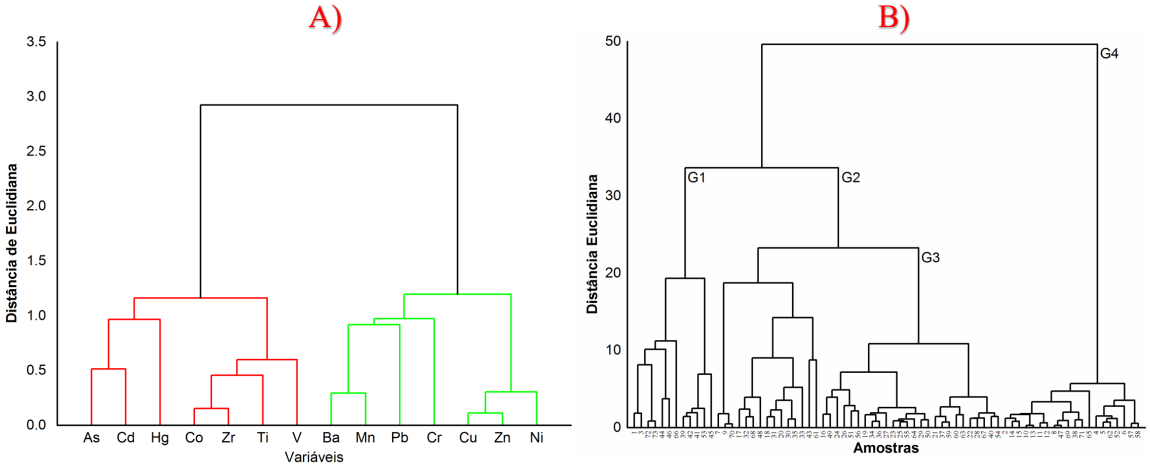
Figura 8 - Distribuição das cargas fatoriais para os metais (A) e distribuição dos escores de cada observação (amostra de solo) (B), para os solos estudados




### 3.3.5 Análise de *Cluster*

A análise *cluster* foi empregada visando a avaliar o comportamento dos metais pesados, o que permitiu dividir o conjunto em dois grupos (Figura 9 A). O primeiro grupo foi formado por As, Cd, Hg, Co, Zr, Ti e V enquanto o segundo grupo é formado pelos metais Ba, Mn, Pb, Cr, Cu, Zn e Ni

Figura 9 - Análise *cluster* para os metais pesados dos solos estudados e a sua divisão em dois grupos (A). Análise de *cluster* para os teores de metais pesados para os solos estudados (B).




A análise *cluster* foi também utilizada visando-se a entender o comportamento dos solos em relação aos teores de metais pesados (Figura 9 B), o que permitiu o agrupamento dos solos em quatro diferentes grupos (G1, G2, G3 e G4).

Os grupos G1 e G2 são formados principalmente por Gleissolos, Neossolos, Plintossolos, Vertissolos e onze Argissolos, muitos desses solos ocorrem no ambiente de várzea, ou na zona intermediária entre a várzea e a terra firme. Nestes dois grupos foram observados os maiores teores para os elementos Ba, Mn, Pb, Cr, Cu, Zn e Ni. O grupo G3 e G4 inclui principalmente, Argissolos, Latossolos, Cambissolos, Espodossolos e Luvissolos que ocorrem principalmente em ambiente de terra firme e apresentaram os maiores teores de As, Cd, Hg, Co, Zr, Ti e V.

### 3.3.6 Correlação linear de Pearson

Os teores naturais de metais pesados dos solos foram submetidos à correlação linear de Pearson ($p < 0,05$), juntamente com a granulometria e atributos químicos (pH $H_2O$, CTC a pH 7,0 e carbono orgânico (CO). A figura 10 ilustra as correlações significativas obtidas.

O As apresentou correção positiva moderada com Cd (r = 0,49), Co (r = 0,43), Cu (r = 0,30), Ni (r = 0,40) e Zr (r = 0,40). Foi observado uma correlação fraca do As com Hg (r = 0,26), Ti (r = 0,23), Zn (r = 0,25), CO (r = 0,16) e correlçao negativa fraca com Ba (r = -0,11) e argila (r = -0,24).

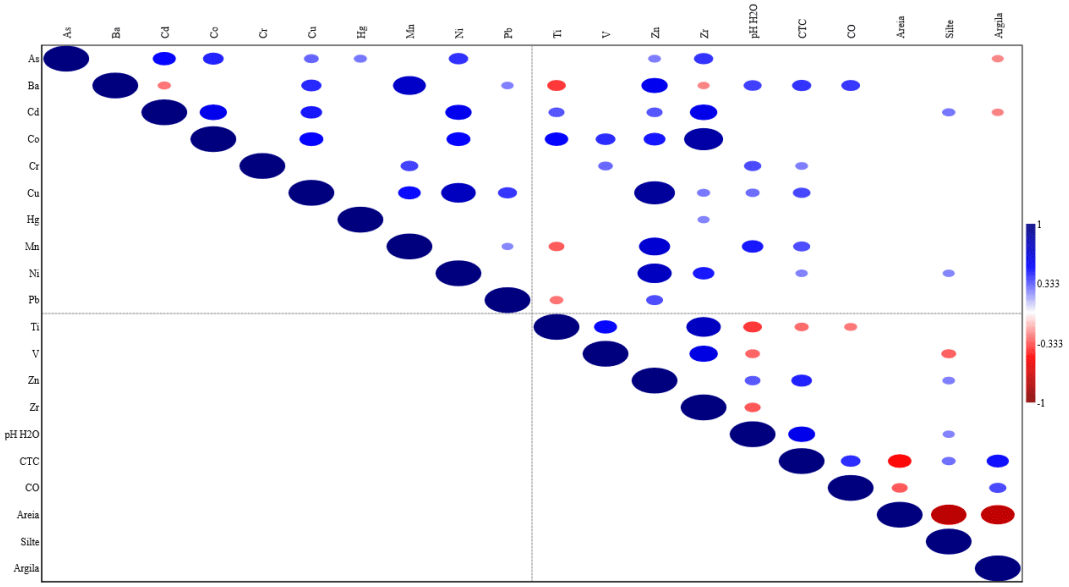
O Ba teve correlação positiva forte com Mn (r = 0,71) e Zn (r = 0,58). O Ba apresentou correlação postiva moderada com Cu (r = 0,42), pH $H_2O$ (r = 0,48), CTC (r = 0,40) e CO (r = 0,39). A correlação netagiva fraca se deu com Cd (r = -0,26), V (r = -0,16), Zr (r = -0,24) e areia (r = -0,16). O Zn apresentou correção positiva forte com Ba (r = 0,56), Cu (r = 0,89), Mn (r =

0,67) e Ni (r = 0,74). O Zn apresntou correlação prositva fraca com o CO 9(r = 0,22), e silte (r = 0,23). O Ti apresentou correlação negativa fraca com pH (r = -0,22), CTC (r = -0,29), CO (r = -0,26), silte (r = -0,10) e argila (r = -0,20). Apresentou correlação positiva forte apenas com Zr (r = 0,74).

A CTC apresentou correlação positiva moderada com Ba (r = 0,40), Cu (r = 0,36), Mn (r = 0,35) e Zn (r = 0,43). Também apresentou correlação positiva fraca com Cr (r = 0,25), Ni (r = 0,24) e Pb (r = 0,16). Correlação positiva forte se deu apenas com o pH $H_2O$ (r = 0,54).

O CO apresentou correlação positiva fraca com As (r = 0,16), Cu (r = 0,20), Hg (r = 0,18), Mn (r = 0,23), Ni (r = 0,12), Pb (r = 0,14) e Zn (r = 0,22).

Figura 10 - Matriz de correlação de Pearson entre os teores naturais de metais pesados nos solos e seus atributos químicos e composição granulométrica ($p < 0,05$). Maiores círculos representam maiores coeficientes de Pearson. Correlação positiva - azul. Correlação negativa - vermelho




As - Arsênio; Ba - Bário; Co - Cobalto; Cd - Cádimo; Cr - Cromo; Cu - Cobre; Hg - Mercúrio; Mn - Manganês; Ni - Níquel; Pb - Chumbo; Ti - Titânio; V - Vanádio; Zn - Zinco; Zr - Zircônio; CTC - CTC a pH 7,0; CO - Carbono orgânico.

## 3.4 DISCUSSÃO

### 3.4.1 Atributos químicos e granulometria dos solos

A ampla variação nos atributos químicos e granulometria dos solos analisados, evidenciada pelo coeficiente de variação (CV) dos dados, pode ser atribuída aos diferentes classes de solos estudados, que compõem o conjunto amostral. Embora sejam todos derivados de sedimentos e rochas sedimentares, possuem diferentes material de origem, diferentes estádios de pedogênse e diferentes características do ambiente, sendo a drenagem, possivelmente aquele com maior influência sobre os elementos avaliados.

No referido conjunto amostral foram incluídos solos bem drenados de terra firme, mais antigos e mais lixiviados, como os Latossolos, e solos muito jovens, em estádio incipiente de pedogênese, derivados de sedimentos recentementes depositados e que ocasionalmente ficam submersos, como os Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos, recebendo nessas ocasiões aporte de nutrientes e minerais diluídos ou suspensos nas águas de inundação (LIMA et al., 2006; QUESADA et al., 2011).

De acordo com as classes de reação dos solos (SiBCS, 2018), em média, a maioria dos solos estudados apresentaram reação variando de extremamente ácida a fortemente ácida, que inclui solos com valores de pH em água menores ou iguais a 5,3. Exceto os Vertissolos que apresentaram reação moderadamente ácida (solos com pH em água variando entre 5,4 e 6,5).

As condições atuais do ambiente de estudo, isto é, uma região tropical úmida, com elevados índices de precipitação pluviométrica, altas temperaturas médias, altas taxas de produção de biomassa e de decomposição de matéria orgânica, associadas às características do material de origem, favorecem a acidificação dos solos. Os maiores valores médio de pH, foram observados nos Vertissolos e nos Luvissolos, o que pode ser atribuído à natureza do material de origem desses solos - argilitos avermelhados a acizentados, arenitos conchíferos - certamente com teores mais elevados de bases. Esses resultados confirmam que os solos sedimentares da Amazônia brasileira apresentam reação fortemente a extremamente ácida.

Com exceção dos Argissolos, cujo teor médio de carbono orgânico foi de 0,42 g $kg^{-1}$, os demais solos apresentaram teores igual ou inferior a 0,20 g $kg^{-1}$, o que também é atribuído as condições do ambiente tropical, que embora seja favorável à produção de elevadas taxas de biomassa, por outro lado favorece as reações de decomposição, e no caso dos Espodossolos, cujo teor médio de carbono orgânico foi inferior a 0,10 g $kg^{-1}$, contribui também o composição granulométrica pobre em argila. Apesar de ocorrer em teores relativamente baixos na maioria dos solos, o carbono orgânico desempenha papel fundamental nesses solos, tanto como fonte

de cargas negativas, quanto como fonte de alguns nutrientes para o sistema (BRINKMANN, 1989; CUEVAS, LUGO, 1998; PAUDEL et al., 2015).

### 3.4.2 Teores naturais de metais pesados nos solos estudados e análise multivariada

A variação dos teores de metais nos solos analisados acompanha a diversidade pedológica e geológica da região Amazônica (SILVA-FILHO et al., 2014; QUESADA et al., 2010). Na área de estudo há o predomínio de rochas com baixos teores de metais pesados, principalmente nas áreas das bacias sedimentares, onde ocorre a presença de argilitos e arenitos. Por outro lado, as áreas do embasamento cristalino possuem rochas que apresentam um conteúdo maior de metais pesados, dentre elas granitos e gnaisses (REIS; ALMEIDA, 2010). Assim, essa diversidade geológica presente na região é refletida nos coeficientes de variação dos metais pesados nos solos estudados, que são superiores a 100%.

Os teores máximos de Ba, Cd, Cr, Cu e Zn foram encontrados na classe dos Luvissolos, tendo a amostra 45 relacionado (formação solimões), apresetando os maiores teores de Cu (17,69 mg $kg^{-1}$) e Zn (63,81 mg $kg^{-1}$), assim como os maiores teores de Ba, Cd e Cr, foram encontrados no Luvissolos, mas não em uma amostras específica. Os altos teores de Ba, podem ser explicados por Kabatas-Pendias e Mukherjee (2007) que sugerem que este elemento possui alta afinidade litológica e comumente concentrado em sedimentos argilosos. Outra explicação deve-se a presenção desses elementos como substituto do K na estrutura do feldspato (WHO, 1990). Esses maiores teores, pode ser devido o material de origem, basicamente formados a partir de rochas argilosas com concreções carbonáticas e gipsíferas, concreções de pirita e arenitos ferruginosos (CAVALCANTE, 2006). Moreira (2016), encontrou teores mais elevados em Cu (65,47 mg $kg^{-1}$) em amostras Latossolos e Zn (347,77 mg $kg^{-1}$) em amostas de Gleissolos na formação Solimões.

De modo geral, os teores mais baixos de metais foram encontrados nas amostras de Espodossolos, o que reflete a baixa concentração de metais no material de origem desses solos (arenitos e/ou depósitos arenosos do Quaternário), ao predomínio da fração areia entre as partículas primárias do solo  e o intemperismo ao qual esses solos foram submetidos durante o processo de pedogênese, que, de acordo com alguns autores, contribuiu para a remoção e destruição da argila, com o consequente predomínio da fração areia, constituída principalmente por quartzo (LUNDSTRÖM et al., 2000; DUBROEUCQ; VOLKOFF, 1998; HORBE et al., 2004; NASCIMENTO et al., 2004).

Em geral, os teores de metais pesados nos solos estudados seguem o mesmo padrão de distribuição de metais em solos de diferentes locais (ALLOWAY, 2013). Os elevados teores

médios dos elementos Ti, Mn e V são reflexo da abundância destes elementos na crosta terrestre, fato observado nos solos estudados.

Além do material de origem, o processo de intemperismo ao qual esses solos foram e estão sendo submetidos também influencia na distribuição dos metais. Na região Amazônica, o grau de intemperismo tende a favorecer o processo de monossialitização, ocasionando, assim, uma maior perda daqueles metais de maior mobilidade no solo, tais como Cu, Ni, Pb e Zn (KONHAUSER et al., 1994; MORTATTI, PROBST, 2003; QUESADA et al., 2010).

Os dados obtidos neste estudo, submeidos à análise multivariada, se coadunam com essa hipótese (Figuras 7A e 7B). O primeiro grupo é constituído pelos metais As, Cd, Hg, Co, Zr, Ti e V, os quais ocorrem em maiores teores em solos de várzea ou em ambientes intermediários entre a várzea e a terra firme como mostrado por Horbe et al (2007), isto é, esse conjunto de metais ocorreu mais associados aos solos cujo processo de intemperismo é menos acentuado, em razão das limitações de drenagem. O segundo grupo, constituído por Ba, Mn, Pb, Cr, Cu, Zn e Ni, apresentaram teores mais elevados nos solos mais bem drenados, associados à terra firme. Moreira, (2016) identificou dois grupos de solos e associou cada um deles aos solosde várzea, que apresentavam os maiores teores de elementos de maior mobilidade, tais como Ba, Co, Cu, Ni, Pb, Zn e Mn e o solos de terra firme apresentaram os maiores teores dos elementos Cr, V, Ti e Zn.

A formação de grupos de solos com a presença de elementos de maior e menor mobilidade também foi observada por Schucknecht (2012), em um estudo pedogeoquímico de solos das regiões Nordeste, Centro-Oeste e Norte do Brasil. Neste estudo, o autor identificou grupos de solos com maiores concentrações dos elementos Al, Fe e Ti e relacionou estes elementos com uma menor mobilidade no solo, tendo em vista a presença destes em óxidos de ferro, minerais primários e secundários, sendo estes resistentes aos processos de intemperismo. Outro grupo de solos foi também identificado pelo autor, onde foram encontrados elementos de maior mobilidade, tais como Ca, K, Mg e Na, que são considerados facilmente lixiviados no perfil do solo.

Burak et al. (2010), em um estudo sobre o comportamento geoquímico de metais pesados em solos de Minas Gerais - Brasil, identificaram uma maior mobilidade para os elementos Co, Ni, Cu, Pb, Mn e Zn e relacionaram este fato ao intenso intemperismo e lixiviação aos quais os solos foram submetidos. Nael et al. (2009) encontraram a seguinte ordem de mobilização para metais em solos sob floresta no Iran: Mn > Co > Ni > Zn > Cu > Pb, enquanto Cr, V e Fe apresentaram baixa mobilidade durante o processo de intemperismo. Em

um estudo sobre adsorção competitiva de metais. Fontes e Gomes (2003) identificaram a seguinte ordem crescente de adsorção: Cr > Pb > Cu > Ni > Cd > Zn. Segundo os autores, em solos com baixos sítios de adsorção para metais pesados, a competição entre os metais é intensa e metais que apresentam ligações mais fracas (como Zn, Cd, Ni e Cu) tendem a ter uma menor retenção na fase sólida do solo e são passíveis de maior mobilização no sistema. Esses elementos, de maneira geral, apresentam uma maior mobilidade durante o processo de intemperismo, sendo a mesma favorecida por características intrínsecas dos metais e do solo.

Com isso pode-se inferir que, durante o processo de mobilização desses metais, parte tende a ser adsorvida nas partículas orgânicas e minerais suspensas nestes rios e parte tende a ficar dissolvida nas águas dos principais rios dos Estados do Acre e Amazonas.

O Rio Juruá e alguns de seus afluentes são de origem andina e 97% das cargas de partículas encontradas tem predomínio de partículas minerais, e, em menor quantidade, matéria orgânica (GUIMARÃES et al., 2013; GUYOT et al., 2007; SEYLER; BOAVENTURA, 2003). Os metais que estão em suspensão nas águas tendem a ser adsorvidos por estas partículas, sendo parte carreada para o oceano Atlântico, enquanto a outra parte é submetida ao processo de sedimentação em ambientes de menor energia. Tais ambientes estão geralmente nas áreas de várzea, onde predominam os Gleissolos e Neossolos Flúvicos, onde foram obtidas as maiores concentrações de metais considerados de maior mobilidade. Solos de várzea geralmente apresetam minerais do tipo 2:1 em maior quantidade em relação aos de terra firme., fato que parece influenciar nos maiores teores de metais (XAVIER, 2013).

A constituição destes sedimentos, é outro fator que contribui para a presença destes elementos em maior quantidade nos solos de várzea. Seyler e Boaventura (2003), estudando a concentração de metais em partículas nas águas dos rios Negro, Madeira e Solimões, bem como de seus afluentes, encontraram as maiores concentrações de metais nas partículas do rio Solimões e relacionaram este fato à maior contribuição de partículas oriundas da região dos Andes.

Por outro lado, os solos de terra firme apresentam um maior teor de metais de baixa mobilidade no solo, como Ti, Cr, V e Zr (MOREIRA, 2016). No Estado do Amazonas, as classes de solos predominantes são os Argissolos (45%), Latossolos (26%), Gleissolos e Neossolos Flúvicos (9%), Espodossolos (7%) e Plintossolos (3,5%) (TEIXEIRA et al., 2010). As classes de solos predominantes no Estado do Acre são os Argissolos (38,32%), Cambissolos (31,56%), Luvissolos (14,60%), Gleissolos (5,98%), Latossolos (3,15%), Vertissolos (3,04%), Plintossolos (2,21%) e Neossolos (1,16%), somente no município de Feijó-AC cerca de 80%

de seu território ocupado por Cambissolo (AMARAL et al., 2006). Os Gleissolos e Neossolos Flúvicos são os que ocorrem ao longo dos grandes rios de águas barrentas que cortam os Estados, e muitas vezes estes são chamados de solos de várzeas, enquanto os demais solos são conhecidos como solos de terra firme.

Os elementos Ti e Zr são considerados de menor mobilidade no solo e estão associados a minerais primários ou secundários de maior resistência aos processos de intemperismo (CORNU et al., 1999; DU et al., 2012). Assim, os maiores teores desses elementos nos solos de terra firme podem estar associados a minerais de maior resistência ao intemperismo na região Amazônica, apresentando, assim, menor mobilidade quando comparados com outros elementos. Du et al. (2012), em um estudo de um perfil laterítico na Austrália Ocidental, encontraram os minerais rutilo ($TiO_2$), ilmenita ($FeTiO_3$) e zircão ($ZrSiO_4$) e relacionaram a presença destes à maior resistência ao intemperismo e menormobilidade no perfil do solo.

Horbe et al. (2007), em um estudo de perfis de solo e sedimentos na bacia do rio Solimões (Coari - AM), encontraram os maiores teores de elementos de menor mobilidade nas áreas de colina, enquanto os elementos de maior mobilidade (Ba, Cu, Ni, Pb, V e Zn) foram concentrados nos sedimentos recém expostos durante o período Quaternário e nos solos de várzea.

Esse comportamento para os dois grupos de metais obtidos na análise multivariada também foi encontrado por Moreira, (2016) para solos no Estado do Amazonas e Konhauser et al. (1994), em um estudo sobre o comportamento de metais pesados e cátions maiores em solos, sedimentos e água na região Amazônica.

### 3.4.3 Análise da correlação de Pearson

O comportamento de metais pesados em solos intemperizados, principalmente com relação à sua adsorção, e a identificação dos fatores que mais influenciam sua mobilidade e biodisponibilidade, é uma ferrramenta importante que deve lançar mão para uma melhor compreensão nos estudos realizados (ARAÚJO, et al., 2002)

A fração argila geralmente apresenta forte correlação com diversos metais pesados no solo (McBRIDE, 1994; FONTES; GOMES, 2003; PACHECO, 2015), o que não foi observado neste estudo com excessão de As e Cd que apresentaram correlação com este atributo. A correlação entre a CTC e os teores de metais sugere que boa porcenteagem dos elementos se encontra na fração trocável, fato aposto ao observdo por Davila (2018).

Os elementos Co e Ni possuem comportamento semelhante e são falcilmente solubilizados frente ao intemperismo (COSTA, 2001), o que pode explicar a correlação positiva

forte. A ausência de correlação significativa entres os teores de metais e as frações graulométricas dos solos, indica que os elementos não estão concentrados em uma fração específica. Com excessão do As e Cd que apresentam correlação negativa fraca com a argila (r = -0,24) para os dois elementos e Cd e Ni com correlação positiva fraca com a argila (r = 0,27) e (r = 0,24), respectivamente.

A correlação do As com o CO pode ser devido a concentração deste depender da proporção matéria orgânica. Nos solos o tempo de retenção do As é função das características do solo, tais como pH, matéria orgânica e dos óxidos de Fe e Al (VELOSO, 2008). A correlação do As com Cu, Ni e Co pode ser pelo fato que essa associação ocorre naturalmente. Reimann e Caritat (2005) relatam que uma das barreiras geoquímicas do As é o teor de argila, fato obervado pela correção negativa. A correlação positiva forte do Zn com os metais Ba, Cu, Mn e Ni pode ser devido a mobilidade que estes metais apresentaram neste estudo corroborado por Moreira, (2016) e Horbe et al. (2007).

A correlação do Ti com os atributos do solo pH, CTC, CO, silte e argila, demonstra que esse elemento possue mobilidade baixa, não dependedo destes atributos para sua ocorrência no solo, pois observa-se uma correlação inversa. O Ti apresentou correlação positiva forte apenas com o Zr, o que pode ser explicado pela baixa modibilidade nos solos, pois geralmente estão associados a minerais primários ou secundários de maior resistência ao processo de intemperismo (CORNU et al., 1999; DU et al., 2012).

O CO de um solo tem relação com à CTC (KÄMPF et al, 1985), fato observado neste estudo pela correlação positiva destes atributos. A correlação do CO com Ba, Cu, Pb e Zn pode ser explicada pela afinidade deste elemento com a fração matéria orgânica do solo (NASCIMENTO et al, 2002; MELO et al, 2008; SILVA e VITTI, 2008).

## 3.5 CONCLUSÕES

Os teores de metais pesados nos solos estudados apresentam valores muito abaixo quando comparado com outros valores de outros Estados do Brasil e de países com Holanda e Cuba. Esses baixos teores de metais estão relacionados principalmente ao material de origem dos solos, que são formados predominantemente sobre rochas sedimentares pobres em metais.

Entre os ambientes estudados, os solos de várzea (Gleissolos e Neossolos) e solos com restrição a drenagem como os Plintossolos apresentaram os maiores teores médios de Pb, Cu, Zn e Ni, enquanto que na terra firme ss elementos Cd, Cr, Hg, Mn e V apresentaram seus maiores teores, sendo as maiores concentrações obtidas nos Luvissolos.

Os teores naturais de metais pesados em solos dos Estados do Acre e Amazonas seguiram a seguinte ordem: Mn > Ti > Ba > V > Zn > Co > Pb > Cu > Zr > Cr > Ni > As > Hg > Cd.

## 3.6 REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, W. A. P.; MARQUES, J. J. **Manual de coleta de solos para valores de referência de qualidade no Estado de Minas Gerais.** FEAM. Belo Horizonte, 15 p.; il. 2013.

ACRE. Governo do Estado do Acre. **Programa Estadual de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre**. Zoneamento Ecológico-Econômico – ZEE/AC 2ª fase. Rio Branco: SECTMA, 2006.

ACRE. Governo do Estado do Acre. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase II (Escala 1:250.000): Documento Síntese. 2. Ed. Rio Branco: SEMA, 2010. 356p.

ALFARO, M. R. et al. Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, p. 4198, 2015.

ALLOWAY B. J., TREVORS J. T.. Heavy Metals in Soils-Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. New York: **Springer Dordrecht Heidelberg**. 2013.

ALMEIDA, J. R. et al. Background and Reference Values of Metals in Soils from Paraíba State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1 - 13, 2016.

AMARAL, E. F. et al. Solos. In: ACRE. Governo do Estado. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico- Econômico do Acre**. Zoneamento ecológico-econômico do Acre fase II**: documento síntese: escala 1:250.000. Rio Branco: SEMA, 2006.

ANJOS, L. H. C. et al. (Ed.). **Guia de campo da IX Renião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos.** Brasilia, DF: Embrapa, 2013.

ARAÚJO, W. S. Relação entre adsorção de metais pesados e atributos químicos e físicos de calesses de solo do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. 26: 17-27, 2002.

BIONDI, C.M. et al. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em Solos de Referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1057-1066, 2011.

BIRANI, S. M. et al. Available contents of potentially toxic elements in soils from the Eastern Amazon. **Chemie der Erde - Geochemistry**, v. 75, p. 143-151, 2015.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil, folha SB. 19, Juruá**. Rio de Janeiro, 1978. 561p.

BRINKMANN, W. L. F. System propulsion of an Amazonian Lowland Forest: an outline. **GeoJournal**, v. 19, p. 369 - 380, 1989.

BRUS, D.J.; LAMÉ, F.P.J.; NIEUWENHUIS, R.H. National baseline survey of soil quality in the Netherlands. **Environmental Pollution**, v.7, p. 2043 - 2052, 2009.

BURAK, D.L. et al. Geochemistry and spatial distribution of heavy metals in Oxisols in a mineralized region of the Brazilian Central Plateau. **Geoderma**, v. 160, p. 131-142, 2010.

CAMPOS, M. C. C. et al. Mineralogical characteristics of oxisols and ultisols in Southern Amazonas. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 9, p. 1 - 7, 2011.

CAVALCANTE, L. M. Geologia e geomorfologia do Estado do Acre. In: ACRE. Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia. **Programa Estadual de Zoneamento ecológico-econômico do Estado do Acre:** 2ª fase. Rio Branco: 2006.

CERRI, C. E. P. et al. **Potential of soil carbon sequestration in the Amazonian Tropical Rainforest**. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C.E.P (Org). Carbon sequestration in soils of Latin America. New York, Haworth. p. 245-266. 2006.

CETESB, 2014. **Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo 2014**. http://solo.cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/34/2014/12/valores-orientadores-nov-2014.pdf Acesso em Dezembro, 2018.

CHEN, M.; M. A, L. Q.; HARRIS, W. G. Baseline concentrations of 15 trace elements in Florida surface soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 28, p. 1173- 1181, 1999.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIOR AMBIENTE, 2009. **Resolução nº 420/2009**. Disponível em http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf Acesso em Janeiro, 2016.

COPAM - CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL, 2011. **Deliberação Normativa N° 166 de 2011**. Disponível em http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=18414 Acesso em Agosto, 2016.

CORNU, S. et al. Evidence of titanium mobility in soil profiles, Manaus, central Amazonia. **Geoderma**, v. 91, p. 281-295, 1999.

CPRM. **Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Estado do Amazonas**. 2006. http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_amazonas.pdf Acesso em Junho, 2016.

CUEVAS, E; LUGO, A. E. Dynamics of organic matter and nutrient return from litterfall in stands of ten tropical tree plantation species. **Forest Ecology and Management**, v. 112, p. 263 -279, 1998.

CUNHA, G. O. M; et al**.** Formas de alumínio em solos Ácidos brasileiros com teores excepcionalmente altos de $Al^{3+}$ extraível com KCl. Viçosa, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:1362-1377, 2015.

DAVILA, R. B. Metais pesados no rejeito e em solos da planícies aluviais afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão, Mariana (MG) [Dissertação]. Universidade Federal de Viçosa; 2018.

DU, X.; RATE, A. W; GEE, M.M. Redistribution and mobilization of titanium, zirconium and thorium in an intensely weathered lateritic profile in Western Australia. **Chemical Geology**, v. 330, p. 101 - 115, 2012.

DUBROEUCQ, D.; VOLKOFF, B. From Oxisols to Spodosols and Histosols, evolution of the soil mantles in the Rio Negro Basin (Amazonas). **Catena**, v. 32, p. 245 - 280, 1998.

DUFFUS, J. H. "Heavy Metals" - A meaningless term? (IUPAC Technical Report). **Pure Appl. Chem.**, Vol. 74, No. 5, pp. 793-807, 2002.

EIRAS, J. F., et al. **Bacia do Solimões.** Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, 8(1):17-45, 1994.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2º ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos, Rio de Janeiro. 230 p. 2017.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília, DF; 2013.

FEIJÓ, F. J; SOUZA, R. G. **Bacia do Acre.** Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, 8(1):9-16. 1994.

FEIJÓ, F.J., SOUZA, R.G. Bacia do Acre. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, 8(1):9-16. 1994.

FERREIRA, A. M. M.; SALATI, E. Forças de transformação do ecossistema Amazônico. **Estudos Avançados**, v. 19, p. 25 - 44, 2005.

FONTES, M. P. F., GOMES, P.C. Simultaneous competitive adsorption of heavy metals by the mineral matrix of tropical soils. **Applied Geochemistry**, v. 18, p. 795-804, 2003.

GUALBERTO, V.; RESENDE, M.; CURI, N. Química e mineralogia de Latossolos, com altos teores de ferro, da Amazônia e do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 245- 252, 1987.

GUIMARÃES, S. T. et al. Caracterização e classificação de Gleissolos da várzea do rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 317 - 326, 2013.

GUYOT, J. L. et al. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. **Catena**, v. 71, p. 340-356. 2007

HATJE, V. et al. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. **Sci Rep**. 2017. 7:1–13.

HERNANDEZ, L. et al. Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination. **Science of Total Environment**, v. 312, p. 195 - 219, 2003.

HORBE, A.M.C. et al. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari - AM, Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 37, p. 81 - 90, 2007.

HORBE, A.M.C.; HORBE, M.A.; KENITIRO, S. Tropical spodosols in northeastern Amazonas state, Brazil. **Geoderma**, v. 119, p. 55 - 68, 2004.

IBGE. **Geoestatísticas de Recursos Naturais da Amazônia Legal**. 2003. Estudos e Pesquisas, Informações Geográficas no 8. Rio de Janeiro, R.J. 2011.

IBGE. **Mapa de Solos do Estado do Acre**. 2011. ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/pedologia/unidades_federacao/ac_pedologia. pdf Acesso em 28 de Junho de 2016.

IBGE. **Mapa de Solos do Estado do Amazonas**. 2011. ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/pedologia/unidades_federacao/am_pedologia. pdf Acesso em 28 de Junho de 2016.

IBGE. **Perfil do Estado do Amazonas**. 2016. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/Estadosat/perfil.php?sigla=am.> Acesso em Dezembro. 2018.

KÄMPF, N; SCHNEIDER, P.; KLAMPT, E. **Apostila da disciplina de introdução à ciência do solo**. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 250p. 1985.

KANELLOPOULOS, C.; ARGYRAKI, A. Soil baseline geochemistry and plant response in areas of complex geology. Application to NW Euboea, Greece. **Chemie der Erde - Geochemistry**, v. 73, p. 519 - 532, 2013.

KIRPICHTCHIKOVA, T.A. et al. Speciation and solubility of heavy metals in contaminated soil using Xray microfluorescence, EXAFS spectroscopy, chemical extraction, and thermodynamic modeling. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 70, p. 2163 - 2190, 2006.

KONHAUSER, K.; FYFE, W.; KRONBERG, B. Multi-element chemistry of some Amazonian waters and soils. **Chemical Geology**, v. 111, p. 155-175, 1994.

LI, Z. et al. Distributions, sources and pollution status of 17 trace metal/metalloids in the street dust of a heavily industrialized city of central China. **Environment Pollution**, v. 182, p. 408-416, 2013.

LIMA, H. N. et al. Mineralogia e química de três solos de uma toposseqüência da bacia sedimentar do alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 59 - 68, 2006.

LIMA, H.N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 176p. (Tese de Doutorado).

LUNDSTRÖM, U.S.; VAN BREEMEN, N.; BAIN, D. The podzolization process. A review. **Geoderma**, v. 94, p. 91-107. 2000.

MARQUES, J. J. G. S. M. et al. Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. **Clay Mineralogy**, v. 37, p. 651 - 661, 2002.

McBRIDE, M. B. **Environmental Chemistry of Soils**. Oxford University Press; 1994.

MCKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite-and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canada Journal Soil Science**, v. 46, p. 13-22, 1966.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate**. Clays Clay Mineral**, v. 7, p. 317 - 327, 1960.

MELO, E. E. C.; NASCIMENTO, C. W. A.; SANTOS, A. C. Q.; SILVA, A. S. Disponibilidade e fracionamento de Cd, Pb, Cu e Zn em função do pH e tempo de incubação com o solo. **Ciênc. agrotec**., Lavras, v. 32, n. 3, p. 776-784, 2008.

MELO, V.F. et al. Propriedades químicas e cristalográficas da caulinita e dos óxidos de ferro em sedimentos do grupo barreiras no município de Aracruz, Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 53-64, 2002.

MESQUITA, C. C. de. **O clima do Estado do Acre**. Rio Branco: IMAC, 1996. 53 p.

MOREIRA, L. J. S. **Caracterização química, física, mineralógica e teores naturais de metais pesados em solos do Estado do Amazonas**. Tese Doutorado. Universidade Federal e Viçosa. 2016.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO2 uptake in the Amazon Basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. **Chemical Geology**, v. 197, p. 177-196, 2003.

MRVIĆ, V. et al. Pedogeochemical mapping and background limit of trace elements in soils of Branicevo Province (Serbia). **Journal of Geochemical Exploration**, v. 109, p. 18-25, 2011.

NAEL, M. et al. Effect of geopedological conditions on the distribution and chemical speciation of selected trace elements in forest soils of western Alborz, Iran. **Geoderma**, v. 152, p. 157-170, 2009.

NASCIMENTO N. et al. Podzolization as a deferralitization process: A study of an Acrisol-Podzol sequence derived from Palaeozoic sandstones in the northern upper Amazon Basin. **European Journal of Soil Science**, v. 55, p. 523- 538, 2004.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, , R. L. F.; NEVES, J. C. L. MELÍCIO, A. C. F. D. Fracionamento, dessorção e extração química de zinco em Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.26, p. 599-606, 2002.

PACHECO, A. A. **Avaliação da contaminação em solos e sedimentos da bacia hidrográfica do rio Doce por metais pesados e sua relação com o fundo geoquímico natural** [Tese]. Universidade Federal de Viçosa; 2015.

PAUDEL, E. et al. Litterfall and nutrient return along a disturbance gradient in a tropical montane forest. **Forest Ecology and Management**, v. 353, p. 97-106, 2015.

PAYE, H. S. et al. Reference quality values for heavy metals in soils from Espírito Santo State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 2041-2051, 2010.

PRESTON, W. et al. Quality reference values for heavy metals in soils of Rio Grande do Norte, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 2041-51,2014.

QUESADA, C. A. et al. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. **Biogeosciences**, v. 7, p. 1515-1541, 2010.

QUESADA, C.A. et al. Soils of Amazonia with particular reference to the rainfor sites. **Biogeosciences**, v. 8, p. 1415-1440, 2011.

RAMMIG, A. et al. Estimating the risk of Amazonian forest dieback. **New Phytologist**, v. 187, p. 694 - 706, 2010.

REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRET, R. G. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. **Science of Total Environment**, v. 346, p 1 - 16, 2010.

REIMANN. C; CARITAT, P. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. **Science of the Total Environment** 337 - 91–107, 2005.

REIS, N. J, ALMEIDA, M. E. **Arcabouço Geológico**. In: MAIA, M.A.M.; MARMOS, J.L., eds. Geodiversidade do Estado do Amazonas. Manaus, CPRM, 2010. p.17-26.

ROTHWELL, A. K.; COOKE, M. P. A comparison of methods used to calculate normal background concentrations of potentially toxic elements for urban soil. **Science of the total environmen**t, v. 532, 625 - 634, 2015.

SALMINEN, R.; TARVAINEN, T. The problem of defining geochemical baselines. A case study of selected elements and geological materials in Finland. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 60, p. 91 - 98, 1997.

SANTOS, J. O. S. **Considerações sobre a Bacia Cenozóica Solimões.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Geologia, Anais, 3:3-11. 1993.

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

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Solos da Região Amazônica. In: CURI, N. et al. (Eds.). **Pedologia - solos dos biomas brasileiros.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.2017. p. 111-175.

SCHUCKNECHT, A. et al. Pedogeochemistry in NE-Brazil — compared to Australia and Europe. **Science Total Environment**, v. 438, p. 342-356, 2012.

SCHWERTMANN, U., KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. **Soil Science**, v.139, p. 344-350, 1985.

SCHWERTMANN, U., PFAB, G. Structural vanadium and chromium in lateritic iron oxides: genetic implications. **Geochimica et cosmochim Acta**, v. 60, p. 4279-4283, 1996.

SEYLER, P., BOAVENTURA, G.R. Distribution and partition of trace metals in the Amazon Basin. **Hydrological Processes**, v. 17, p. 1345-1361, 2003.

SILVA-FILHO, E. V. et al. Distribution of trace metals in stream sediments along the Trans-Amazonian Federal Highway, Para State, Brazil. **Journal South American Earth Sciences**, v. 54, p. 182-195, 2014.

SILVA, A. J. P. et al. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: BIZZI, L. A. et al. (Eds.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil -** Texto, mapas e SIG. Brasília, DF: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 203. p. 55-85.

SILVA, M. L. S; VITTI, G. C. Fracionamento de metais pesados em solo contaminado antes e após cultivo de arroz. **Química Nova**, Vol. 31, No. 6, p.1385- 1391, 2008.

SIOLI, H. **Amazônia fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. Instituto Max-Planck de Limnologia. Editora Vozes Ltda, Petrópolis, RJ. 72pp. 1984.

STANKOVIC, S., KALABA, P., STANKOVIC, A.R. Biota as toxic metal indicators. **Environmental Chemistry Letters**, v. 12, p. 63 - 84, 2014

SULTAN, K., SHAZILI, N.A. Distribution and geochemical baseline of major, minor and trace elements in tropical topsoils of the Terengganu River basin, Malaysia. **Journal Geochemical Exploration**, v. 103, p. 57-68, 2009.

TEIXEIRA, W.G. et al. **Solos do Estado do Amazonas**. In: MAIA, M.A.M.; MARMOS, J.L. (Eds.). Geodiversidade do Estado do Amazonas. Manaus, CPRM, 2010. p.71-86.

TENG, Y. et al. Geochemical baseline of trace elements in the sediment in Dexing Area, South China. **Environmental Geology**, v. 57, p. 1646-1660, 2009.

THANACHIT, S. et al. The geochemistry of soils on a catena on basalt at Khon Buri, northeast Thailand. **Geoderma**, v. 135, p. 81-96, 2006.

TUME, P. et al. Baseline concentrations of potentially toxic elements in natural surface soils in Torrelles (Spain). **Environmental Forensics Journal**, v. 7, p. 369-375, 2006.

USEPA. United States Environmental Protetc Agency. **Method 3051A - Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils**. 1998. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf Acesso Fevereiro, 2015.

VALÉRIO, C. S., SOUZA, V. S., MACAMBIRA, M. J. B. The 1,90-1,88 Ga magmatism in the southernmost Guyana Shield, Amazonas Brazil: geology, geochemistry, zircon geochronology, and tectonic implications. **Journal South American Earth Sciences**, v. 28, p. 304-320, 2009.

VELOSO, R. W. **Introdução a geoquímica**. Vozes. São Paulo. 2008

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

VOUTSA, D., SAMARA, C. Labile and bioaccessible fractions of heavy metals in the airborne particulate matter from urban and industrial areas. **Atmospheric Environment**, v.36, p. 3583-3590, 2002.

WARD, J. H. Hierarquical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, p. 236 – 244. Mar. 1963.

WEI, B., YANG, L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. **Microchemical Journal**, v. 94, p. 99-107, 2010.

WHO (World Health Organization). Barium. **Environmental Health Criteria** 107, Geneva. 148p. 1990.

WUANA, R.A., OKIEIMEN, F.E. **Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation**. ISRN Ecol. 2011.

XAVIER, B. T. L. **Mineralogia e teores naturais de metais pesados em solos da Bacia Sedimentar Amazônica**. Tese Doutorado. universidade Federal de Viçosa. 2013.

BIONDI, C. M. **Teores Naturais de Metais Pesados nos Solos de Referência do Estado de Pernambuco. 2010**, 67f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciências do Solo) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CAIRES, S. M. **Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade**. 2009, 304f (Tese de Doutorado) UFV, Viçosa, 2009.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Method 3051a** - Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Revision 1 Fev 2007. 30p. Disponível em ‹http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf›. Acesso em março de 2015.

SILVA-FILHO, E. V., MARQUES, E. D., VILA, M., GOMES, O. V. O., SANDERS, C. J., KUTTER, V. T. Distribution of trace metals in stream sediments along the Trans- Amazonian Federal Highway, Para State, Brazil. **Journal South American Earth Sciences**, v. 54, p. 182–195, 2014.

KABATA-PENDIAS, A. & MUKHERJEE, A.B. **Trace elements from soil to human**. New York, Springer-Verlag, 2007. 550p.

## 4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A área de estudo possui uma diversidade de solos ligada principalmente a compartimentação ambiental, como as áreas de várzea e terra firme. A formação dos solos nestes diferentes ambientes, imprimi características com uma riqueza mineral elevada até uma pobreza química.

Os solos de várzea encontra-se formados por sedimentos andinos e têm neste sedimento sua riqueza mineral, que condiciona estes solos um maior uso agrícola por parte das pequenas famílias que vivem as margens dos rios de água barrenta. Os solos de terra firme, apresentam uma pobreza mineral que pode limitar seu uso agrícola.

O material de origem dos solos, muitos deles formados por sedimentos, refletem o baixo teor de metais pesados encontrados nos solos estudados. No entanto, fica evidente neste trabalho que metais pesados que apresentam maior mobilidade no perfil do solo são encontrados principalmente nos ambientes acumuladores, como os solos de várzea, enquanto que, os metais de menor mobilidade são encontrados nas áreas de terra firme.

Deve-se levar em consideração as características dos ambientes de várzea e terra firme quando se propor os VRQ's para metais pesados, visto que esses ambientes são bem distintos, sugerindo que se estabeleça ao menos dois VRQ's, sendo um para o ambiente de várzea e outro para terra firme.

Ainda há grande necessidade de estudos mais aprofundados com relação à gênese dos solos formados sobre as principais rochas sedimentares, procurando melhor compreender a relação entre tais solos e a Floresta Amazônica. Observa-se também a necessidade de mais estudos voltados à classificação e caracterização desses solos, o que poderá subsidiar um melhor uso e conservação destes.

# APÊNDICE

Figura - Mapa das classes de solos do Amazonas e pontos de coleta.

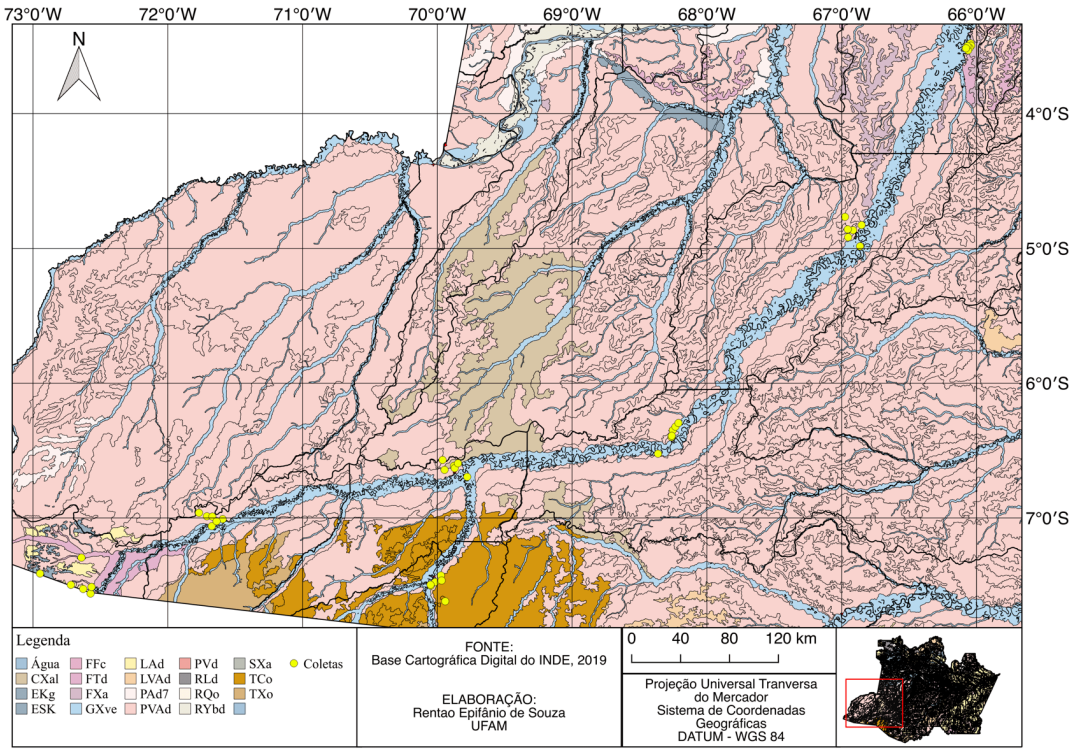



Figura - Mapa das classes de solos do Acre e pontos de coleta.

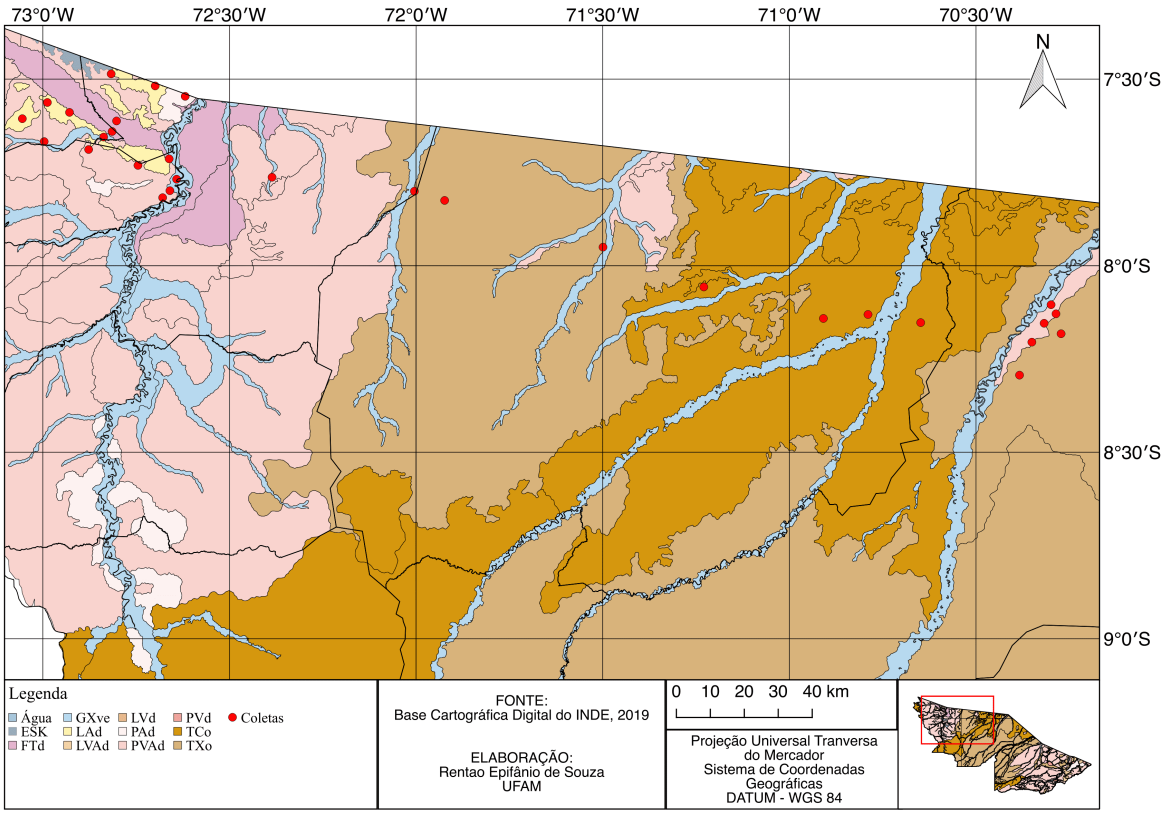


Tabela 3 - Taxas de recuperação para a amostra certificada *NIST SRM 2711a - Montana II Soil*, obtidas pelo método EPA 3051A.

| Elemento | Teor lixiviável (NIST) | Teor obtido | Taxa de recuperação |
|---|---|---|---|
| | ----------mg $kg^{-1}$---------- | | % |
| Arsênio (As) | 89 | 89,42 | 100,48 |
| Bário (Ba) | 190 | 187,04 | 98,44 |
| Cádimo (Cd) | 47 | 50,63 | 107,73 |
| Cobalto (Co) | 7,5 | 7,79 | 103,87 |
| Cromo (Cr) | 15 | 18,97 | 126,47 |
| Cobre (Cu) | 130 | 130,22 | 100,17 |
| Mercúrio (Hg) | - | - | |
| Manganês (Mn) | 460 | 455,76 | 99,08 |
| Níquel (Ni) | 15 | 16,10 | 107,34 |
| Chumbo (Pb) | 1300 | 1331,18 | 102,40 |
| Titânio (Ti) | - | - | |
| Vanádio (V) | 28 | 37,77 | 134,90 |
| Zinco (Zn) | 350 | 345,96 | 98,85 |
| Zircônio (Zr) | - | - | |

Tabela - Teores naturais de metais pesados extraídos em digestão ácida de 73 amostras de solos coletadas nos Estados do Amazonas e Acre - Brasil.

| Amostras | As | Ba | Cd | Co | Cr | Cu | Hg | Mn | Ni | Pb | Ti | V | Zn | Zr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | mg kg$^{-1}$ | | | | | | | |
| | | | | | | | ARGISSOLOS | | | | | | | |
| 1 | <LD | 138,88 | <LD | 13,03 | 0,05 | 5,82 | <LD | 716,43 | <LD | 6,30 | 65,98 | 19,36 | 23,53 | <LD |
| 2 | <LD | 44,55 | <LD | <LD | 3,76 | 2,54 | <LD | 57,47 | <LD | 7,99 | 33,92 | 35,12 | 9,28 | <LD |
| 3 | <LD | 73,74 | <LD | 10,40 | 1,99 | 6,30 | <LD | 445,17 | <LD | 14,49 | 49,92 | 21,19 | 25,46 | <LD |
| 4 | <LD | 71,88 | <LD | 1,69 | <LD | 3,56 | <LD | 321,94 | <LD | 8,06 | 43,83 | 13,98 | 7,55 | <LD |
| 5 | <LD | 42,16 | <LD | <LD | <LD | 2,90 | <LD | 25,24 | <LD | 3,47 | 27,53 | 10,06 | 1,74 | <LD |
| 6 | <LD | 149,34 | <LD | 0,77 | 0,66 | 7,29 | <LD | 134,14 | <LD | 7,23 | 29,87 | 22,94 | 25,15 | <LD |
| 7 | <LD | 7,16 | <LD | <LD | 14,04 | 1,26 | <LD | 18,23 | <LD | <LD | 131,72 | 67,19 | <LD | 4,32 |
| 8 | <LD | 17,38 | <LD | <LD | <LD | 1,67 | <LD | 15,87 | <LD | 1,06 | 21,10 | 17,76 | <LD | <LD |
| 9 | <LD | 6,07 | <LD | <LD | 17,76 | 2,08 | <LD | 3,84 | <LD | 0,46 | 102,68 | 79,32 | 0,75 | 6,84 |
| 10 | <LD | 15,48 | <LD | <LD | 0,94 | 1,11 | <LD | 26,94 | <LD | 0,81 | 49,39 | 28,92 | 0,60 | <LD |
| 11 | <LD | 16,77 | <LD | <LD | 3,95 | 3,09 | <LD | 32,88 | <LD | 1,38 | 43,07 | 45,11 | 0,18 | <LD |
| 12 | <LD | 16,16 | <LD | <LD | 5,68 | 2,98 | <LD | 14,77 | <LD | 0,66 | 60,26 | 42,08 | 0,48 | <LD |
| 13 | <LD | 11,00 | <LD | <LD | 0,93 | 1,38 | <LD | 12,24 | <LD | <LD | 52,49 | 33,34 | <LD | <LD |
| 14 | <LD | 18,51 | <LD | <LD | 0,06 | 3,10 | <LD | 25,27 | <LD | 4,69 | 57,78 | 32,71 | 1,31 | <LD |
| 15 | <LD | 19,43 | <LD | <LD | 1,80 | 3,69 | <LD | 48,22 | <LD | 3,29 | 33,88 | 36,44 | 3,25 | <LD |
| 16 | <LD | 40,41 | 0,19 | 15,41 | 2,07 | 6,78 | <LD | 134,23 | 3,32 | 9,78 | 116,67 | 44,76 | 27,96 | 8,05 |
| 17 | 2,19 | 17,13 | 0,21 | 17,87 | 1,42 | 6,46 | <LD | 55,24 | 3,50 | 5,64 | 96,47 | 37,43 | 25,58 | 7,81 |
| 18 | 1,60 | 14,19 | 0,37 | 23,00 | 1,39 | 5,89 | <LD | 30,34 | 1,32 | 3,04 | 79,05 | 56,51 | 14,25 | 8,94 |
| 19 | <LD | 8,61 | 0,29 | 15,71 | 0,92 | 5,60 | <LD | 25,56 | 0,94 | 1,47 | 81,94 | 37,11 | 12,58 | 6,37 |
| 20 | <LD | 11,66 | 0,28 | 28,15 | 1,52 | 7,77 | <LD | 41,02 | 2,03 | 1,10 | 87,41 | 71,74 | 14,82 | 10,95 |
| 21 | 2,26 | 3,00 | 0,26 | 7,47 | 0,54 | 7,49 | <LD | 22,32 | 1,48 | <LD | 86,56 | 11,99 | 7,06 | 2,24 |
| 22 | 1,44 | 15,40 | 0,25 | 8,21 | 1,19 | 8,07 | <LD | 51,30 | 2,71 | 5,02 | 35,80 | 13,59 | 16,58 | 3,44 |
| 23 | <LD | 17,93 | 0,26 | 7,88 | 0,96 | 7,51 | <LD | 38,27 | 1,53 | 3,99 | 69,25 | 19,27 | 15,07 | 5,19 |
| 24 | 0,31 | 151,71 | 0,03 | 14,54 | 2,82 | 10,96 | <LD | 105,96 | 4,68 | 17,55 | 73,77 | 39,78 | 38,82 | 7,58 |
| 25 | <LD | 22,66 | 0,23 | 8,57 | 1,31 | 6,77 | <LD | 64,10 | 1,67 | 7,56 | 51,42 | 19,22 | 17,96 | 4,65 |
| 26 | <LD | 21,27 | 0,33 | 18,64 | 1,43 | 14,04 | <LD | 54,66 | 3,38 | 4,76 | 40,73 | 44,25 | 20,05 | 5,35 |
| 27 | <LD | 19,70 | 0,18 | 11,64 | 1,12 | 8,65 | <LD | 34,95 | 2,87 | 1,23 | 87,81 | 26,00 | 16,00 | 4,23 |
| 28 | 1,09 | 22,12 | 0,22 | 10,73 | 0,97 | 5,85 | <LD | 37,39 | 1,14 | 4,36 | 42,77 | 23,92 | 18,59 | 4,74 |
| 29 | 0,71 | 25,02 | 0,31 | 11,59 | 1,42 | 6,46 | <LD | 49,14 | 2,60 | 2,92 | 59,22 | 23,52 | 18,63 | 6,06 |
| 30 | <LD | 22,72 | 0,10 | 21,58 | 1,57 | 7,50 | <LD | 40,76 | 2,81 | 4,88 | 52,65 | 56,69 | 18,27 | 8,07 |
| 31 | 1,01 | 7,08 | 0,31 | 19,44 | 1,20 | 5,35 | <LD | 29,57 | 1,69 | 6,19 | 100,12 | 64,97 | 16,98 | 11,76 |
| 32 | 3,17 | 31,34 | 0,24 | 21,24 | 1,68 | 9,04 | <LD | 42,86 | 2,16 | 11,43 | 62,65 | 52,06 | 21,35 | 9,40 |
| 33 | 1,21 | 1,23 | 0,25 | 26,00 | 1,38 | 6,47 | <LD | 33,25 | 1,87 | <LD | 183,08 | 77,12 | 14,57 | 18,04 |
| 34 | <LD | 17,35 | 0,19 | 9,59 | 0,93 | 4,66 | <LD | 23,51 | 1,40 | 1,49 | 60,59 | 28,94 | 13,11 | 4,85 |
| 35 | 0,66 | 25,63 | 0,15 | 21,43 | 1,45 | 6,55 | <LD | 34,37 | 2,36 | 3,73 | 67,31 | 45,52 | 16,89 | 7,46 |
| 36 | 0,29 | 18,14 | 0,27 | 8,25 | 0,89 | 4,64 | <LD | 27,91 | 1,20 | <LD | 51,30 | 24,73 | 11,97 | 4,46 |
| 37 | 1,93 | 10,18 | 0,22 | 6,44 | 0,62 | 4,03 | <LD | 25,43 | 0,95 | <LD | 78,76 | 14,60 | 8,86 | 3,40 |

Continua...

Tabela - Continuação...

| Amostras | As | Ba | Cd | Co | Cr | Cu | Hg | Mn | Ni | Pb | Ti | V | Zn | Zr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | mg kg$^{-1}$ | | | | | | | |
| | | | | | | | GLEISSOLOS | | | | | | | |
| 38 | <LD | 35,20 | <LD | <LD | <LD | 1,81 | <LD | 6,12 | <LD | 1,39 | 6,95 | 47,28 | <LD | <LD |
| 39 | 0,45 | 105,28 | 0,36 | 12,58 | 8,33 | 12,86 | <LD | 306,76 | 11,20 | 6,75 | 35,51 | 23,79 | 51,53 | 5,71 |
| 40 | 0,58 | 12,84 | 0,24 | 7,69 | 0,39 | 4,58 | <LD | 11,36 | 1,13 | 2,08 | 33,62 | 5,64 | 11,52 | 2,36 |
| 41 | 1,11 | 100,19 | 0,24 | 15,09 | 9,77 | 14,59 | <LD | 280,29 | 11,91 | 7,54 | 43,52 | 27,10 | 58,27 | 6,65 |
| 42 | 0,66 | 56,67 | 0,34 | 11,99 | 6,51 | 12,16 | <LD | 208,76 | 9,84 | 4,13 | 60,93 | 20,48 | 42,35 | 5,44 |
| 43 | 2,29 | 12,60 | 0,16 | 38,82 | 1,27 | 5,66 | 0,22 | 23,91 | 6,55 | 3,68 | 178,88 | 66,42 | 15,64 | 20,43 |
| | | | | | | | LUVISSOLOS | | | | | | | |
| 44 | <LD | 426,56 | <LD | 9,80 | 0,26 | 10,22 | <LD | 1242,06 | <LD | 11,17 | 1,35 | 21,87 | 51,67 | <LD |
| 45 | 2,22 | 196,23 | <LD | 11,48 | 5,38 | 17,69 | <LD | 982,20 | 7,73 | 14,12 | 20,83 | 29,55 | 63,81 | <LD |
| 46 | <LD | 530,70 | <LD | 9,94 | <LD | 9,92 | <LD | 477,85 | <LD | 4,61 | 5,79 | 12,86 | 31,99 | <LD |
| 47 | <LD | 16,81 | <LD | <LD | <LD | 1,77 | <LD | 17,73 | <LD | 1,67 | 27,29 | 13,77 | 0,91 | <LD |
| 48 | 3,09 | 52,69 | 0,37 | 12,91 | 8,73 | 7,85 | <LD | 466,86 | 4,33 | 13,16 | 56,06 | 23,80 | 29,73 | 5,21 |
| 49 | <LD | 15,78 | 0,29 | 11,62 | 1,99 | 7,74 | <LD | 73,51 | 2,86 | 5,62 | 138,33 | 25,88 | 22,46 | 5,66 |
| 50 | 0,47 | 19,25 | 0,32 | 10,05 | 2,48 | 7,29 | <LD | 149,99 | 2,24 | 5,77 | 76,19 | 19,05 | 18,56 | 4,08 |
| 51 | <LD | 65,77 | 0,26 | 14,02 | 4,71 | 9,82 | <LD | 167,97 | 4,65 | 8,10 | 31,13 | 33,20 | 34,26 | 5,46 |
| | | | | | | | NEOSSOLOS | | | | | | | |
| 52 | <LD | 49,28 | <LD | 0,72 | <LD | 2,42 | <LD | 74,39 | <LD | 5,10 | 42,38 | 19,60 | 14,91 | <LD |
| 53 | 2,12 | 68,88 | 0,36 | 10,67 | 8,57 | 15,14 | <LD | 369,60 | 8,90 | 4,97 | 41,97 | 19,43 | 42,96 | 5,24 |
| 54 | 1,28 | 60,15 | 0,18 | 3,98 | 0,59 | 5,31 | <LD | 25,20 | 0,80 | 5,38 | 58,89 | 4,62 | 12,81 | 2,39 |
| 55 | <LD | 32,04 | 0,26 | 6,66 | 1,67 | 6,62 | <LD | 39,85 | 1,62 | 5,06 | 54,14 | 9,40 | 18,33 | 3,42 |
| 56 | 1,00 | 38,99 | 0,32 | 7,06 | 4,69 | 8,38 | <LD | 138,97 | 5,27 | 1,67 | 41,88 | 11,65 | 29,93 | 3,71 |
| | | | | | | | ESPODOSSOLOS | | | | | | | |
| 57 | <LD | 13,99 | <LD | <LD | <LD | 2,98 | <LD | 18,27 | <LD | <LD | 48,80 | <LD | <LD | <LD |
| 58 | <LD | 1,77 | <LD | <LD | <LD | 1,86 | <LD | <LD | <LD | <LD | 63,78 | <LD | <LD | <LD |
| 59 | 1,68 | 5,18 | 0,23 | 4,70 | 0,40 | 3,90 | <LD | 7,87 | 1,22 | <LD | 77,75 | 3,79 | 6,39 | 2,55 |
| 60 | 1,04 | <LD | 0,14 | 5,91 | 0,25 | 4,43 | <LD | 9,62 | 2,15 | <LD | 91,99 | <LD | 6,82 | 2,63 |
| 61 | 1,88 | <LD | 0,17 | 2,37 | 0,30 | 3,05 | 0,30 | 2,03 | 0,36 | <LD | 34,89 | <LD | 11,51 | 1,60 |
| | | | | | | | CAMBISSOLOS | | | | | | | |
| 62 | <LD | 72,82 | <LD | <LD | <LD | 4,04 | <LD | 90,80 | <LD | 5,80 | 28,94 | 13,76 | 5,98 | <LD |
| 63 | <LD | 18,62 | 0,25 | 4,93 | 0,61 | 5,78 | <LD | 27,99 | 0,60 | <LD | 95,91 | 10,69 | 7,75 | 3,26 |
| 64 | <LD | 26,39 | 0,28 | 9,31 | 1,39 | 6,77 | <LD | 31,14 | 2,49 | 3,09 | 36,52 | 21,48 | 20,36 | 4,35 |

Continua...

Tabela - Continuação...

| Amostras | As | Ba | Cd | Co | Cr | Cu | Hg | Mn | Ni | Pb | Ti | V | Zn | Zr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | mg kg$^{-1}$ | | | | | | | |
| | | | | | | | PLINTOSSOLOS | | | | | | | |
| 65 | <LD | 65,63 | <LD | <LD | 10,84 | 6,78 | <LD | 13,02 | <LD | 14,18 | 8,88 | 50,37 | 9,25 | <LD |
| 66 | <LD | 61,20 | <LD | <LD | 0,00 | 10,35 | <LD | 26,27 | <LD | 60,22 | 3,57 | 20,76 | 19,22 | <LD |
| 67 | 1,72 | 10,82 | 0,27 | 7,90 | 0,64 | 5,06 | <LD | 17,84 | 1,21 | 2,97 | 36,02 | 17,21 | 10,23 | 2,65 |
| 68 | 3,85 | 28,70 | 0,28 | 18,02 | 2,06 | 8,29 | <LD | 35,66 | 3,68 | 6,19 | 66,48 | 46,87 | 19,91 | 7,46 |
| | | | | | | | LATOSSOLOS | | | | | | | |
| 69 | <LD | 16,42 | <LD | <LD | <LD | 2,69 | <LD | 12,96 | <LD | 5,07 | 13,82 | 24,39 | 1,26 | <LD |
| 70 | <LD | 7,32 | <LD | <LD | 18,34 | 2,73 | <LD | 14,82 | <LD | 1,54 | 107,06 | 85,35 | 2,82 | 6,03 |
| 71 | <LD | 12,92 | <LD | <LD | 1,82 | 0,32 | <LD | 12,10 | <LD | 0,26 | 15,95 | 31,95 | 0,50 | <LD |
| | | | | | | | VERTISSOLOS | | | | | | | |
| 72 | <LD | 119,75 | <LD | 7,12 | 23,82 | 8,18 | <LD | 870,83 | <LD | 8,05 | 10,52 | 18,23 | 30,00 | <LD |
| 73 | <LD | 98,95 | <LD | 9,31 | 21,39 | 6,77 | <LD | 831,14 | <LD | 7,09 | 16,52 | 11,48 | 30,36 | <LD |
| Média | 0,59 | 49,72 | 0,14 | 8,55 | 3,12 | 6,18 | 0,01 | 136,80 | 1,90 | 5,24 | 57,28 | 29,19 | 16,70 | 3,71 |
| Máximo | 3,85 | 530,70 | 0,37 | 38,82 | 23,82 | 17,69 | 0,30 | 1242,06 | 11,91 | 60,22 | 183,08 | 85,35 | 63,81 | 20,43 |
| Mínimo | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,32 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| DP | 0,93 | 82,20 | 0,14 | 8,21 | 5,07 | 3,56 | 0,04 | 245,95 | 2,69 | 7,68 | 36,58 | 19,97 | 14,54 | 4,12 |
| CV | 156% | 167% | 95% | 96% | 163% | 58% | 607% | 180% | 142% | 146% | 64% | 68% | 87% | 111% |

< LD - Menor que o limite de detecção do método.