

BRUNO TORIBIO DE LIMA XAVIER

**MINERALOGIA E TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS
EM SOLOS DA BACIA SEDIMENTAR AMAZÔNICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

X3m
2013

Xavier, Bruno Toribio de Lima, 1983-
Mineralogia e teores de metais pesados em solos da bacia
sedimentar amazônica / Bruno Toribio de Lima Xavier.
– Viçosa, MG, 2013.
vii, 110 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Maurício Paulo Ferreira Fontes.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 103-110.

1. Solos - Poluição. 2. Física do solo. 3. Química do solo.
4. Geoquímica ambiental. 5. Solos florestais. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

BRUNO TORIBIO DE LIMA XAVIER

**MINERALOGIA E TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS
EM SOLOS DA BACIA SEDIMENTAR AMAZÔNICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 29 de abril de 2013.

Prof. Igor Rodrigues Assis

Prof. João Carlos Ker
(Coorientador)

Prof. Carlos Roberto Bellato

Prof. Hedinaldo Narciso Lima

Prof. Maurício Paulo Ferreira Fontes
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo amor e misericórdia incondicionais.

Aos meus pais José Carlos Duarte Xavier e Helena de Lima Xavier pelo exemplo, caráter, confiança e suporte de sempre.

Aos meus avós Neuta e Osvaldo (*in memoriam*) e Maria e Manoel pelo incentivo, gestos, exemplos e palavras de apoio nos momentos mais difíceis.

Ao meu filho Lucas Toríbio, razão da minha vida. Tudo isso foi por você.

Às minhas irmãs Luciana e Ana Terra.

À Michelle Milanez França pelo força e apoio durante a caminhada acadêmica.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Solos e à CAPES e ao CNPq pela bolsa concedida.

Aos professores Maurício Paulo Ferreira Fontes, Raphael Bragança Alves Fernandes, João Carlos Ker, Maria de Fatima Cavalcanti Barros pela orientação e amizade.

Aos Professores e Professoras que com muita paciência conseguiram me inquietar intelectualmente, Joaquim Manzi, Inaly Sião, Maria José Belfort, Katia Marcelina e tantos outros e outras.

Aos meus amigos e amigas, os quais não citarei nomes, mas que com certeza sabem que há um espaço nessa conquista para vocês.

BIOGRAFIA

Bruno Toribio de Lima Xavier, filho de José Carlos Duarte Xavier e Helena de Lima Xavier, nasceu em Recife em 01 de novembro de 1983. Coursou Engenharia Agrônômica e Licenciatura em Ciências Agrícolas na Universidade Federal Rural de Pernambuco, tendo concluído estes cursos em julho de 2007.

Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa em agosto de 2007, onde cursou o mestrado e o doutorado, tendo defendido sua tese no dia 29 de abril de 2013.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Coleta das amostras dos solos estudados.....	13
3.2. Caracterização química e física das amostras de solos.....	13
3.3. Análises mineralógicas.....	13
3.3.1. Preparação das amostras.....	13
3.4. Ferro e alumínio extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato e oxalato de amônio.....	14
3.5. Difractometria de raios X.....	14
3.6. Determinação dos metais pesados.....	14
3.7. Determinação dos nutrientes da serapilheira de alguns solos estudados.....	15
3.8. Análises estatísticas	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4.1. Análise física dos solos estudados.....	16
4.1.1. Análise textural.....	16
4.1.2. Argila dispersa em água (ADA).....	16
4.2. Análise química dos solos estudados.....	20
4.2.1. pH em H ₂ O e em KCl.....	20
4.2.2. Bases trocáveis e Alumínio trocável.....	20
4.2.3. Matéria orgânica (MO).....	21
4.2.4. Fósforo disponível.....	22
4.3. Determinação dos nutrientes da serapilheira de alguns solos estudados.....	25
5. Composição mineralógica dos solos.....	27
5.1. Latossolo Amarelo.....	28
5.2. Argissolo Amarelo.....	33
5.3. Neossolo Quartzarênico Hidromórfico.....	38
5.4. Gleissolo Háptico.....	42
5.5. Neossolo Flúvico.....	52

5.6. Terra Preta de Índio.....	62
5.7. Plintossolo.....	67
5.8. Neossolo Quartzarênico Órtico.....	72
5.9. Espodossolo.....	74
6. Alumínio e ferro extraídos por ditionito-citrato de sódio (Ald e Fed) e oxalato de amônio (Alo e Feo) na fração argila dos solos.....	79
7. Teores naturais de metais pesados dos solos.....	82
8. Valores orientadores versus teores naturais de metais pesados nos solos estudados.....	87
9. Variabilidade dos teores naturais de metais pesados nos solos estudados.....	88
9.1. Cobre (Cu).....	88
9.2. Níquel (Ni).....	89
9.3. Chumbo (Pb).....	90
9.4. Zinco (Zn).....	91
9.5. Cromo (Cr).....	92
9.6. Cobalto (Co).....	93
9.7. Cádmio (Cd).....	94
9.8. Bário (Ba).....	95
9.9. Arsênio (As).....	96
10. Correlação de teores de metais pesados e atributos físicos e químicos dos solos.....	97
10.1. Latossolo Amarelo.....	97
10.2. Neossolo Flúvico.....	98
10.3. Argissolo Amarelo.....	98
10.4. Plintossolo.....	98
10.5. Neossolo Quartzarênico Hidromórfico.....	99
10.6. Neossolo Quartzarênico Órtico.....	100
10.7. Gleissolo Háptico.....	100
10.8. Terra Preta de Índio.....	101
10.9. Espodossolo.....	101
11. CONCLUSÕES.....	102
12. BIBLIOGRAFIA.....	103

RESUMO

XAVIER, Bruno Toribio de Lima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2013. **Mineralogia e teores naturais de metais pesados em solos da bacia sedimentar amazônica.** Orientador: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Coorientadores: Raphael Bragança Alves Fernandes, João Carlos Ker e Maria de Fatima Cavalcanti Barros.

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, teores naturais de metais pesados e possíveis modificações ocorridas nos solos. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo a obtenção dos teores naturais de metais pesados em alguns solos da Amazônia, bem como avaliar a relação de atributos destes solos com os teores totais de alguns metais pesados. Para isto, este trabalho determinou o teor natural de As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, e Zn de acordo com metodologia preconizada pela Resolução CONAMA 420/2009 (EPA 3052). Também faz parte deste estudo a caracterização química, física e mineralógica destes solos, com a finalidade de avaliar o comportamento destes solos frente a possível poluição por metais pesados e o estabelecimento de relações entre os teores naturais com os atributos dos solos. Os solos estudados apresentam composições mineralógicas distintas de acordo com a sua posição na paisagem. Solos de várzea apresentaram minerais do tipo 2:1 em maior quantidade do que aqueles localizados na terra firme. Este comportamento parece ter influenciado nos teores naturais de metais pesados, uma vez que, de forma geral, os solos com maior presença de minerais do tipo 2:1 também apresentaram teores elevados de metais pesados. Atributos como pH, teores de matéria orgânica (MO), teores de óxidos de ferro e alumínio, proporções de argila e silte, podem ser as principais características dos solos responsáveis pela maior associação dos metais pesados estudados com os solos, além do material de origem.

ABSTRACT

XAVIER, Bruno Toribio de Lima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April of 2013. **Mineralogy and natural levels of heavy metals in soils of the Amazon sedimentary basin.** Adviser: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Co-advisers: Raphael Bragança Alves Fernandes, João Carlos Ker and Maria de Fatima Cavalcanti Barros.

Studies having as object the soils of the Amazon region have put always of great importance, whether the magnitude of the coverage area or the support they give to this vital biodiversity biome. Deeper knowledge of Amazonian soils through studies of their mineralogical, physical and chemical, as well as the various phenomena that occur in these soils is a mandatory requirement so that we can infer, by means of this kind of research, on the various aspects of the origin, formation, mineral composition, natural levels of heavy metals and possible changes occurring in soils. In this context, the present study aimed to obtain the natural levels of heavy metals in some soils of the Amazon, as well as evaluating the relation of attributes of these soils with the total concentration of some heavy metals. Therefore, this study determined the natural content of As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn according to methodology recommended by CONAMA Resolution 420/2009 (EPA 3052). Also part of this study the chemical, physical and mineralogical these soils, in order to evaluate the behavior of these soils against possible pollution by heavy metals and the establishment of relationships between soil with natural soil attributes. The soils have different mineralogical compositions according to their position in the landscape. Lowland soils showed the 2:1 minerals in larger amounts than those found on land. This behavior seems to have affected the natural contents of heavy metals, since, generally, the greater presence of soils with the 2:1 minerals also showed high levels of heavy metals. Attributes such as pH, organic matter content (OM), levels of oxides of iron and aluminum, proportions of clay and silt, can be the main characteristics of the soil responsible for the largest association of heavy metals in the soils studied, besides the source material.

1. INTRODUÇÃO

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, teores naturais de metais pesados e possíveis modificações ocorridas nos solos.

Neste sentido, a realização das análises e posterior obtenção dos resultados permitem ao pesquisador conhecer as características anteriormente citadas e de posse destes valores caracterizar os solos visando detectar possíveis problemas ambientais e conseqüentes ameaças à saúde humana.

Estas análises podem contribuir para a identificação do acúmulo de elementos pesados nos solos e auxiliar, por exemplo, no processo de tomada de decisão referente ao melhor uso do solo. Vale ressaltar que o melhor entendimento do solo neste contexto se dará em função de inferências e cruzamentos de dados sobre os diversos fenômenos relacionados à eles e suas implicações em suas composições mineralógica, física e química.

A realização de estudos acerca dos solos da região amazônica tem possibilitado a comparação de dados morfológicos, mineralógicos e químicos entre diferentes solos com o objetivo de identificar os principais processos responsáveis pela formação destes solos, bem como de possíveis alterações de suas propriedades decorrentes de processos naturais ou antrópicos (Dematte et al., 1994; Lima, 2001; Lima et al., 2006; Lopes et al., 2006; Trindade et al., 2009; Lima et al.; Orrutea et al., 2012). Alguns destes chegam a sugerir o acréscimo de alguns atributos diagnósticos para os atuais sistemas de classificação dos solos (Lima et al., 2012).

Dentro da perspectiva do avanço no conhecimento destes e de outros solos, o Conselho Nacional de Meio Ambiente publicou a Resolução 420 de 28 de Dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Nesta resolução, o CONAMA estabelece que, dentre os Valores Orientadores de Qualidade do Solo, os Valores

de Referência de Qualidade (VRQs) para substâncias químicas naturalmente presentes deverão ser estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal, em até 4 anos de sua publicação. Até o momento não se tem conhecimento de qualquer iniciativa neste sentido na região amazônica, o que justifica estudos que busquem subsidiar os órgãos estaduais ambientais para a normatização de seus VRQs.

Dentre as substâncias químicas que normalmente aparecem nos solos e que são constantes da lista da Resolução CONAMA 420/2009, estão diversos elementos químicos inorgânicos denominados genericamente de metais pesados. Metais pesados é uma expressão largamente utilizada para classificar elementos químicos metálicos com densidade superior a 6 kg dm^{-3} (Alloway, 1995). Algumas vezes, mesmo elementos não metálicos como As e Se são considerados como metais pesados. Apesar de muitos deles serem essenciais (Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn), alguns benéficos (Co, CrIII e V) e outros prejudiciais (Cd, Hg e Pb) para o desenvolvimento de plantas e, ou animais (Malavolta, 1994), o termo metal pesado, nesta tese, se refere a todos estes elementos quando em sua atuação como contaminantes e poluentes de solos, águas, ar, plantas e alimentos. Nesta definição, os metais pesados têm como característica comum o fato de serem tóxicos aos organismos vivos e, conseqüentemente, deletérios ao meio ambiente.

Diante do exposto, entende-se que a necessidade de estudar os metais pesados em solos da Amazônia passa pela determinação de seus teores naturais diferenciando-os de adições provenientes de atividades antrópicas como, por exemplo, a mineração. Para isto é necessária a caracterização destes solos e de seus atributos, determinando o comportamento dos metais pesados e de sua possível mobilidade no ambiente frente às características inerentes destes corpos naturais.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo a obtenção dos teores naturais de metais pesados em alguns solos da Amazônia, bem como avaliar a relação de atributos destes solos com os teores totais de alguns metais pesados. Para isto, este trabalho determinou o teor natural de As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, e Zn de acordo com metodologia preconizada pela Resolução CONAMA 420/2009 (EPA 3052). Também faz parte deste estudo a caracterização química, física e mineralógica destes solos, com a finalidade de avaliar o comportamento destes solos frente a possível poluição por metais pesados e o estabelecimento de relações entre os teores naturais com os atributos dos solos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Amazônia

A Amazônia, localizada no norte da América do Sul, ocupa uma área que representa cerca de 59 % do território brasileiro ou quase 6 milhões de Km². Nesta extensa área vivem em torno de 24 milhões de pessoas, segundo o Censo 2010, distribuídas em 775 municípios, nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, Maranhão e Goiás. Em relação a biodiversidade, a Amazônia abriga dois importantes biomas brasileiros como, por exemplo, 20 % do bioma cerrado e todo o bioma Amazônia, o qual se configura como o mais extenso dos biomas brasileiros. Este bioma equivale a 1/3 das florestas tropicais úmidas do planeta, concentrando a mais elevada biodiversidade, banco genético e 1/5 da disponibilidade mundial de água potável (IBGE, 2011).

A região Amazônica possui características climáticas próprias predominantes na maior parte de seu território, onde dois fatos são especialmente destacados, uma vez que definem as características de regime estacional reinantes na região, que são: precipitação total anual de chuvas variando de 1.000 a 3.600 mm, apresentando duas épocas bastante definidas, a mais chuvosa com duração de 5 a 6 meses e a menos chuvosa que abrangem os demais seis meses do ano, notando-se maior diferenciação, com relação ao período de estiagem, sendo este mais acentuado nas regiões altas e litorâneas (Bastos, 1972; Rodrigues, 1996). É neste cenário que a necessidade de expansão de áreas para aumentar a produção encontra-se em conflito direto com a necessidade de preservar o ecossistema (Rodrigues, 1996). Para além da preservação, principalmente no que diz respeito a manutenção das áreas de preservação permanente discutidas no bojo do novo Código Florestal, faz-se urgente a adoção de novas práticas de produção de alimentos e produtos florestais que garantam a conservação desse bioma.

2.2. Solos da Amazônia

A partir dos anos 70, uma série de levantamentos e estudos de solos foram conduzidos pelo Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte (IPEAN), precursor da EMBRAPA-SNLCS, aumentando o conjunto de dados básicos sobre os solos desta região. Rodrigues (1996) ressalta a importância do PROJETO RADAM como ferramenta que possibilitou em

apenas 10 anos a obtenção de informações em nível exploratório de solos, publicados em mapas na escala de 1:1.000.000. Através deste trabalho e ainda do Mapa de Solos do Brasil pela EMBRAPA-SNLCS (EMBRAPA, 1981) e do mapa de solo da Amazônia Legal pelo IBGE-SUDAM (1990), pode-se ter uma distribuição aproximada das principais classes de solos encontrados na Amazônia Legal em termos da superfície ocupada por cada um deles na Amazônia, da seguinte forma: Latossolos (40,99 %), Argissolos (33,35 %), Plintossolos (7,34 %), Gleissolos (6,13 %), Neossolos (4,8 %) e outros (7,39 %). Desta forma, observa-se predominância de classes de solos de baixa fertilidade natural, com predominância dos Latossolos e Argissolos e de outras cujas características indicam certa fragilidade a exemplo, dos Espodossolos, por isto, faz-se necessário uma abordagem mais cuidadosa quando da utilização deste recurso natural.

Os solos da área estudada, de acordo com RADAMBRASIL (1978), apresentam uniformidade quanto a geologia, relevo, clima e vegetação, condição que contribui significativamente para a pouca variação das classe de solos ocorrentes na área. Com relação ao material de origem, os sedimentos mais recentes são os responsáveis pela formação da maior parte dos solos existentes. Nas áreas sem restrição de drenagem predominam os Latossolos e Argissolos, já os Plintossolos ocorrem em áreas com deficiência de drenagem, por exemplo.

A formação dos solos da Amazônia, de forma geral, é reflexo dos fatores de formação, tais como relevo, material de origem, clima e organismos, sendo a porção mais central, objeto deste estudo, caracterizada por uma região sedimentar (Vale Jr. et al, 2011).

O planalto da bacia sedimentar do Amazonas apresentado na Figura 1 ocupa a parte norte da folha SA.20 (Folha Manaus) dispondo-se numa estreita faixa na direção leste-oeste. Esta área caracteriza-se pela por um conjunto de relevos tabulares com interflúvios amplos e vales alagados, sendo sua altitude média em torno de 250 m (RADAMBRASIL, 1978). Os sedimentos que deram origem a este conjunto atual de solos, sedimentos terciários a holocênicos, estão fortemente associados aos LATOSSOLO AMARELO Distrófico e Distrocoeso, ARGISSOLO AMARELO Distrófico e PLINTOSSOLOS (Vale Jr. et al, 2011).

2.3. Mineralogia de solos da Amazônia

A mineralogia dos solos da Amazônia tem sido objeto de estudo de diversos grupos de pesquisa. A maioria dos estudos se preocupa com a determinação das espécies minerais existentes nesses solos bem como, procuram indicar quais destes minerais estão predominando em cada um dos solos e até mesmos nas frações estudadas (Lima, 2001; Lima et al., 2006; Orrutea et al. (2012); Silva et al., 2012). Lima (2001) identificou diferenças na composição mineralógica dos solos estudados, encontrando maior diversidade de minerais nos solos submetidos a inundação e/ou deficiência natural de drenagem. Este mesmo autor observou uma menor diversidade ao passo que as determinações foram efetuadas em materiais mais bem drenados e, por conseguinte mais intemperizados, como é o caso dos solos localizados nas porções mais elevadas da Amazônia, a chamada terra firme. Fajardo et al. (2009) chamam a atenção para o fato de que na Amazônia, a maior parte dos estudos sobre caracterização química do solo tem sido realizada para as áreas de terra firme. Este fato relatado por estes pesquisadores realça a necessidade de estudos tanto para estas áreas como para as áreas de várzea, fazendo com que dados sejam gerados, contribuindo dessa forma para ao acúmulo de informações que certamente contribuirão para o entendimento e posterior uso, manejo e conservação desses solos. Para Lima et al., (2006) o avançado grau de desenvolvimento de alguns solos da região amazônica está fortemente relacionado com o material de origem, condições de clima, vegetação e relevo. Estes mesmos fatores condicionam estes solos a uma baixa reserva mineral, alta ciclagem de nutrientes e profundidades elevadas em comparação a solos de outras regiões.

Orrutea et al. (2012), estudando Cambissolos da região amazônica, verificaram o predomínio da caulinita na fração argila e alta reserva mineral de K associada à ocorrência de mica nas frações argila, silte e areia. Estes autores oferecem contribuição para o entendimento dos processos de transformação relacionados a mineralogia dos solos estudados frente a manejos diferenciados do solo, tendo constatado que estes não afetaram os teores de Fe associados a minerais da fração argila. Já Silva et al. (2012) estudaram a mineralogia de Terra Preta Arqueológica (TPA) entre outros aspectos. Estes autores identificaram os minerais quartzo, caulinita, goethita, hematita, anatásio e illita. A TPA também pode ser denominada Terra Preta de Índio (TPI), como definido por Kern e Kämpf (2005). TPI foi a nomenclatura adotada no presente estudo. Pessoa Junior et al. (2012) definem a TPI como manchas de solo, ricos em nutrientes, distribuídas na bacia Amazônica, sendo a origem deste solo fortemente

relacionada à deposição de restos de materiais de populações pré-colombianas. O estudo destes solos, além da importância agrícola, pode elucidar processos de formação de minerais como, por exemplo, a formação da maghemita. Nestes solos este mineral é formado através da transformação de óxidos de Fe pedogenéticos (goethita, lepidocrocita e ferridrita) por aquecimento, via queimadas praticadas por estas mesmas populações pré-colombianas (Pessoa Junior et al., 2012).

2.4. Teores de metais pesados em solos da Amazônia

De forma completamente natural, os metais pesados químicos ocorrem na constituição de algumas rochas e, por consequência, eles aparecem na constituição dos solos, sedimentos e cursos d'água. Nesse sentido, a ocorrência de metais pesados nestes compartimentos é função do material de origem e sofre influência marcante dos processos pedogenéticos. Solos e sedimentos derivados de rochas máficas, que são mais ricas em minerais escuros, apresentam, em geral, maiores teores de metais pesados comparado com rochas mais claras e, principalmente, com rochas sedimentares como argilitos, siltitos e arenitos (Oliveira, 1996; Oliveira et al., 2000). Solos e sedimentos mais jovens e formados *in situ* são, possivelmente, mais propensos a apresentarem naturalmente teores maiores de metais pesados, ao passo que, solos e sedimentos altamente intemperizados e, ou formados de material de origem que passou por vários ciclos pedogenéticos poderão apresentar, em geral, menores teores desses elementos.

A ocorrência de metais pesados é determinada principalmente pelo material originário dos solos e também pela intensidade de intemperismo por eles sofridos. Via de regra, solos derivados de rochas máficas, básicas e ultrabásicas apresentam maiores teores naturais, enquanto aqueles derivados de rochas ácidas cristalinas, sedimentares e de sedimentos apresentam menores níveis. Os níveis de metais pesados também são mais elevados quando os solos são formados *in situ*, sobre as rochas. Quanto ao intemperismo, aqueles menos intemperizados tendem a guardar maiores relações com o material que os originou e, portanto, a depender do material de origem, apresentam maiores valores naturais desses elementos. Quanto mais intemperizado o solo, menor deve ser essa relação com o material originário e, portanto, ele deve apresentar menores níveis de background (Stevenson & Cole, 1999; Tiller, 1989).

Com relação ao grau de intemperização dos solos e sua composição em termos de metais pesados, Stevenson & Cole (1999) citam que o ferro é o principal metal pesado associado às rochas ígneas, sendo encontrado principalmente nos minerais ferromagnesianos. Esses minerais também são importantes fontes de zinco, manganês e cobre, frequentemente encontrados em substituição ao ferro e magnésio na estrutura do mineral. Além disso, esses elementos também podem substituir isomorficamente o silício, alumínio, cálcio, sódio, potássio, titânio e fósforo. Já os sulfetos são fontes importantes de zinco, cobre e molibidênio. O boro, por sua vez, é largamente encontrado na turmalina. Já os níveis de metais pesados em rochas sedimentares e em sedimentos inconsolidados é fortemente dependente da origem de seu material componente. De modo geral, rochas originárias de sedimentos finos apresentam-se enriquecidas com zinco, cobre, cobalto, boro e molibidênio, enquanto que aquelas cujos teores de matéria orgânica são elevados apresentam-se enriquecidas em cobre e molibidênio, principalmente.

Alguns metais pesados podem ser considerados essenciais à vida, especialmente como micronutrientes. Esse é o caso do Fe, Cu, Zn, Mn, Co, Mo, Se, B, Cr, Se, Sn e Ni. Desses, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo e Ni são requeridos por plantas, enquanto que Co, Cr, Se e Sn apesar de não essenciais para elas, o são para os animais. Outros elementos como Pb, Cd, Hg, As, Ti e U não são requeridos por plantas e animais e têm seu estudo voltado principalmente pela sua grande toxicidade aos seres vivos. Alguns elementos essenciais aos seres vivos os são em baixos teores e quando presentes em elevados níveis podem se tornar tóxicos (Alloway, 1990; Stevenson & Cole, 1999). No caso de As, Cd, Pb, Hg, Co, Cu, Cr, Ni, Se e Zn, Soares (2004) destaca-os como os mais potencialmente tóxicos para plantas e animais superiores.

As características químicas e mineralógicas de solos da região amazônica tem sido objeto de estudo de um pequeno número de pesquisadores. Entre estes, se destacam estudos de comparação de dados morfológicos, mineralógicos e químicos das mais diversas classes dominantes na região supracitada, como por exemplo, o desenvolvido por Silva et al. (2012), onde solo com horizontes antrópicos - Terra Preta Arqueológica (TPA) tiveram os principais processos responsáveis por sua formação identificados. Neste caso, a similaridade entre os dados dos horizontes subsuperficiais do solo com TPA e solos adjacentes (Argissolos) indicou, na opinião destes pesquisadores que o horizonte antrópico do solo TPA foi provavelmente desenvolvido a partir de um horizonte similar aos Argissolos adjacentes com posterior transformação pedogenética através da introdução de materiais orgânicos e inorgânicos por antigas colonizações humanas.

Adicionalmente a investigação de processos naturais, com relação a mineralogia dos solos da Amazônia, também tem se pesquisado acerca de processos causados por outros agentes, pois as características mineralógicas podem sofrer alteração quando da ocorrência de queimadas, naturais ou promovidas pelo homem induzindo a alterações qualitativas e quantitativas dos minerais, principalmente da fração argila (Orrutéa et al., 2012). Estes autores avaliaram as possíveis alterações mineralógicas causadas nas frações areia, silte e argila e na reserva mineral de solos submetidos a diferentes manejos após a derrubada e queima de floresta. Os resultados apontaram o predomínio da caulinita na fração argila do solo. De acordo com os autores, os manejos empregados nas áreas estudadas não afetaram os teores de ferro extraído por oxalato nem aqueles extraídos por ditionito. Entretanto alterações relação entre os teores de goethita e hematita na fração argila no horizonte A da floresta indica uma possível transformação parcial de goethita em hematita durante a queima intencional da vegetação. Demattê et al. (1994), trabalhando com Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo e Neossolo Quartzarênico classificaram a mineralogia destes solos como caulinitica. Foi observado que na fração silte houve a dominância de quartzo, com Ki na faixa de 2,0 a 2,2 para o Latossolos Amarelo e Argissolo Amarelo estudados. Para estes autores a ocorrência de valores de Ki superiores a 2,0 é devido à minerais do tipo 2:1 entre eles a vermiculita cloritizada. Comparações realizadas entre solos da região amazônica e do cerrado brasileiro por Demattê & Demattê (1993) revelaram que o Ki dos solos argilosos da região amazônica (2,5) são mais elevados do que da região de cerrado (1,5). Para os autores, os maiores valores de Ki obtidos para os solos da Amazônia indicam um menor grau de desenvolvimento dos solos desta região em comparação ao solos do cerrado.

Em relação ao comportamento dos óxidos de ferro, Demattê et al., (1993) verificaram que o grau de cristalinidade decresceu à medida que o hidromorfismo se intensificou, podendo esse comportamento observado interferir na correta identificação desses minerais. Campos et al., (2011) caracterizaram mineralogicamente Latossolos e Argissolos da região amazônica e detectaram para todos os perfis estudados semelhança na composição mineralógica entre as frações areia, silte e argila, registrando a presença dos seguintes minerais: caulinita, gibssita, quartzo e traços de mica. Os autores destacam que a fração argila apresentou picos mais expressivos dos minerais caulinita e gibssita, expressando dessa forma seu alto grau de desenvolvimento. Marques et al. (2010) determinaram a composição mineralógica de seis Latossolos da região amazônica, em diferentes porções da paisagem e verificaram que não houve variações em relação a composição levando-se em consideração a localização dos perfis na paisagem. A análise mineralógica da fração argila realizada indicou

predominância da caulinita e presença de gibbsita, goethita, quartzo e anatásio. Braz (2011) também não observou grandes variações, entre os solos estudados da região amazônica, no que se refere a composição mineralógica. Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Amarelo, Nitossolo Vermelho, Neossolo Quartzarênico, Plintossolo Háptico e Gleissolo Háptico apresentaram composição mineralógica da fração argila predominantemente caulínica. O autor relata que aqueles solos que sofrem influência do lençol freático apresentaram picos de clorita.

Além das características herdadas através dos processos pedogenéticos, também a ação antrópica pode ser considerada positiva e de impacto para a questão dos metais pesados, com exemplifica o estudo desenvolvido por Kern & Kampf (2005). Neste caso estudaram a adição de resíduos ao solo pelo homem o que resultou na distribuição vertical dos componentes analisados (carbono orgânico, Ca, Mg, Na, K, Mn, Zn e P), levando a evolução pedogênica subsequente a ação antrópica da TPI. Este processo consistiu na transferência dos produtos da ação antrópica em profundidade dentro do perfil de solo através de processos diversos como, por exemplo a bioturbação. Com relação aos metais pesados, estima-se que maiores teores de carbono orgânico no solo sirvam para complexar estes elementos, deixando-os indisponíveis na solução do solo e, por conseguinte as plantas. Dessa forma, solos com elevados teores naturais de metais pesados e que sofreram adição de resíduos orgânicos de forma natural ou antrópica podem estabelecer novas relações com estes elementos diminuindo sua biodisponibilidade em caso de intemperismo e liberação destes durante os processos pedogenéticos que levam ao desenvolvimento dos solos.

Levando-se em consideração que a composição mineralógica dos solos deste estudo, provenientes da Amazônia é relativamente bem conhecida e que a dinâmica dos metais aniônicos e catiônicos a serem determinados pode estar relacionada aos minerais comumente encontrados nestes solos torna-se de fundamental importância a quantificação dos teores naturais de metais pesados nestas amostras de solo. Como pode ser observado os solos da região amazônica, principalmente os Latossolos e Argissolos são dominados por argilas do grupo das caulinitas. Também foi visto que, de modo geral, esses solos apresentam baixo pH, baixa disponibilidade de P e de outros nutrientes, altas fixação de P e Al, baixa CTC, entre outras características ou propriedades relacionadas, direta ou indiretamente, com a mineralogia predominantemente caulínica (Correa et al., 2008).

Os atributos dos solos, que comumente, podem ser correlacionados com os teores de metais pesados são: textura e constituição mineralógica, pH, Capacidade de Troca de Cátions (CTC), conteúdo de matéria orgânica, entre outros (Fontes et al., 2000; Gomes et al., 2001;

Pierangeli et al., 2003; Guilherme et al., 2005). O reconhecimento da importância destes atributos para o processo de imobilização e ou adsorção dos metais pesados no solo fez com que surgisse a necessidade de se estabelecer procedimentos que ajudem a identificar quais atributos influenciam de forma mais determinante a adsorção destes elementos constituintes do solo.

Variações no pH afetam propriedades das argilas 1:1 e de outros constituintes do solo que apresentam cargas dependentes do pH. Esta variação determina a reação dos seus grupos funcionais de superfície, que originarão as cargas positivas ou negativas responsáveis pela adsorção e dessorção no solo dos metais pesados (Lair et al., 2007). Outro atributo muito importante neste contexto é o conteúdo de matéria orgânica do solo, pois os metais pesados tendem a complexar-se com a mesma. Este processo pode diminuir ou aumentar a mobilidade no perfil do solo, dependendo do tipo de complexo ou quelado formado, de tal modo que a distribuição de alguns dos metais pesados no perfil do solo tende a seguir o modelo de distribuição da matéria orgânica, como ocorre com o cobre e o cobalto (Melo et al., 2012). Estes mesmos autores afirmam que a formação de complexos de baixo peso molecular com a fração solúvel da matéria orgânica pode ser uma forma de movimentação em profundidade, que é o que ocorre com os complexos do cobre com a fração ácidos fúlvicos. Já a CTC influencia na dinâmica dos metais pesados quando este atributo apresenta valores altos. Nesta condição sua mobilidade no perfil do solo fica reduzida em virtude dos mesmos estarem adsorvidos nos pontos de troca catiônica (Melo et al., 2012).

Além de estudar como os atributos do solo podem influenciar a dinâmica dos metais pesados é preciso compreender a origem destes elementos no solo. Sabe-se que a cordilheira dos Andes contribui para os teores naturais de metais pesados dos solos da Região Amazônica, principalmente, através da acumulação dos sedimentos resultantes dos processos geológicos e do intemperismo/erosão desta epirogênese recente. As características dos solos resultantes, químicas e mineralógicas, onde esta influência existe, são ditadas pelo material de origem andino anteriormente acumulado (Lima et al., 2006). Esta acumulação de sedimentos foi intensificada devido a Amazônia estar submetida a um regime climático quente e úmido a superúmido (Dantas et al., 2008). Estas características proporcionam intensa atuação do intemperismo químico e consequente formação dos solos. Além da origem relacionada aos sedimentos, a concentração de metais pesados no solo pode ser afetada por fenômenos naturais como, erupções vulcânicas, os quais são posteriormente redistribuídos por ação eólica ou hídrica (Melo et al., 2012). No caso específico do mercúrio, uma das hipóteses mais

plausíveis é a de que este elemento entrou no sistema solo a partir da atividade vulcânica, e devido a sua alta volatilidade foi distribuído no ambiente e posteriormente acumulado no solo.

Estudos de quantificação de metais pesados para solos da Amazônia ainda são incipientes. Lima et al. (2006) quantificaram Cu, Zn, Cd, Ni e Cr, entre outros elementos em solos da região amazônica não tendo detectado grandes variações entre solos estudados (Neossolo Flúvico, Plintossolo e Argissolo Amarelo) para os teores totais de Cd e Ni. Para estes elementos, os autores observaram que seus teores foram mais elevados na fração mais fina do solo. Iniciativas como a de Braz (2011) que determinou os valores do coeficiente de distribuição de metais pesados para solos do Estado do Pará somam-se aos esforços para a construção de um banco de dados referentes a metais pesados para solos da Amazônia. Outras experiências fora da região amazônica que buscam a quantificação de teores totais de metais pesados em solos têm sido realizadas como, por exemplo, Biondi (2010) que determinou teores naturais de metais pesados nos solos de referência do Estado de Pernambuco, Paye (2010) que determinou valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo e Caires (2009) que trabalhou com solos do Estado de Minas Gerais determinando seus teores naturais de metais pesados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Coleta das amostras dos solos estudados

Para a realização do trabalho foram coletadas amostras dos primeiros horizontes de solos localizados na bacia sedimentar amazônica, mais precisamente no entorno da cidade de Manaus/AM (Figura 1). Os trabalhos de coleta de amostras dos solos estudados, em áreas não antropizadas, resultaram na obtenção de amostras de nove diferentes classes desta região em função de sua dominância na área de estudo. Os solos coletados perfazem o seguinte conjunto: um Latossolo Amarelo; um Argissolo Amarelo; um Plintossolo; três Neossolos, sendo um Quartzarênico Hidromórfico, um Quartzarênico Órtico e um Flúvico; um Gleissolo; uma Terra Preta de Índio e um Espodosolo.

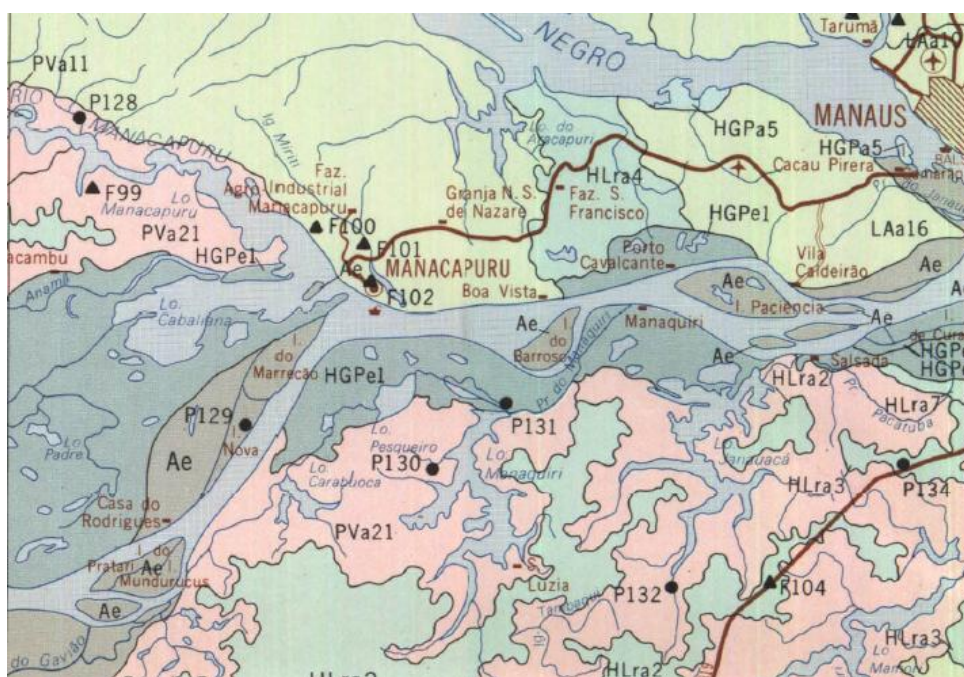


Figura 1. Mapa de solos do entorno da Cidade de Manaus/AM constantes na folha Manaus SA.20 (RADAMBRASIL, 1978)

Todos os procedimentos de descrição dos perfis foram efetuados segundo Santos e Lemos (2005). Amostras foram coletadas para fins de análises físicas, químicas e mineralógicas nos diferentes horizontes identificados em diferentes profundidades. As amostras de solo foram coletadas com ferramentas de inox e acondicionadas em sacos

plásticos lacrados e identificados. Previamente às análises, as amostras foram secas à sombra, peneiradas em malha de 2 mm, homogeneizadas e identificadas, obtendo-se dessa forma a terra fina seca ao ar (TFSA). As análises foram realizadas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

3.2. Caracterização química e física das amostras de solos

As análises químicas e físicas seguiram as metodologias analíticas definidas pela EMBRAPA (EMBRAPA, 2011). Foram determinados, na TFSA, em triplicata, os teores de P, P-rem, K, Na, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} trocáveis, acidez potencial (H + Al), pH em H_2O e em KCl e carbono orgânico.

As análises físicas foram realizadas segundo a metodologia EMBRAPA (2011), para análise granulométrica e argila dispersa em água (ADA), observando-se as modificações propostas por Ruiz (2005a) e Ruiz (2005b).

3.3. Análises mineralógicas

3.3.1. Preparação das amostras

Nas amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) foi realizada a separação das frações argila e silte por sedimentação e a fração areia por tamização (Jackson, 1979; EMBRAPA, 1997). As lâminas de argila natural foram montadas por esfregaço e em pó, em lâmina escavada. As frações areia e silte foram acondicionadas sobre lâminas escavadas com as amostras em pó. As concreções do Plintossolo foram separadas, lavadas com água deionizada, secas ao ar e trituradas em almofariz de ágata. Estas amostras de concreções foram submetidas a difratometria de Raios-X (DRX) em lâminas escavadas de vidro.

Na fração argila procedeu-se a remoção de óxidos de ferro utilizando-se o método do ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Coffin, 1963) e, em seguida, os tratamentos de saturação com KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ para melhor identificação das argilas 2:1. A montagem das lâminas de vidro foi feita por esfregaço e foram realizadas leituras em temperatura ambiente e após aquecimento em mufla a 350 e 550 °C, durante três horas. As amostras, nas quais se verificou a presença de minerais silicatados 2:1, foram tratadas para diferenciação através da saturação por magnésio e secagem ao ar e saturação por magnésio e solvatação com glicerol, com igual objetivo.

3.4. Ferro e alumínio extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato e oxalato de amônio

O Fe e Al dos óxidos cristalinos foram extraídos com solução de ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, a 80 °C, em três extrações de acordo com Coffin (1963). Os teores de Fe e Al provenientes dos óxidos de baixa cristalinidade foram extraídos por solução de oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹, pH 3,0, na ausência de luz (McKeague & Day, 1966). Nos extratos, o Fe foi dosado por espectrometria de absorção atômica (EAA) e o Al por espectrometria de emissão óptica com indução de plasma - ICP-OES (Optima 3300 DV).

3.5. Difratometria de raios X

Para a identificação qualitativa dos minerais das frações areia, silte e argila foi realizada a difratometria de raios X (DRX), em aparelho X'Pert PRO do Laboratório de Mineralogia do Departamento de Solos da UFV, utilizando radiação CoK α na faixa entre 4 à 50 °2 θ , em intervalos de 0,01 °2 θ s⁻¹, com tensão de 40 kV e corrente de 40 mA.

3.6. Determinação dos metais pesados

Os teores totais dos metais pesados As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn foram obtidos por digestão com os ácidos nítrico e fluorídrico concentrados em forno de microondas, conforme método EPA 3052 (USEPA, 1998). As análises foram realizadas com três repetições. Previamente as amostras foram secas em estufa e destorroadas em almofariz de ágata. Devido a possíveis contaminações estas sub-amostras não foram peneiradas após a pulverização. A quantificação/dosagem dos metais pesados nos extratos da digestão total foram efetuadas por ICP-OES.

Para a garantia da qualidade dos dados dos teores totais de metais pesados obtidos por digestão ácida foi utilizada uma amostra certificada (EnviroMAT contaminated soil SS-1 SCP SCIENCE) como padrão de referência. Na confecção da curva de calibração foi adicionado o efeito matriz da amostra com a utilização de branco 2X. Através das curvas de calibração obteve-se os limites de detecção do aparelho. Os comprimentos de onda utilizados foram: 188,979 (As), 233,527 (Ba), 214,440 (Co), 267,716 (Cr), 324,752 (Cu), 231,604 (Ni), 220,353 (Pb) e 213,857 (Zn).

Para análise de algumas das substâncias inorgânicas listadas no Anexo II da Resolução 420/2009, foi utilizada a fração de solo menor que 2 mm.

A execução do método envolveu a utilização de 0,50 g de cada amostra, que foram adicionadas em vasos de TFM Teflon com capacidade de 100 mL juntamente com 9 mL de HNO₃ (65 %) e 3 mL de HF (40 %) concentrados de pureza analítica e submetidas a irradiação de microondas, Milestone Ethos Pro, com controle de temperatura e pressão conforme o método EPA 3052 (USEPA, 1998). O programa constou de 5,5 min para atingir a temperatura de 180 °C, o que possibilitou atingir a pressão máxima de 16 atm, e mais 4,5 min de digestão com temperatura e pressão constantes (Caires, 2009). Após o resfriamento a temperatura ambiente, em capela, com o auxílio de pissetas, balões volumétricos, filtro qualitativos e funis de vidro, o extrato obtido pela digestão foi transferido para balões volumétricos de 50 mL e completado o volume com água deionizada. Após este procedimento os extratos foram transferidos para potes de polietileno e armazenados sob refrigeração. Os extratos resultantes foram dosados por ICP-OES após a calibração do aparelho com a curva padrão multielementar específica para os metais e metodologia em questão.

3.7. Determinação dos nutrientes da serapilheira de alguns solos estudados

Para a extração dos nutrientes P, K, Ca, Mg e K da serapilheira foi feita digestão nitro-perclórica, na proporção 3,5:1 e no extrato retirado alíquotas para quantificação destes. O P foi determinado por colorimetria (Braga e Defelipo, 1974), o K por espectrofotometria de emissão de chama, o Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta et al., 1997) e o S por turbidimetria do sulfato de bário (Alvarez V. et al., 2001). Para determinação do N total foi utilizado o método de Kjeldal (Nelson e Sommers, 1973), com digestão sulfurosa seguida de destilação.

3.8. Análises estatísticas

Foram utilizados procedimentos estatísticos univariados para a apresentação e discussão dos resultados. Foi empregado o teste de Scott-Knott para a análise da variabilidade dos teores naturais de metais pesados nos solos e a correlação de Pearson para o estabelecimento de correlações entre os metais pesados e as características químicas e físicas do solo através do software STATISTICA versão 7.0 (Statsoft, 2004).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características físicas dos solos estudados

4.1.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica dos solos estudados revela uma composição com predomínio das frações mais finas do solo, com exceção do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico e Neossolo Quartzarênico órtico, Espodossolo e da Terra Preta de Índio (Quadro 1). No Latossolo Amarelo predomina a fração argila em todos os horizontes, com teores elevados. Já no Argissolo Amarelo a fração predominante é a areia grossa seguida da argila, sendo este comportamento observado em todos os horizontes coletados. Assim como estudo desenvolvido por Lima (2001), alguns dos solos do presente estudo também apresentaram teores de silte elevados, principalmente no Gleissolo, onde perfazem mais de 60 % da composição granulométrica de todo o perfil. Ainda de acordo com Lima (2001) estes valores elevados de silte revelam o baixo grau de desenvolvimento do Gleissolo nestas condições (Quadro 1). Na Terra Preta de Índio as frações predominantes são a areia grossa e a argila o que resulta em uma classificação argilo arenosa na maior parte do perfil. Silva et al. (2012) estudando TPI da região amazônica indicou a predominância da fração areia sobre as frações mais finas (silte e argila), e uma diminuição relativa destas do horizonte subsuperficial para o superficial. Resultados diferentes dos obtidos por estes autores foram registrados para a TPI deste estudo, principalmente no que se refere aos teores de argila, que superou os teores de areia. Estes resultados indicam uma maior susceptibilidade a erosão deste solo, fato este que aumenta a mobilidade dos metais adsorvidos nas partículas do solo, podendo atingir corpos de águas superficiais e também o lençol freático.

4.1.2. Argila dispersa em água (ADA)

A argila dispersa em água (ADA) indica o grau da estabilidade do agregado e conseqüentemente da sua susceptibilidade à erosão, ou seja, maiores valores de ADA são associados à maior ocorrência potencial de processos erosivos. Estes processos carregam as partículas do solo para as porções mais baixas da paisagem levando consigo sua reserva mineral, o que indubitavelmente resulta em seu empobrecimento químico e depauperação da

sua estrutura física. Com a ocorrência destes processos, as partículas mais importantes do ponto de vista de trocas catiônicas estão saindo do sistema solo-solução, além de eventualmente obstruírem os microporos caso continuem no sistema, neste caso este processo dificulta a infiltração da água que acaba colaborando na construção dos processos erosivos. Soma-se a estes processos erosivos a possibilidade de carreamento de metais pesados adsorvidos aos colóides do solo e conseqüente contaminação e poluição deste recurso natural.

No Latossolo Amarelo estudado o teor de ADA foi mais elevado nos horizontes superficiais. Este comportamento pode ser explicado pela maior presença de matéria orgânica. Igualmente ao Latossolo, no Argissolo Amarelo os maiores teores de ADA foram encontrados nos primeiros horizontes, mesmo com a ocorrência de teores menores da fração argila nestes camadas. Em virtude de processos de formação que envolve a gênese de argissolos, normalmente ocorre este acúmulo de argila nos horizontes mais profundos, em detrimento ao empobrecimento dos horizontes superficiais em relação a esses colóides inorgânicos, caracterizando o horizonte B textural. Isso significa dizer que a contribuição das argilas, mesmo em menor teor, nos horizontes superficiais é relevante principalmente pela atuação menos efetiva da matéria orgânica (MO) em termos de participação deste atributo no solo em questão (Quadro 2). O Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, Neossolo Quartzarênico órtico e o Espodossolo apresentam valores de ADA praticamente iguais em todos os horizontes (Quadro 1), não tendo também, para estes solos, ocorrido grande variação dos teores da fração argila nos horizontes em questão. No Gleissolo os teores de ADA aumentaram com a profundidade, acompanhando o acréscimo da fração argila nos horizontes subsuperficiais. Já o Neossolo Flúvico apresenta teores de ADA homogêneos nos horizontes avaliados. Este solo também apresenta os teores da fração argila praticamente iguais em seus horizontes (Quadro 1).

Quadro 1. Resultados das análises físicas e morfológica das amostras de solos

Amostra	Horizonte	Profundidade cm	Cor		AG	AF	Silte	Argila	ADA dag kg ⁻¹	Classe textural
			seco	úmido						
Latossolo Amarelo										
1	A	0-10	2.5Y 5/2	2.5Y 3/3	13	4	12	71	14	MUITO ARGILOSA
2	AB	10-30	2.5Y 7/3	2.5Y 6/4	13	4	15	68	19	MUITO ARGILOSA
3	Bw	~100	10YR 8/4	10YR 7/6	7	2	6	85	2	MUITO ARGILOSA
Argissolo Amarelo										
4	A	0-10	10YR 8/2	10YR 5/3	58	13	7	22	9	FRANCO-ARGILO-ARENOSA
5	BA	10-30	10YR 8/3	10YR 7/4	41	14	8	37	15	ARGILO-ARENOSA
6	Bt	~100	7.5 YR 8/3	7.5YR 7/6	46	9	5	40	2	ARGILO-ARENOSA
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico										
7	A	0-10	10YR 6/1	10YR 4/2	66	14	6	14	4	FRANCO-ARENOSA
8	CA	10-30	10YR 7/1	10YR 5/2	71	13	2	14	2	FRANCO-ARENOSA
9	C	50+	10YR 7/1	10YR 5/2	66	12	5	17	8	FRANCO-ARENOSA
Gleissolo Háptico										
10	A	0-10	10YR 5/3	10YR 3/3	2	2	63	33	11	FRANCO-ARGILO-SILTOSA
11	AC	10-40	10YR 5/3	10YR 3/3	0	15	64	21	8	FRANCO-SILTOSA
12	CA	40-80	10YR 5/3	10YR 4/3	0	1	68	31	12	FRANCO-ARGILO-SILTOSA
13	C	80+	10YR 5/3	10YR 4/3	0	2	68	30	12	FRANCO-ARGILO-SILTOSA
Neossolo Flúvico										
14	A	0-10	10YR 4/3	10YR 3/3	0	42	41	17	5	FRANCO
15	AC	20-40	10YR 4/3	10YR 3/3	0	39	45	16	5	FRANCO
16	CA	40-80	10YR 4/3	10YR 3/3	1	40	43	16	5	FRANCO
17	C	100+	10YR 5/3	10YR 4/3	1	24	59	16	7	FRANCO-SILTOSA

Quadro 1. Resultados das análises físicas e morfológica das amostras de solos (continuação)

Amostra	Horizonte	Profundidade	Cor		AG	AF	Silte	Argila	ADA	Classe
			seco	úmido						
		cm	-----%-----						dag kg ⁻¹	
Terra Preta de Índio										
18	A1	0-10	10YR 3/1	10YR 2/1	37	21	12	30	4	FRANCO-ARGILO-ARENOSA
19	A2	10-30	10 YR 3/1	10YR 2/1	34	24	6	36	7	ARGILO-ARENOSA
20	BA	30-90	10YR 4/3	10YR 3/4	31	16	5	48	11	ARGILO-ARENOSA
21	Bt	100+	10YR 6/6	10YR 5/6	18	8	5	69	2	MUITO ARGILOSA
Plintossolo										
22	A	0-10	10YR 4/3	10YR 3/3	28	21	11	40	9	ARGILO-ARENOSA
23	AC1	10-30	10YR 4/4	10YR 3/3	25	21	9	45	10	ARGILO-ARENOSA
24	AC2	30-70	7.5 YR 6/4	7.5 YR 4/6	22	18	8	52	1	ARGILA
25	CA	70-120	5YR 5/6	5YR 5/8	25	12	19	44	1	ARGILA
26	C	120+	5YR 5/6	5YR 4/6	28	10	20	42	1	ARGILA
Neossolo Quartzarênico Órtico										
27	A	0-10	10YR 5/1	10YR 3/1	86	9	1	4	3	AREIA
28	CA	10-30	10YR 6/1	10YR 4/1	78	18	2	2	1	AREIA
29	C	50+	10YR 4/1	10YR 2/1	81	13	4	2	1	AREIA
Espodossolo										
30	A	0-10	10YR 4/1	10YR 3/1	83	11	2	4	1	AREIA
31	E	10-20	10YR 5/1	10YR 3/1	75	19	4	2	3	AREIA
32	BE	20-50	10YR 4/1	10YR 3/1	68	27	2	3	1	AREIA
33	Bs	50-60	10YR 4/3	10YR 3/2	68	24	4	4	1	AREIA
34	C	120+	10YR 6/2	10YR 5/2	69	26	3	2	1	AREIA

4.2. Análise química dos solos estudados

4.2.1. pH em H₂O e em KCl

Os valores do pH em H₂O variaram de 3,6 no horizonte A do Latossolo Amarelo a 6,3 no horizonte C do Neossolo Flúvico. Já para pH em KCl, ocorreu uma variação de 2,4 no horizonte A do Neossolo Quartzarênico órtico a 4,8 no horizonte A da Terra Preta de Índio (Quadro 2). De maneira geral, pode-se afirmar que os solos estudados apresentam acidez elevada (4,5 a 5,0), de acordo com Alvarez V. et al. (1999). Os valores relativamente baixos de pH nesses solos relacionam-se provavelmente ao seu elevado grau de intemperismo e lixiviação.

Quanto ao ΔpH , que é a diferença entre o pH em KCl e o pH em H₂O, foram observados valores negativos para todos os perfis, indicando que os solos tem predominância de carga líquida negativa (Mekaru & Uehara, 1972), que confere a estes solos maior capacidade de adsorver cátions. Nestes perfis de solo as cargas negativas estão ligadas a cátions, que são substituídos pelo íon K⁺, quando o pH é determinado em KCl, fazendo com que os cátions trocáveis se desloquem para solução do solo aumentando a concentração de prótons em solução e assim reduzindo os valores de pH.

Os resultados do ΔpH estão relacionados, dentre outros fatores, à matéria orgânica e à mineralogia das amostras de solo dos perfis analisados. O fato de a maioria dos perfis serem pobres em bases trocáveis, demonstrando o grau de intemperismo, lhes confere valores de pH mais baixos.

Os solos mais intemperizados (principalmente o Latossolo Amarelo) apresentam predomínio de cargas negativas menor em comparação aos solos mais jovens deste estudo. Este fato ocorre em razão das cargas dependentes de pH provenientes da matéria orgânica e dos minerais de argila. Nos solos mais jovens, principalmente o Gleissolo e o Neossolo Flúvico, embora estes tenham apresentado menores teores de matéria orgânica, o balanço positivo de cargas negativas tem grande contribuição da mineralogia da fração argila.

4.2.2. Bases trocáveis e Alumínio trocável

Todos os perfis apresentam teores referentes às bases trocáveis (K, Ca e Mg) de muito baixo (solos intemperizados) a muito bom (solos jovens), de acordo com Alvarez V. et al. (1999). Os altos valores de bases trocáveis nos solos estudados provavelmente estão

relacionados ao seu material de origem e também ao impedimento à drenagem apresentados pelos solos mais jovens e consequente lixiviação insuficiente destes nutrientes. Já os baixos valores encontrados em solos como o Latossolo e Argissolo são atribuídos ao intemperismo mais intenso.

A maioria dos solos estudados apresentaram valores baixos a nulos de alumínio trocável, com exceção de alguns horizontes do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, Neossolo Quartzarênico órtico, Gleissolo e Plintossolo. Evidencia-se desse modo a relação entre o valor do pH e os teores de alumínio trocável, haja vista que a maioria dos solos, apresentaram pH em água inferior a 5. Portanto, quando a disponibilidade de alumínio nesses solos foi expressiva houve o abaixamento do pH.

4.2.3. Matéria orgânica (MO)

A matéria orgânica do solo (MO) pode ser definida como um conjunto de organismos vivos, resíduos de plantas e animais nada, pouco ou bem decompostos, que variam consideravelmente em estabilidade, suscetibilidade ou estágio de alteração. Este conjunto de elementos produz muitos benefícios para o solo, melhorando suas propriedades químicas, físicas e biológicas, sendo assim constituinte de suma importância para os solos em geral (Magdoff, 1992).

Os teores de matéria orgânica (MO) nos horizontes superficiais variaram de 1,51 a 7,78 dag kg⁻¹ nos solos estudados. O maior valor encontrado foi no Latossolo Amarelo, isto pode ser explicado pelo fato deste solo estar sob vegetação do tipo floresta tropical. Em ambientes deste tipo ocorre alta reposição da matéria orgânica, além da menor ocorrência de processos erosivos devido a este solo estar menos exposto. Outro fator importante é que o horizonte em questão apresenta elevados teores de argila e por isso um maior número de cargas superficiais, ocorrendo assim, uma maior interação entre a parte mineral e orgânica do solo. Essa interação atua protegendo a matéria orgânica da ação dos microorganismos, retardando assim os processos de mineralização, levando a seu maior acúmulo. A Terra Preta de Índio também se destacou pelo elevado teor de MO (6,28 dag kg⁻¹). Este resultado pode ser atribuído ao acúmulo nas camadas mais superficiais deste solo dos resíduos provenientes das atividades humanas dos grupos que habitaram estas áreas, o que em geral resulta em horizontes superficiais mais escuros, presença de restos de material arqueológico e alta concentração de nutrientes, além da própria MO (Lima et al., 2012).

Por outro lado, os baixos teores de matéria orgânica podem ser explicados por alguns fatores como: textura do solo, onde solos mais arenosos tendem a armazenar menos matéria orgânica quando comparados aos mais argilosos; ocorrência de processos erosivos e eventual ocorrência de fogo nestas áreas. Estes são alguns exemplos importantes de processos que reduzem o teor de matéria orgânica nos horizontes superficiais do solo. Uma vez que estes processos são instalados nos solos, modificam muito o seu comportamento, tornando-os mais propícios a erosões, a diminuição da retenção de água e nutrientes, pois além de fornecer alguns nutrientes ao solo como o Nitrogênio e o Carbono, a matéria orgânica atua como reguladora, liberando gradativamente, de forma assimilável, esses e outros nutrientes essenciais para as plantas.

4.2.4. Fósforo disponível

O fósforo é um elemento que apresenta alta afinidade com a fase sólida do solo, principalmente pelo fato do fosfato ligar-se covalentemente à sua fração coloidal, mais notadamente em condições de baixo pH, característica esta que afeta a sua disponibilidade para as plantas. A interpretação da disponibilidade do fósforo foi realizada através de medida relacionada com a capacidade tampão, no caso o teor de argila, utilizando-se para isto a tabela de classes de interpretação da disponibilidade para fósforo de acordo com o teor de argila do solo (Alvarez V. et al., 1999). Verificou-se que, de forma geral, o nível de fósforo disponível foi considerado muito baixo. Os maiores valores de fósforo disponível foram observados no Gleissolo, Neossolo Flúvico e Terra Preta de Índio. De uma forma geral, solos ou horizontes com maiores teores de argila resultaram em menores teores de fósforo disponível. Outra característica que pode influenciar na disponibilidade do fósforo é o teor de matéria orgânica. Nos solos estudados este teor é mais elevado no horizonte A, correlacionando-se positivamente com o teor de fósforo disponível na maioria dos casos. Esta relação do fósforo com a matéria orgânica do solo perfaz ligações mais fracas do que as ocorrentes entre o fósforo e as argilas, por exemplo, fazendo com que a disponibilidade do elemento aumente.

Quadro 2. Resultados das análises químicas dos solos estudados.

Amostra	Horizonte	Profundidade cm	pH		Al ³⁺	H + Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	P-rem	MO
			H ₂ O	KCl								
					-----cmol _c dm ⁻³ -----			mg dm ⁻³		mg L ⁻¹		dag kg ⁻¹
Latossolo Amarelo												
1	A	0-10	3,6	3,2	2,7	13,4	0,00	0,05	23,0	3,8	18,3	7,78
2	AB	10-30	3,8	3,7	1,6	7,6	0,00	0,02	8,0	3,8	22,2	3,64
3	Bw	~100	4,5	4,0	0,9	3,2	0,00	0,02	1,0	0,6	14,4	1,13
Argissolo Amarelo												
4	A	0-10	4,2	3,8	0,9	4,5	0,02	0,03	11,0	3,8	31,0	1,76
5	BA	10-30	4,7	4,2	0,4	3,1	0,00	0,0	1,0	0,2	19,9	1,00
6	Bt	~100	4,8	4,2	0,5	1,6	0,00	0,01	0,0	0,6	24,5	0,38
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico												
7	A	0-10	4,2	3,5	1,0	6,4	0,00	0,07	14,0	2,2	36	2,01
8	CA	10-30	4,7	4,0	0,8	4,5	0,00	0,01	4,0	2,0	27,5	1,76
9	C	50+	4,9	4,1	0,6	4,0	0,00	0,02	3,0	5,9	31,3	1,63
Gleissolo Háptico												
10	A	0-10	4,6	3,3	2,7	8,0	5,32	1,79	60,0	38,5	11,8	2,89
11	AC	10-40	5,6	3,8	0,3	3,2	7,40	3,31	54,0	34,5	27,6	0,75
12	CA	40-80	5,8	3,9	0,2	3,9	9,24	3,83	74,0	33,1	27,3	0,88
13	C	80+	6,1	4,1	0,0	2,9	10,14	4,15	41,0	30,3	25,1	0,88
Neossolo Flúvico												
14	A	0-10	5,5	4,2	0,1	3,2	8,25	1,1	48,0	101,7	27,3	1,51
15	AC	20-40	5,3	3,9	0,4	3,9	7,90	1,5	35,0	135,6	23,3	0,13
16	CA	40-80	6,2	4,4	0,0	2,4	6,92	1,66	41,0	120,3	31,3	0,88
17	C	100+	6,3	4,5	0,0	2,4	11,39	2,94	54,0	192,3	34,4	1,00

Quadro 2. Resultados das análises químicas dos solos estudados (continuação).

Amostra	Horizonte	Profundidade	pH		Al ³⁺	H + Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	P-rem	MO
			H ₂ O	KCl								
		cm	-----cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	mg L ⁻¹	dag kg ⁻¹		
Terra Preta de Índio												
18	A1	0-10	5,5	4,8	0,0	7,1	7,41	0,86	43,0	101,7	36,3	6,28
19	A2	10-30	5,2	4,3	0,1	8,7	4,36	0,19	16,0	176	29,2	3,45
20	BA	30-90	5,0	4,0	0,4	6,8	0,00	0,03	4,0	77,4	32,5	1,38
21	Bt	100+	5,0	4,3	0,1	3,7	0,93	0,09	1,0	163,3	29,5	0,38
Plintossolo												
22	A	0-10	4,4	3,7	1,7	7,9	0,05	0,07	30,0	1,9	17,9	3,45
23	AC1	10-30	4,5	4,8	1,6	6,4	0,00	0,02	5,0	0,6	13,4	1,88
24	AC2	30-70	4,7	3,9	1,3	4,5	0,00	0,02	3,0	0,8	11,3	1,26
25	CA	70-120	5,1	4,4	0,3	2,7	0,04	0,04	3,0	2,6	12,3	0,13
26	C	120+	5,2	4,7	0,1	2,1	0,00	0,01	3,0	0,6	11,2	0,25
Neossolo Quartzarênico Órtico												
27	A	0-10	3,7	2,4	1,3	9,0	0,00	0,01	6,0	1,5	55,9	2,39
28	CA	10-30	4,7	3,5	0,2	1,1	0,00	0,00	0,0	1,1	46,6	0,13
29	C	50+	4,6	3,0	0,4	2,7	0,00	0,01	0,0	1,2	28,4	0,13
Espodossolo												
30	A	0-10	3,9	2,4	1,4	9,7	0,00	0,02	4,0	1,7	53,6	2,51
31	E	10-20	4,6	3,4	0,6	2,7	0,00	0,00	0,0	1,2	48,3	0,75
32	BE	20-50	4,6	3,4	1,0	4,3	0,03	0,00	0,0	1,6	47,2	0,75
33	Bs	50-60	4,7	4,1	0,9	6,9	0,00	0,00	0,0	10,5	21,5	1,13
34	C	120+	5,6	4,4	0,1	1,4	0,00	0,01	0,0	1,7	48,9	0,0

4.3. Nutrientes da serapilheira de alguns solos estudados

Neves et al. (2001) afirmam que o desenvolvimento de uma vegetação do porte da Floresta Amazônica deve-se a ciclagem de nutrientes advindos da serapilheira das espécies vegetais. É sabido que, em geral, solos da região amazônica apresentam baixa disponibilidade de nutrientes. Diante deste cenário, contribui para o desenvolvimento da exuberante vegetação a própria deposição e acelerada decomposição dos restos vegetais e, por conseguinte a liberação dos nutrientes. Este processo é acelerado na região estudada, devido a aspectos climáticos como, por exemplo, temperatura e precipitação pluviométrica. Por meio da serapilheira, o processo de transferência de nutrientes do tecido vegetal para o solo, tido como a forma mais significativa em termos de aporte biológico, se renova constantemente (Xu & Hirata, 2002).

Os teores de nutrientes da serapilheira de alguns solos estudados são apresentados no Quadro 3. revelam valores elevados de nitrogênio, cálcio e magnésio, indicando que esses nutrientes podem estar contribuindo decisivamente para a ciclagem de nutrientes nestes solos. Os teores de nitrogênio variaram de 113,86 (Neossolo Quartzarênico Órtico) à 711,91 g kg⁻¹ (Neossolo Quartzarênico Hidromórfico). Fósforo nas amostras vegetais analisadas variou de 0,21 (Latosolo Amarelo) à 0,30 g kg⁻¹ (Neossolo Quartzarênico Hidromórfico). O potássio apresentou variação de 0,99 (Neossolo Quartzarênico órtico e Latossolo Amarelo) à 3,82 g kg⁻¹ (Neossolo Quartzarênico Hidromórfico). O teor de cálcio na serapilheira do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico e do Neossolo Quartzarênico órtico pode ser considerado a única fonte deste nutriente, quando levamos em consideração os teores deste elemento nos solos supracitados (Quadro 2). Este nutriente apresentou variação de 0,31 (Neossolo Quartzarênico Órtico) à 12,01 g kg⁻¹ (Neossolo Quartzarênico Hidromórfico). De forma semelhante, com relação aos teores nos solos estudados, o magnésio teve seu menor teor (0,28 g kg⁻¹) na serapilheira do Neossolo Quartzarênico Órtico e o maior teor na serapilheira do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico (1,94 g kg⁻¹). Finalmente, os teores de enxofre nas serapilheiras dos solos estudados variou de 1,24 (Neossolo Quartzarênico Órtico) à 2,54 g kg⁻¹ (Neossolo Quartzarênico Hidromórfico).

Pode-se depreender destes resultados, que a serapilheira dos solos de várzea, neste caso representado pelo Neossolo Quartzarênico Hidromórfico conservou teores mais elevados dos nutrientes analisados devido ao ambiente que proporciona taxas mais baixas de decomposição do material vegetal e consequente menor lixiviação através do perfil do solo. Em contraposição, a serapilheira dos solos da terra firme, ou seja, aqueles em que não há

restrição a drenagem apresentam, de forma geral, os menores teores dos nutrientes estudados, podendo este fato ser explicado pela maior exposição destes tecidos vegetais a processos de decomposição biológica e até mesmo física, os quais tem sua efetividade diminuída quando da inexistência de condições para a atuação dos agentes desenvolvedores destas ações. Chama a atenção os teores de cálcio na serapilheira do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico e também no Neossolo Quartzarênico Órtico (Quadro 3), justamente por contrastar com aqueles observados no solo (Quadro 2). Os demais nutrientes, presentes nas serapilheiras analisadas, também constituem-se como prováveis fontes nutricionais para a vegetação que ocupa grande parte da região estudada. Estudos desse tipo tem revelado a importância da serapilheira dos solos amazônicos para a manutenção do seu equilíbrio nutricional como aquele desenvolvido por Silva et al. (2009). Estes pesquisadores estudaram a contribuição das folhas na formação da serapilheira e no retorno de nutrientes, tendo verificado um potencial de retorno de nitrogênio ao solo da ordem de 70,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e de 76,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de fósforo, mostrando a grande importância da serapilheira na manutenção da vegetação e consequente equilíbrio dos ecossistemas.

Quadro 3. Teores de nutrientes da serapilheira de alguns solos estudados

Solo	N ¹	P ²	K ³	Ca ³	Mg ³	S ⁴
	-----g kg ⁻¹ -----					
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	711,91	0,30	3,82	12,01	1,94	2,54
Neossolo Quartzarênico órtico	113,86	0,27	0,99	0,31	0,28	1,24
Argissolo Amarelo	310,59	0,24	1,47	3,54	1,33	1,65
Latossolo Amarelo	410,21	0,21	0,99	0,64	0,35	2,26

¹Nelson e Sommers (1973); ²Braga e Defelipo (1974); ³Malavolta et al. (1997); ⁴Alvarez V. et al. (2001)

5. Composição mineralógica dos solos

Os solos estudados apresentaram diferenças em suas composições mineralógicas, conforme as diferentes classes de solos a que pertencem (Quadro 4). Os solos sem impedimento à drenagem apresentam composição com predominância de caulinita e quartzo. Por outro lado, os solos submetidos a inundação e condições de drenagem mais restrita apresentam uma mineralogia mais diversa e com presença de argilominerais do tipo 2:1 como, por exemplo, esmectita e clorita. De forma geral houve similaridade em termos da composição mineralógica dos diversos horizontes dentro de cada um dos solos estudados.

5.1. Latossolo Amarelo

A composição mineralógica da fração areia do Latossolo Amarelo estudado revela a presença predominante de quartzo (Qz), com o argilomineral caulinita (Ct) aparecendo em seguida e anatásio (An) (Figura 2). A presença deste último indica um alto grau de desenvolvimento do Latossolo Amarelo estudado (Figura 2). A presença de caulinita e anatásio na fração areia não é incomum (Dixon, 1989) principalmente em solos residuais, onde espessas lâminas de caulinita podem ser abundantes e também devido a alta resistência dos óxidos de titânio no ambiente.

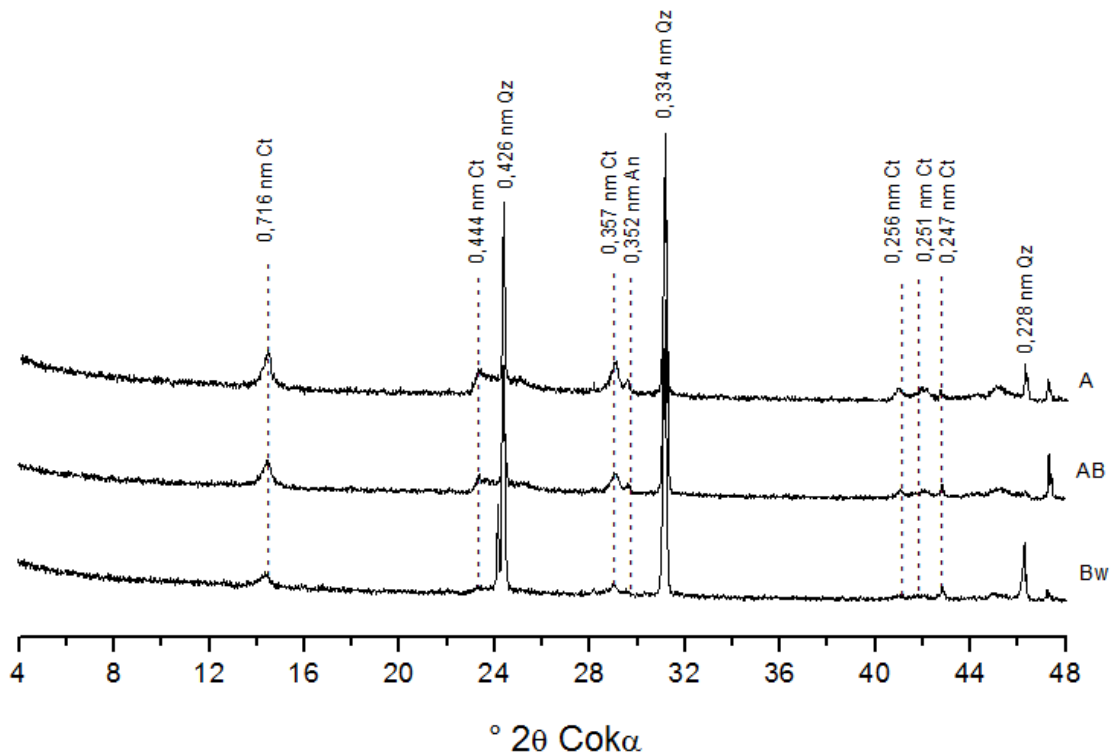


Figura 2 – Difratoformas de raios-X da fração areia, dos horizontes A, B e Bw do Latossolo Amarelo. (Ct – caulinita; Qz – quartzo; An – anatásio). Amostra em pó.

Na fração silte (Figura 3) há o predomínio da caulinita, entretanto, nota-se a presença de óxidos de ferro (goethita) e titânio (An) e do quartzo (Qz).

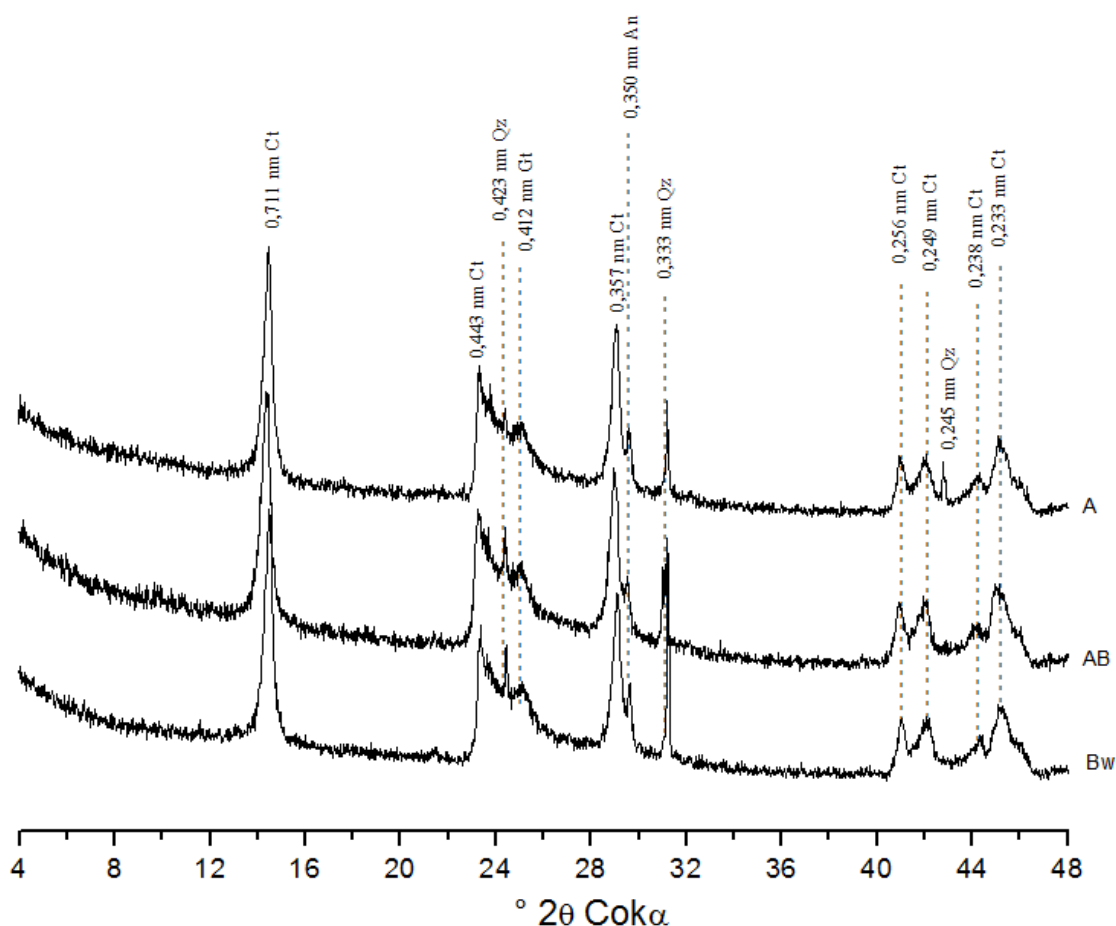


Figura 3 – Difractogramas de raios-X da fração silte, dos horizontes A, B e Bw do Latossolo Amarelo. (Ct – caulinita; Gt – goethita; Qz – quartzo; An – anatásio). Amostra em pó.

A fração argila também apresenta dominância caulínica, com traços de anatásio e goethita (Figura 4). A identificação dos picos desta fração não sofreu modificação importante após a orientação da amostra submetida ao difratômetro de raios-X, como pode ser observado na Figura 5 e também após a desferrificação e montagem da lâmina em pó (Figura 7). A amostra de argila desferrificada e orientada submetida à DRX apresentou apenas os picos da caulinita (Figura 6).

O pico em 0,446 nm, correspondente aos planos atômicos com índice de Miller (020), que aparece na amostra natural orientada, demonstra a presença da goethita, situação esta

condizente com a cor amarela da argila e do solo. Os óxidos de Fe, neste caso a goethita, atuaram desorganizando as lâminas da caulinita, não permitindo uma perfeita orientação da amostra, mesmo na condição em que a orientação é forçada pela técnica do esfregaço. Na amostra desferrificada praticamente não se observa este fenômeno, enfatizando a importância dos óxidos de Fe na desorganização da estrutura típica dos Latossolos, conforme preconizado por Resende (1982).

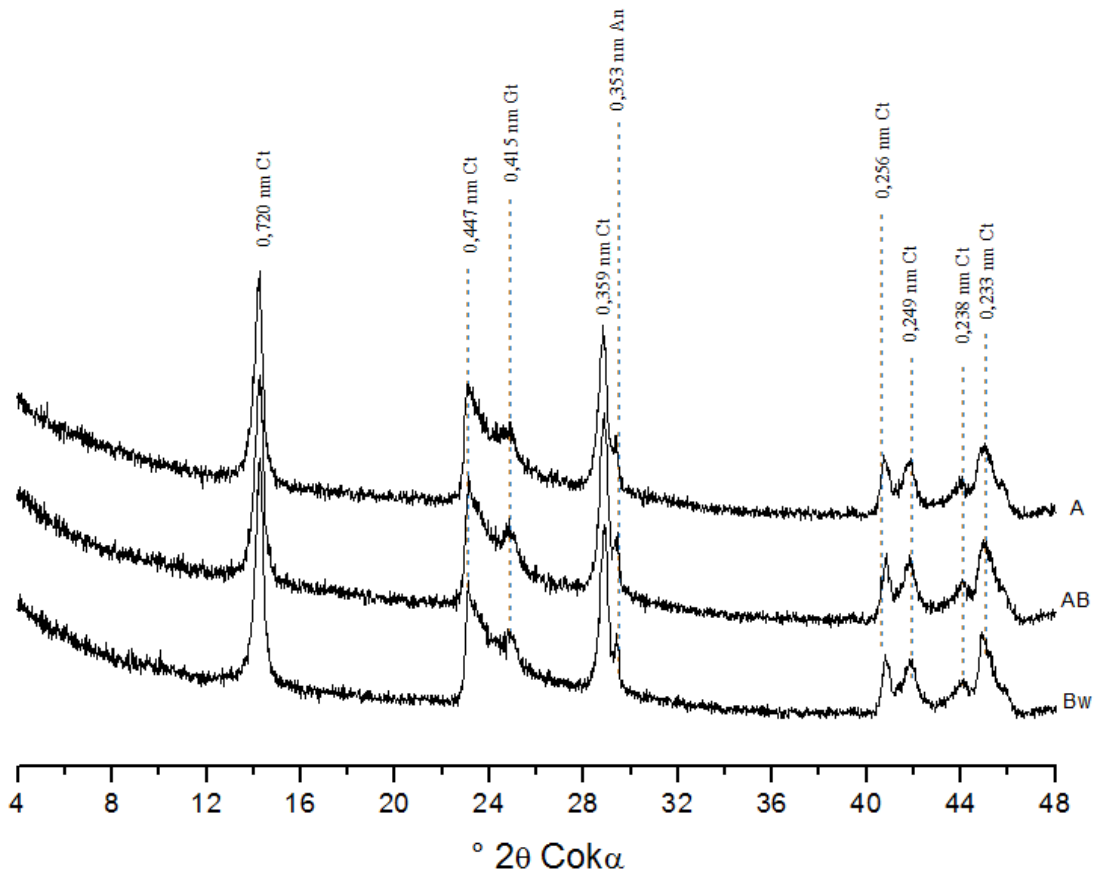


Figura 4 – Difractogramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, B e Bw do Latossolo Amarelo, natural e sem orientação. (Ct – caulinita; Gt – Goethita; An – anatásio;). Amostra em pó.

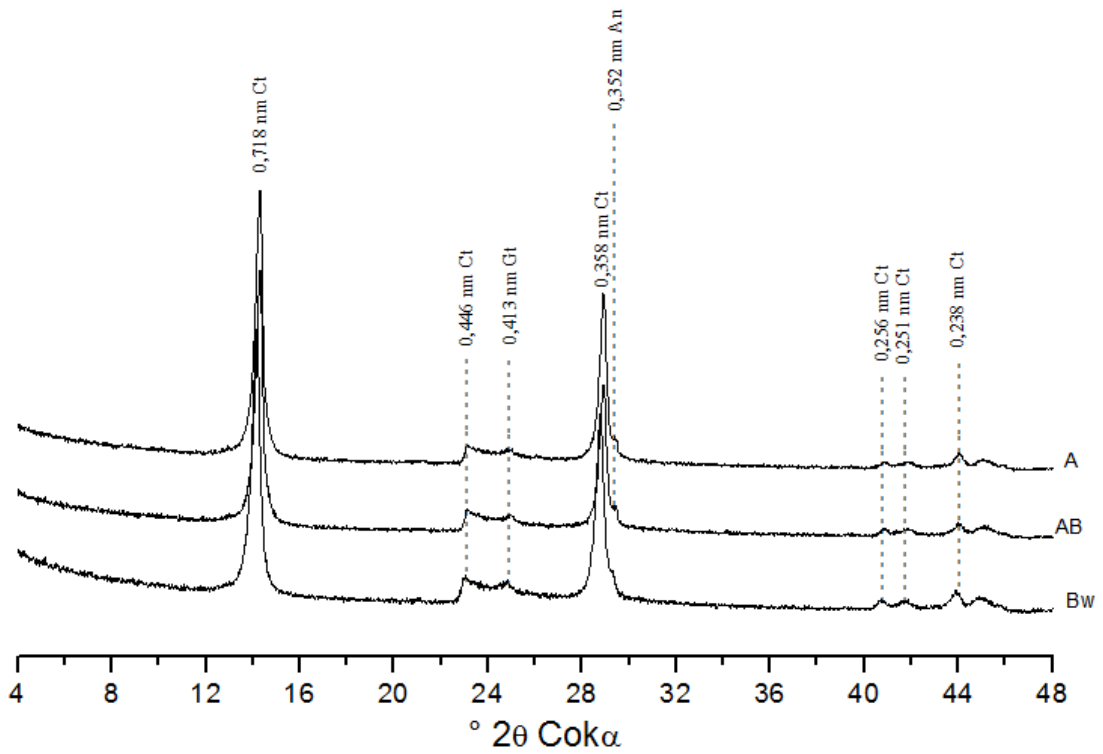


Figura 5 – Difratoformas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, B e Bw do Latossolo Amarelo, natural e com orientação. (Ct – caulinita; Gt – Goethita; An – anatásio).

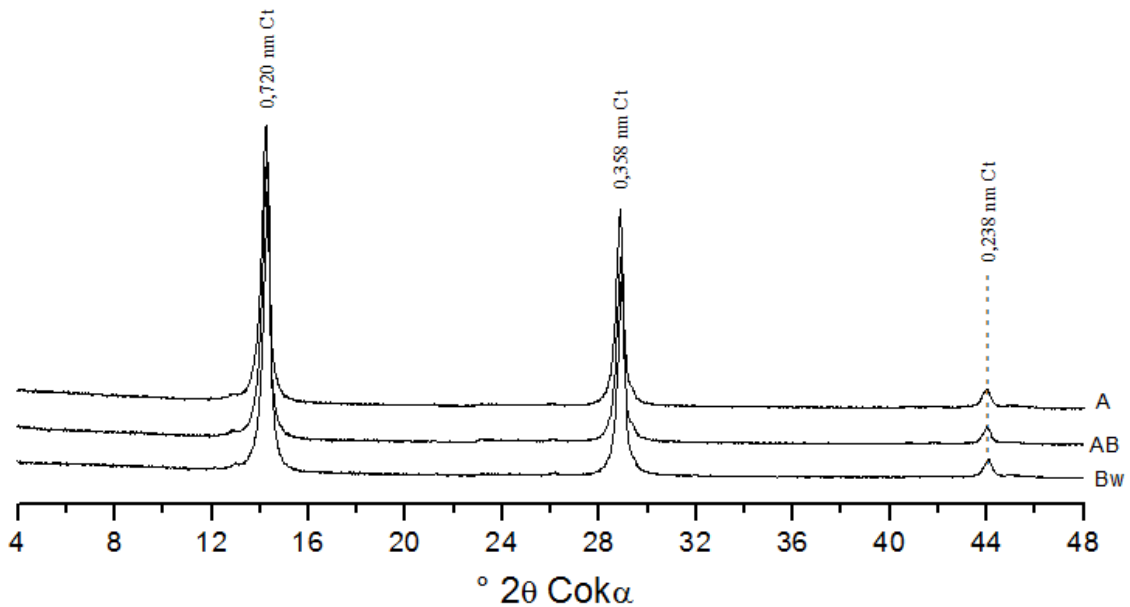


Figura 6 – Difratoformas de raios-X da fração argila desferrificada, dos horizontes A, B e Bw do Latossolo Amarelo, com orientação. (Ct – caulinita).

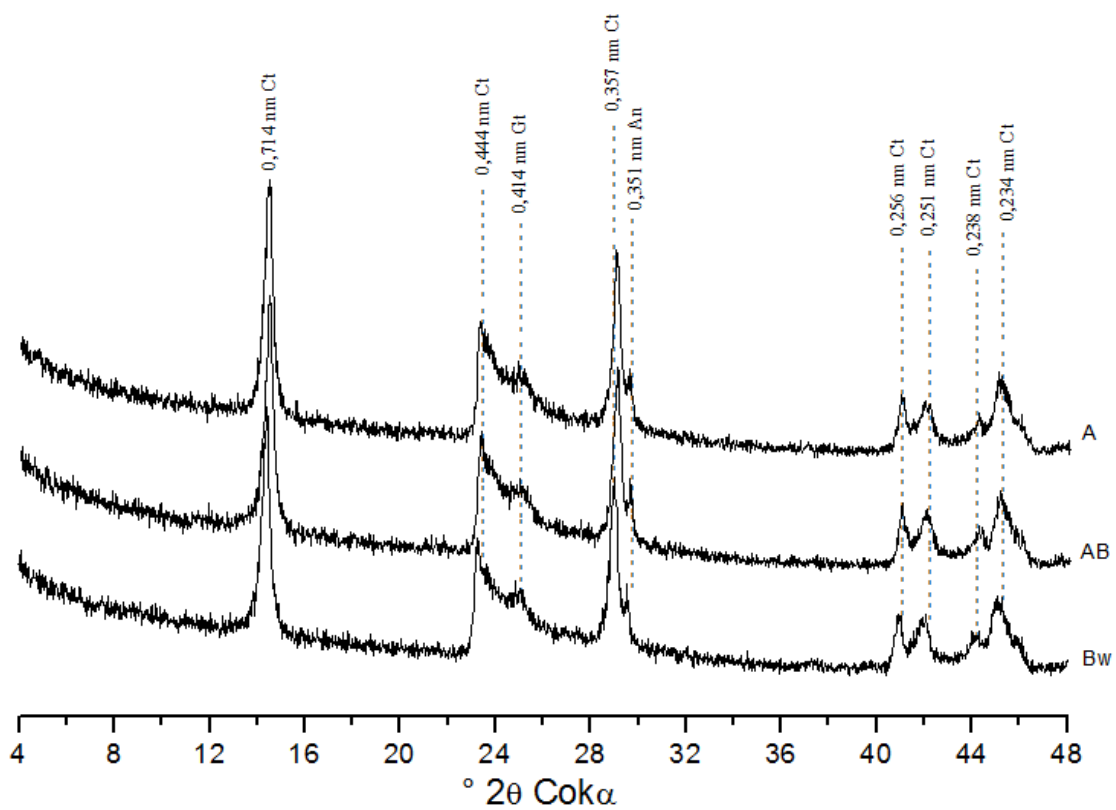


Figura 7 – Difractogramas de raios-X da fração argila desferrificada, dos horizontes A, B e Bw do Latossolo Amarelo, sem orientação. (Ct – caulinita; Gt – Goethita; An – anatásio). Amostra em pó.

5.2. Argissolo Amarelo

O Argissolo Amarelo estudado neste trabalho apresenta em sua fração areia predominância de quartzo (Qz), (Figura 8), mostrando seu alto grau de desenvolvimento.

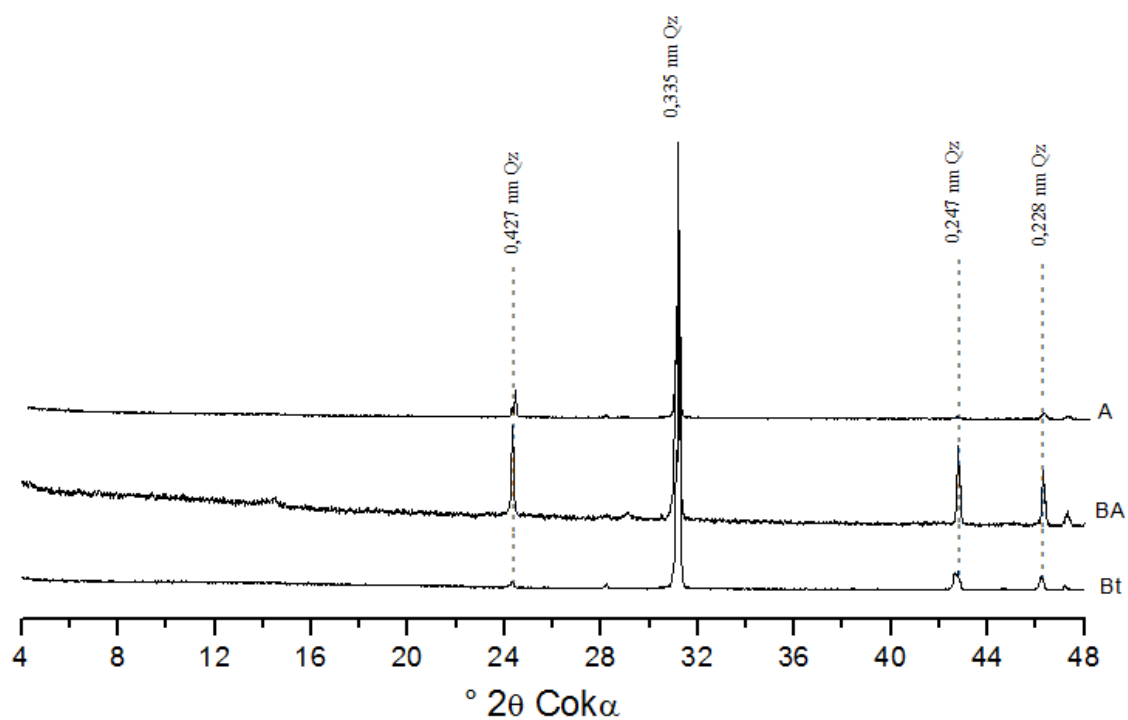


Figura 8 – Difractogramas de raios-X da fração areia, dos horizontes A, BA e Bt do Argissolo Amarelo. (Qz – quartzo). Amostra em pó.

Na fração silte do Argissolo Amarelo, à semelhança do Latossolo, observa-se a presença de caulinita (Ct) e, em menor expressão, goethita (Gt), quartzo (Qz) e anatásio (An), (Figura 9).

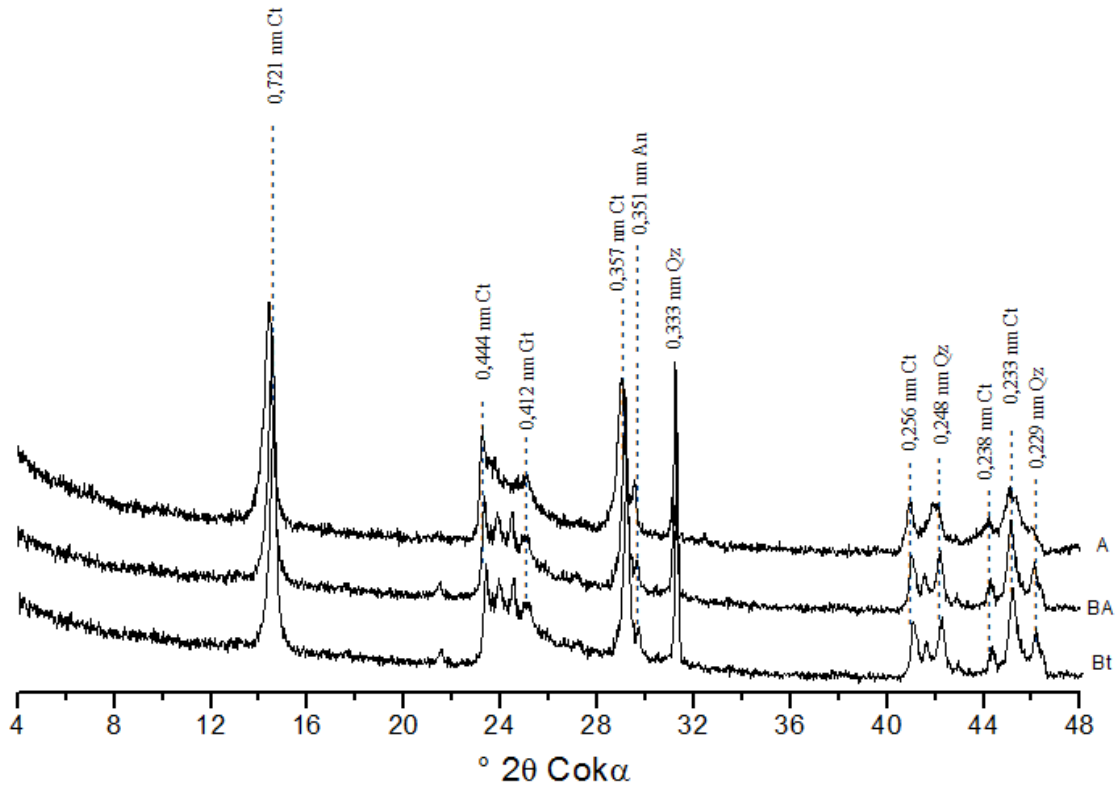


Figura 9 – Difractogramas de raios-X da fração silte, dos horizontes A, BA e Bt do Argissolo Amarelo. (Ct – caulinita; Gt – goethita; Qz – quartzo; An – anatásio). Amostra em pó.

A composição mineralógica da fração argila do Argissolo Amarelo é semelhante à da fração silte. Esta fração apresenta goethita, sendo sua presença no solo um dos fatores responsáveis pela coloração amarelada apresentada na amostra. Também para esta fração foi observada predominância da caulinita em todos os horizontes (Figura 10). As amostras submetidas a orientação, desferrificação e orientação (Figuras 11 e 12) confirmam a predominância de ocorrência de caulinita neste solo. A amostra orientada da fração argila natural (Figura 11) apresenta um pico característico de goethita (Gt). A mesma situação é observada na amostra desferrificada e montada em lâmina escavada, apesar da realização do tratamento em questão (Figura 13). Pode ter contribuído para este fato a desferrificação insuficiente da amostra.

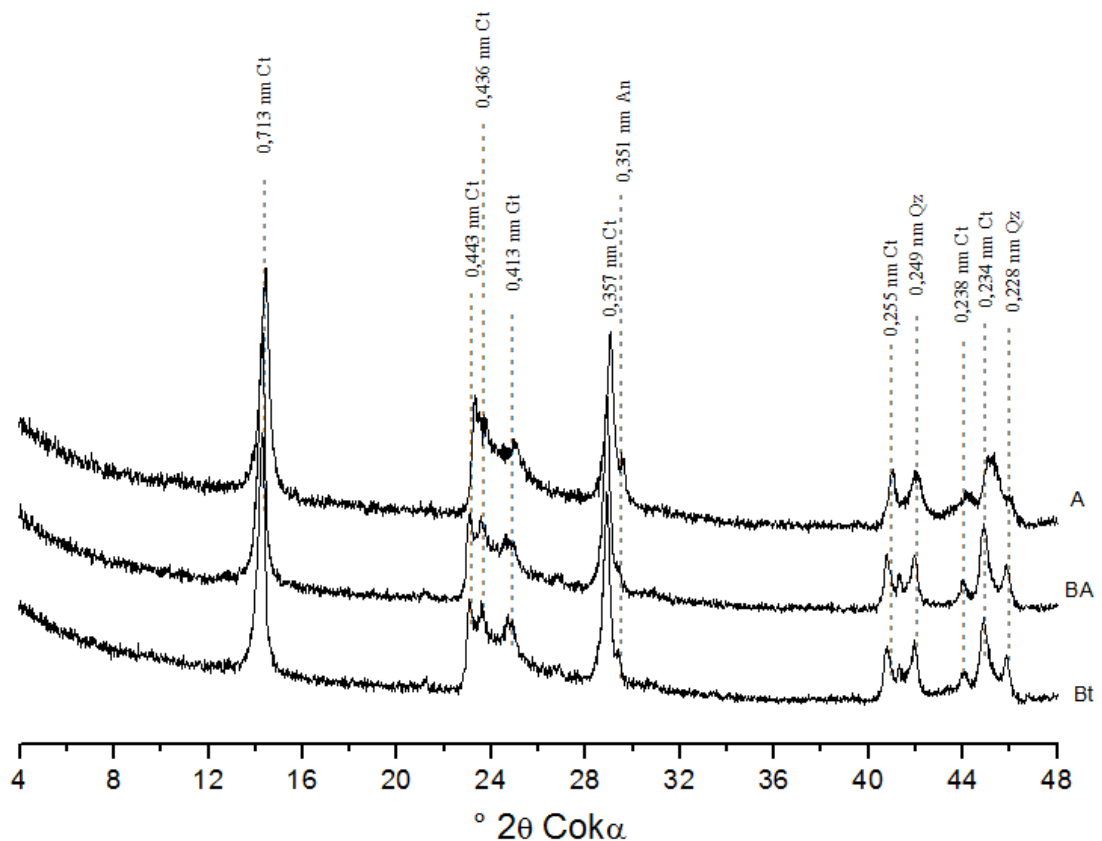


Figura 10 – Difratogramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, BA e Bt do Argissolo Amarelo, natural e sem orientação. (Ct – caulinita; Gt – goethita; An – anatásio; Qz - quartzo). Amostra em pó.

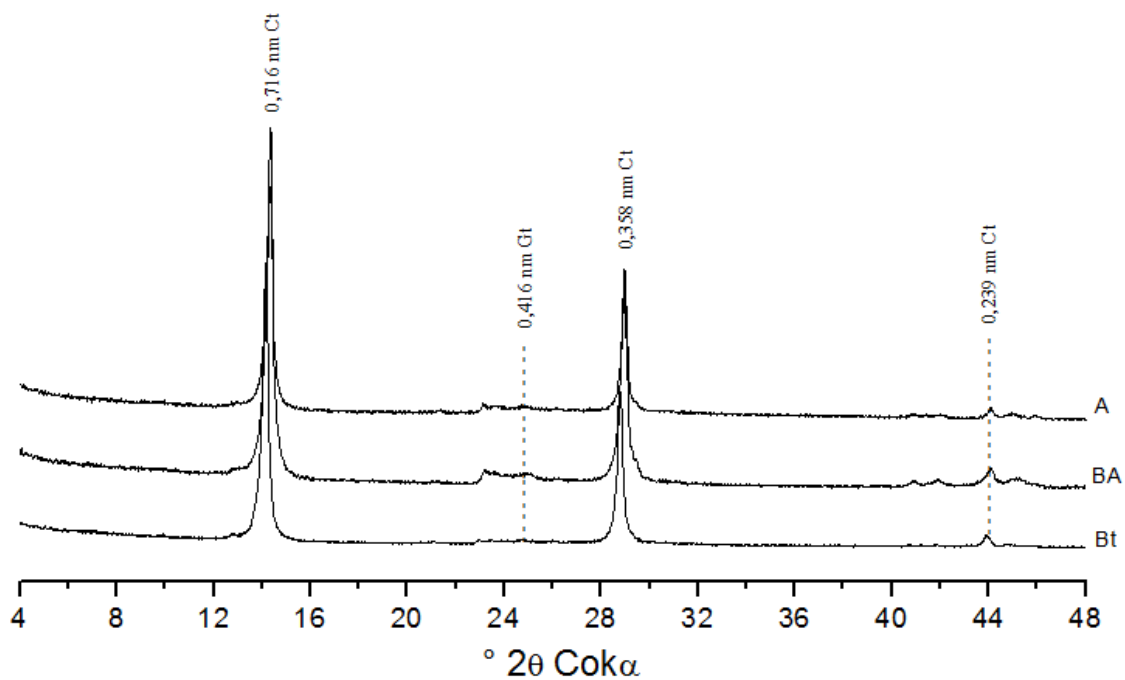


Figura 11 – Difratomogramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, BA e Bt do Argissolo Amarelo, natural e com orientação. (Ct – caulinita; Gt - goethita).

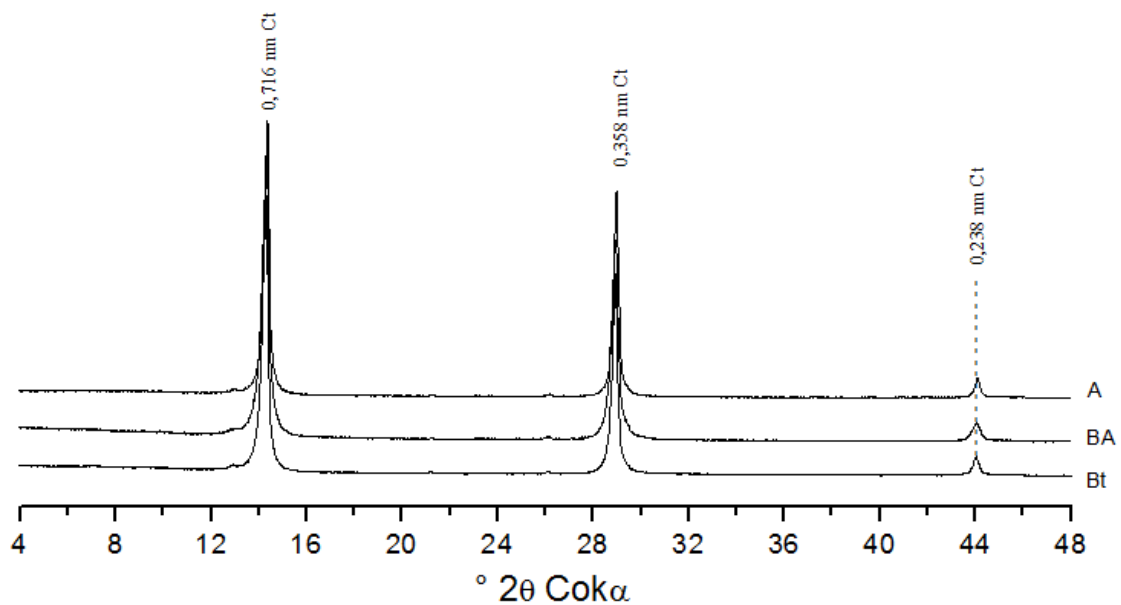


Figura 12 – Difratomogramas de raios-X da fração argila desferrificada, dos horizontes A, BA e Bt do Argissolo Amarelo, com orientação. (Ct – caulinita).

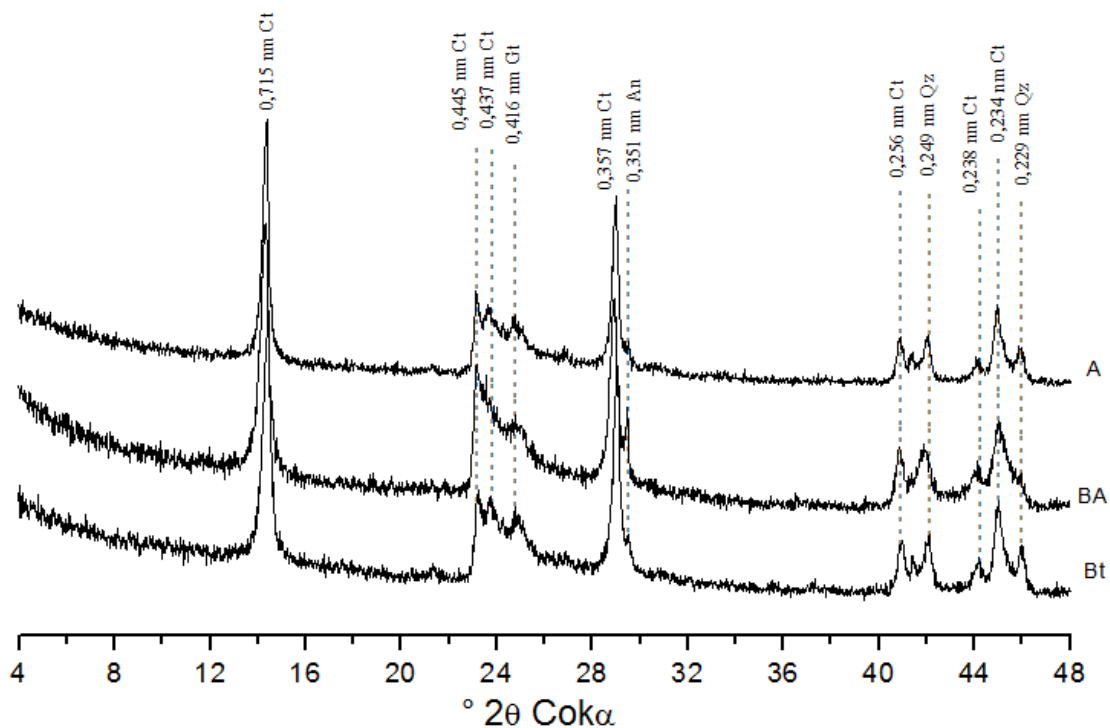


Figura 13 – Difrátogramas de raios-X da fração argila desferrificada, dos horizontes A, BA e Bt do Argissolo Amarelo, sem orientação. (Ct – caulinita; Gt – goethita; An – anatásio; Qz - quartzo). Amostra em pó.

5.3. Neossolo Quartzarênico Hidromórfico

O Neossolo Quartzarênico Hidromórfico apresenta uma fração areia com grande expressão de picos de caulinita e quartzo, conforme pode ser observado na Figura 14.

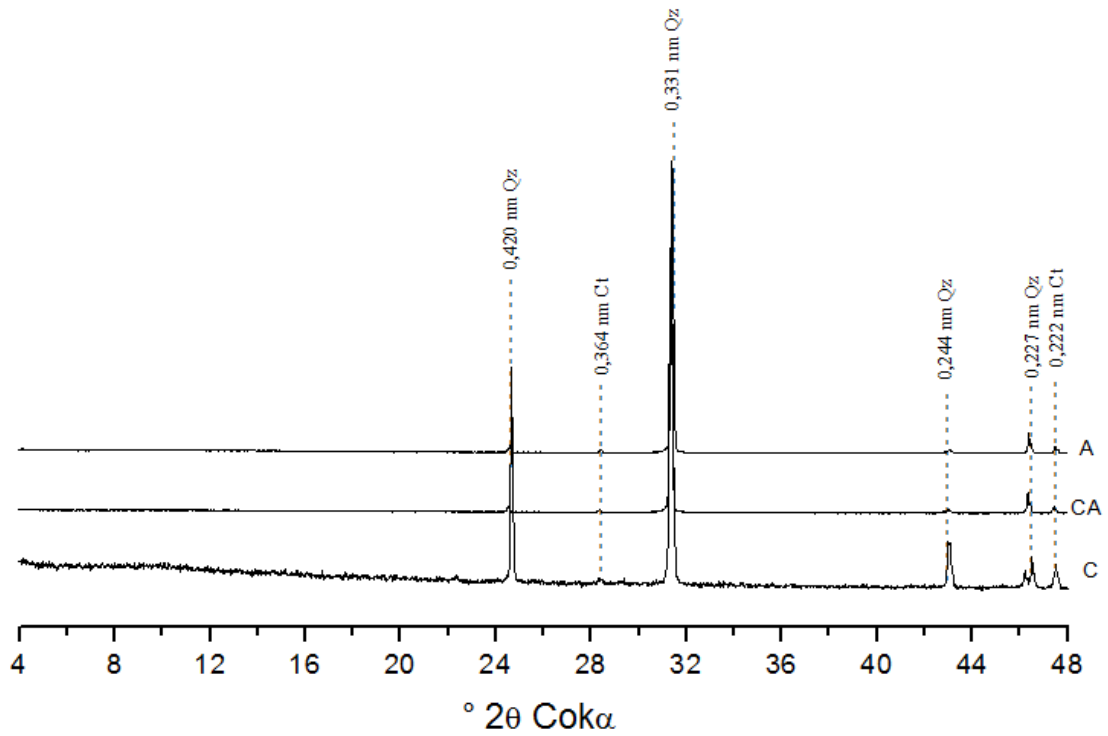


Figura 14 – Difratoformas de raios-X da fração areia, dos horizontes A, CA e C do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico. (Ct – caulinita; –Qz - quartzo). Amostra em pó.

A figura 15 mostra a predominância de caulinita na fração silte do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico estudado, com presença de clorita (Cl), ilita (Il), anatásio (An) e quartzo (Qz). Esta fração difere da areia pelo aparecimento de argilomineral do tipo 2:1 como, por exemplo, a clorita (Cl). A presença da clorita (Cl) aponta para um solo com grau de desenvolvimento mais baixo do que aqueles localizados na terra firme, onde as condições para a intemperização destes minerais seriam mais favoráveis.

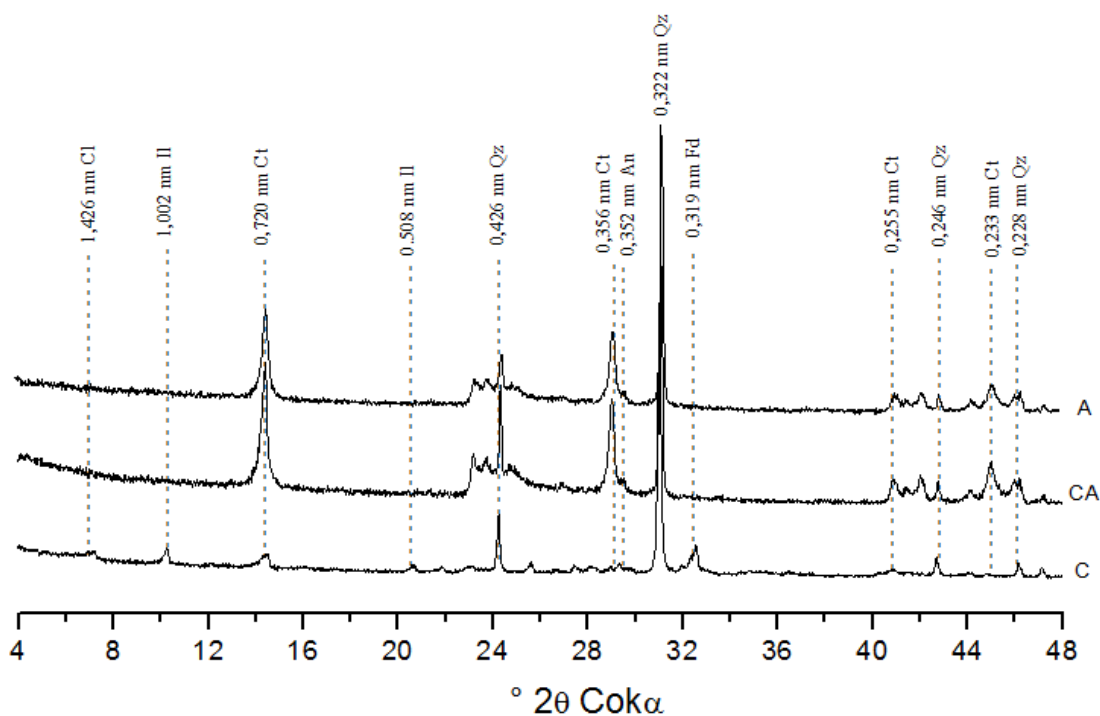


Figura 15 – Difratogramas de raios-X da fração silte, dos horizontes A, CA e C do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico. (Cl – clorita; Ct – caulinita; Il – ilita; Qz – quartzo; An – anatásio; Fd - feldspato). Amostra em pó.

A predominância caulinitica foi observada na fração argila, ocorrendo adicionalmente anatásio (Figura 16). A orientação da fração argila natural confirma a ocorrência e predominância da caulinita (Figura 17), entretanto a realização da orientação atenuou os picos dos minerais anatásio e ilita, impossibilitando a sua detecção e identificação. A realização da desferrificação sem orientação da amostra no momento da leitura em DRX possibilitou a identificação do anatásio (Figura 18).

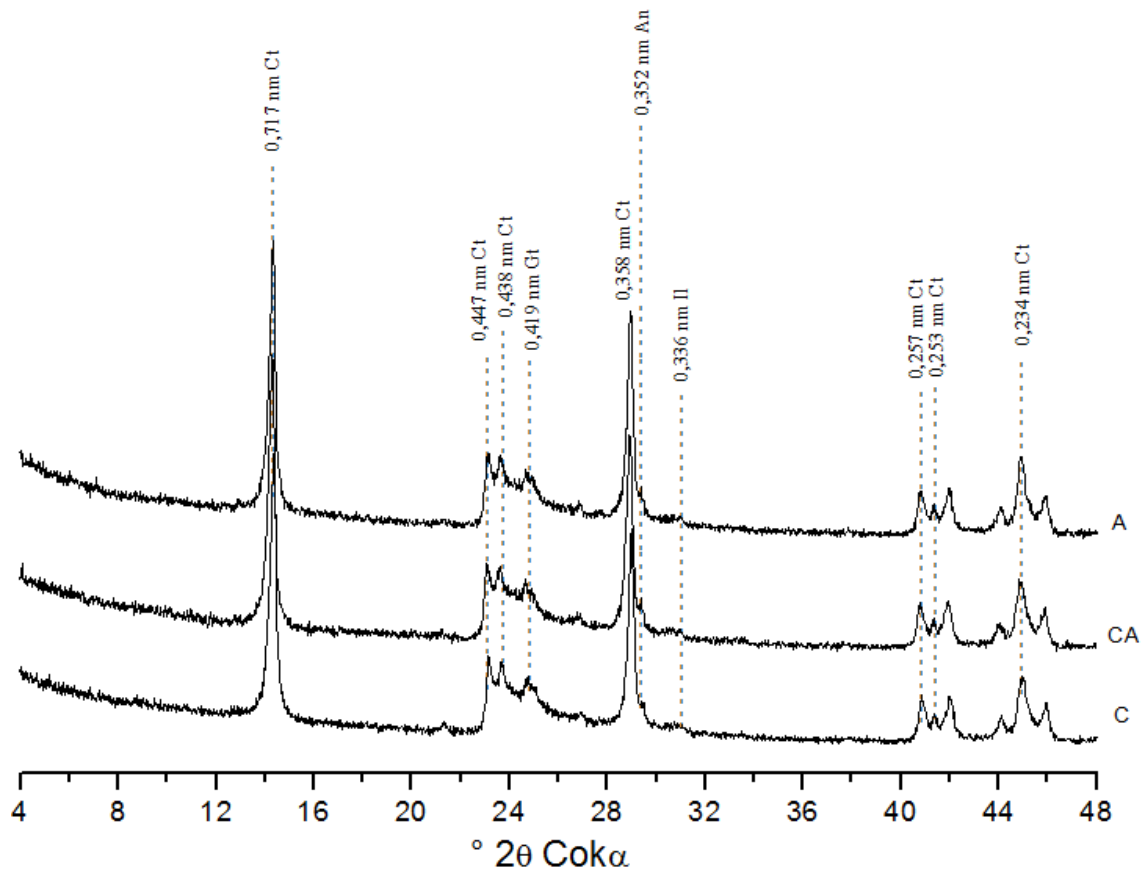


Figura 16 – Difractogramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, CA e C do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, natural e sem orientação. (Ct – caulinita; Gt – goethita; Il – ilita; An – anatásio). Amostra em pó.

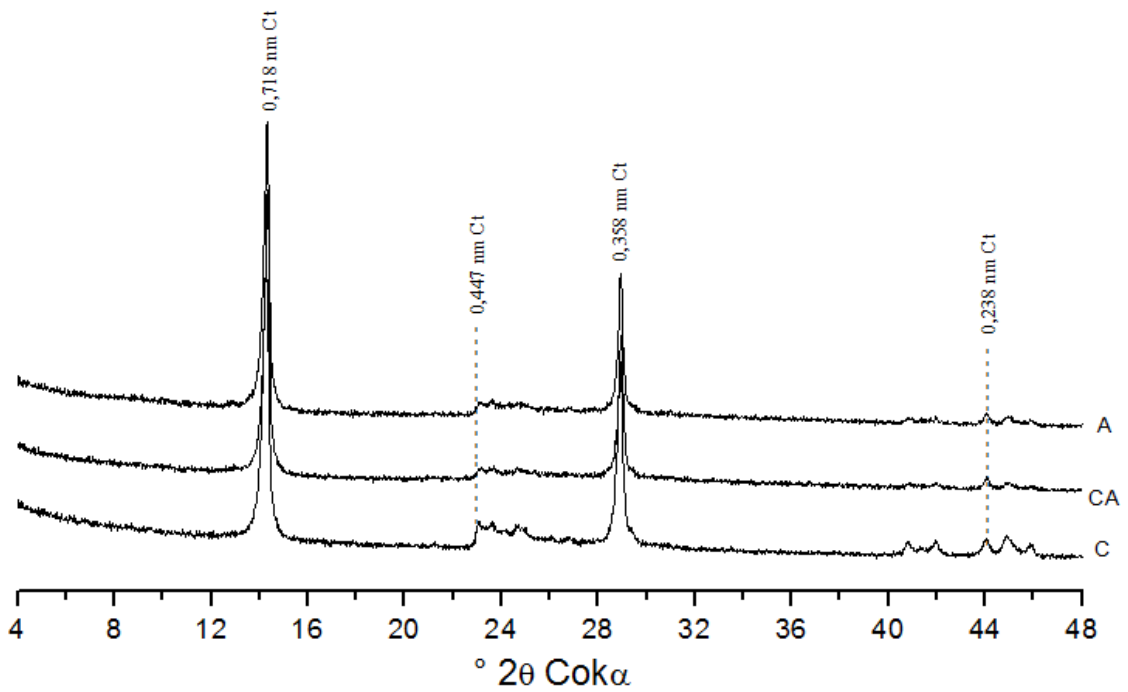


Figura 17 – Difratoogramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, CA e C do Neosolo Quartzarênico Hidromórfico, natural e com orientação. (Ct – caulinita).

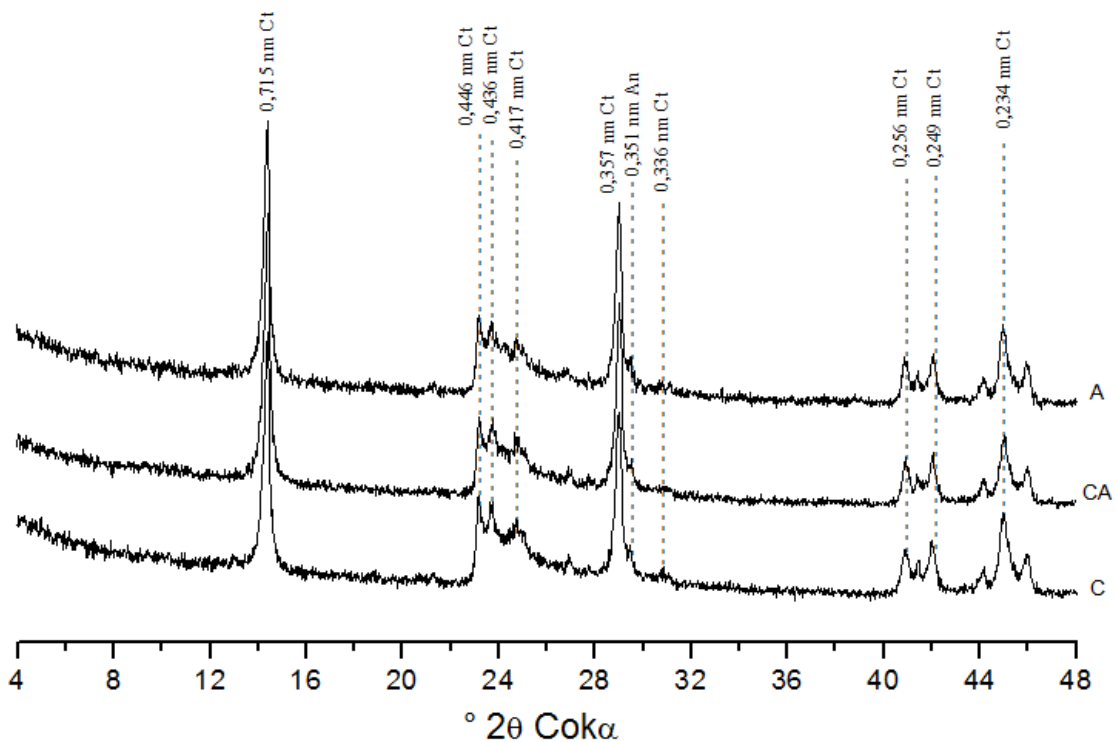


Figura 18 – Difratoogramas de raios-X da fração argila desferrificada, dos horizontes A, CA e C do Neosolo Quartzarênico Hidromórfico, sem orientação. (Ct – caulinita; An – anatásio). Amostra em pó.

5.4. Gleissolo Háplico

Os minerais observados na fração areia do Gleissolo Háplico, constituem grupos de minerais silicatados 2:1 e 1:1 (Figura 19). O registro dos diferentes minerais mostra o grau de estabilidade proporcionado nestes ambientes, com condições restritas de drenagem, favorecendo a manutenção destes minerais ainda nas frações mais grosseiras do solo. Uma outra possibilidade que explica o baixo grau de desenvolvimento deste solo é a acumulação mais recente de sedimentos, fato que contribui para esta maior diversidade de minerais. Pode-se afirmar que o quartzo (Qz) é o mineral dominante nesta fração, seguido da caulinita (Ct).

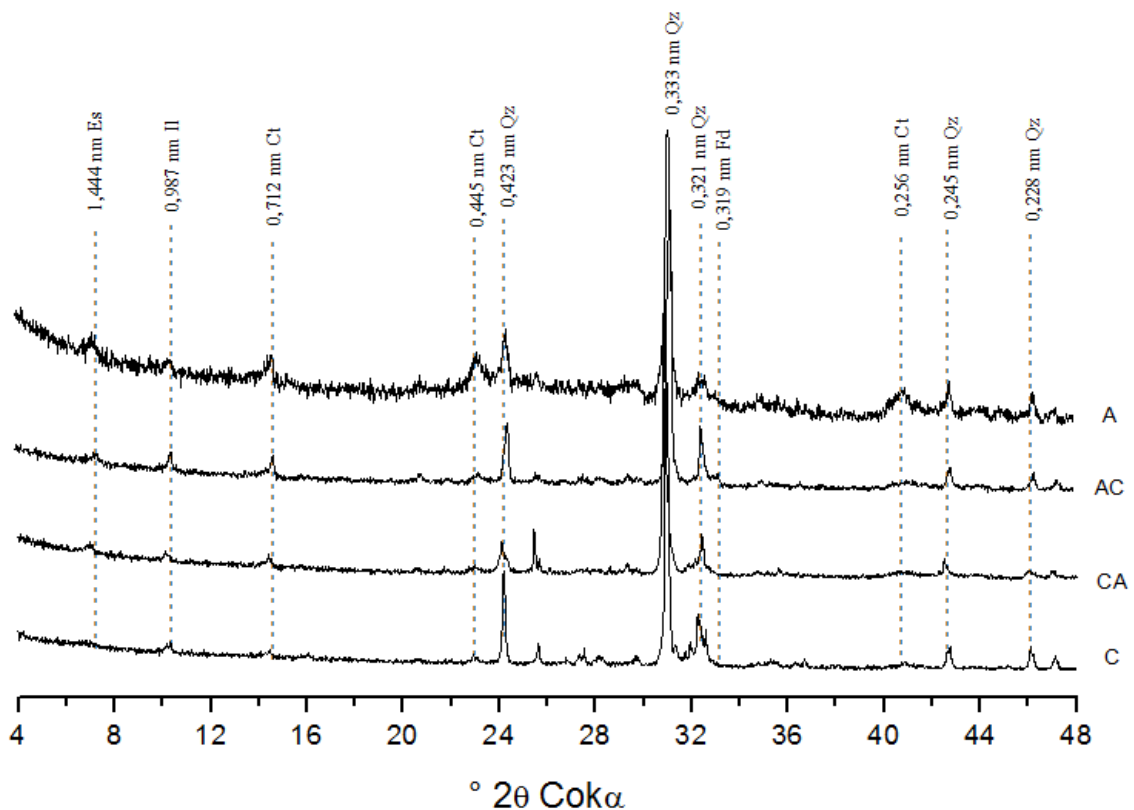


Figura 19 – Difractogramas de raios-X da fração areia, dos horizontes A, AC, CA e C do Gleissolo. (Es – esmectita; Ct – caulinita; Fd – Feldspato; Il – ilita; Qz – quartzo). Amostra em pó.

Na fração silte do Gleissolo Háplico (Figura 20) há o predomínio de quartzo (Qz), com traços de minerais 2:1, feldspato (Fd) e caulinita (Ct).

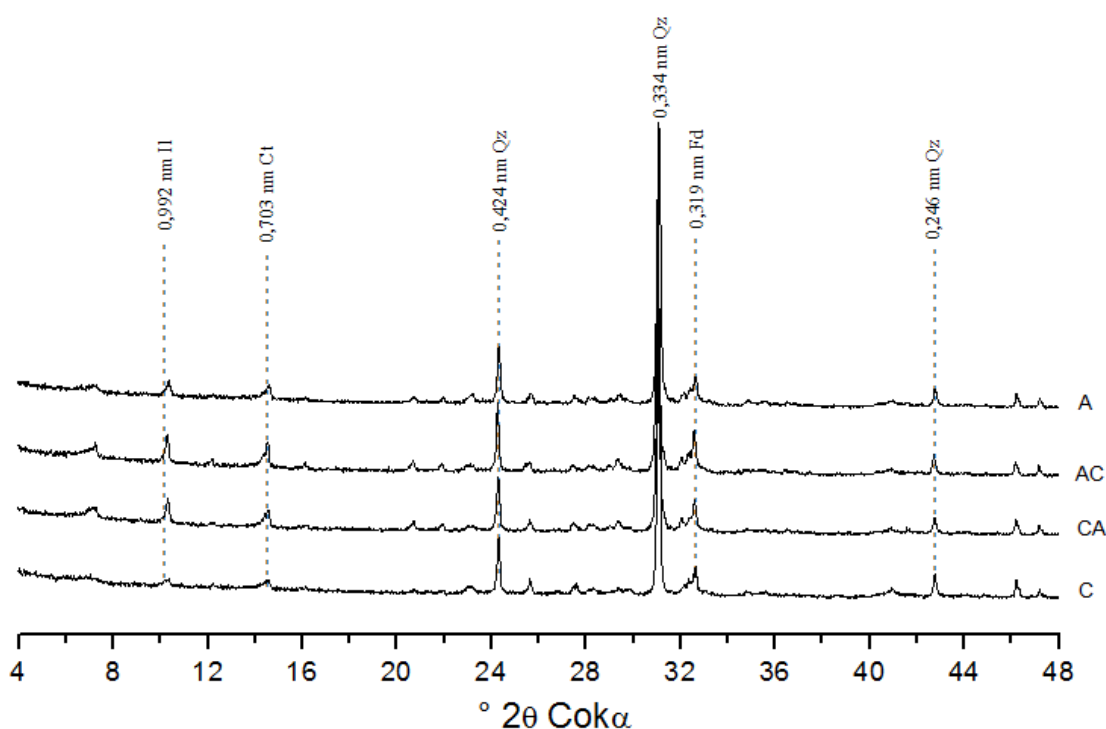


Figura 20 – Difratogramas de raios-X da fração silte, dos horizontes A, AC, CA e C do Gleissolo. (Ct – caulinita; Fd – Feldspato; Il – ilita; Qz – quartzo). Amostra em pó.

A fração argila do Gleissolo Háplico (Figura 21) sem tratamentos adicionais e orientação, registra a ocorrência de minerais 2:1, caulinita (Ct), ilita (Il) e traços de quartzo (Qz) e esmectita (Es). Faz-se necessário salientar que amostras não orientadas não são muito utilizadas em estudos que visam a determinação da composição mineralógica de solos e sedimentos, pois perde-se informações importantes a respeito da amostra. Calderano et al. (2009) ressaltam que a expressão dos reflexos no DRX para os minerais planares é favorecida pela orientação pela técnica do esfregão, pois dessa forma as partículas desses minerais ficam paralelas umas as outras, intensificando assim os picos característicos dos minerais estudados.

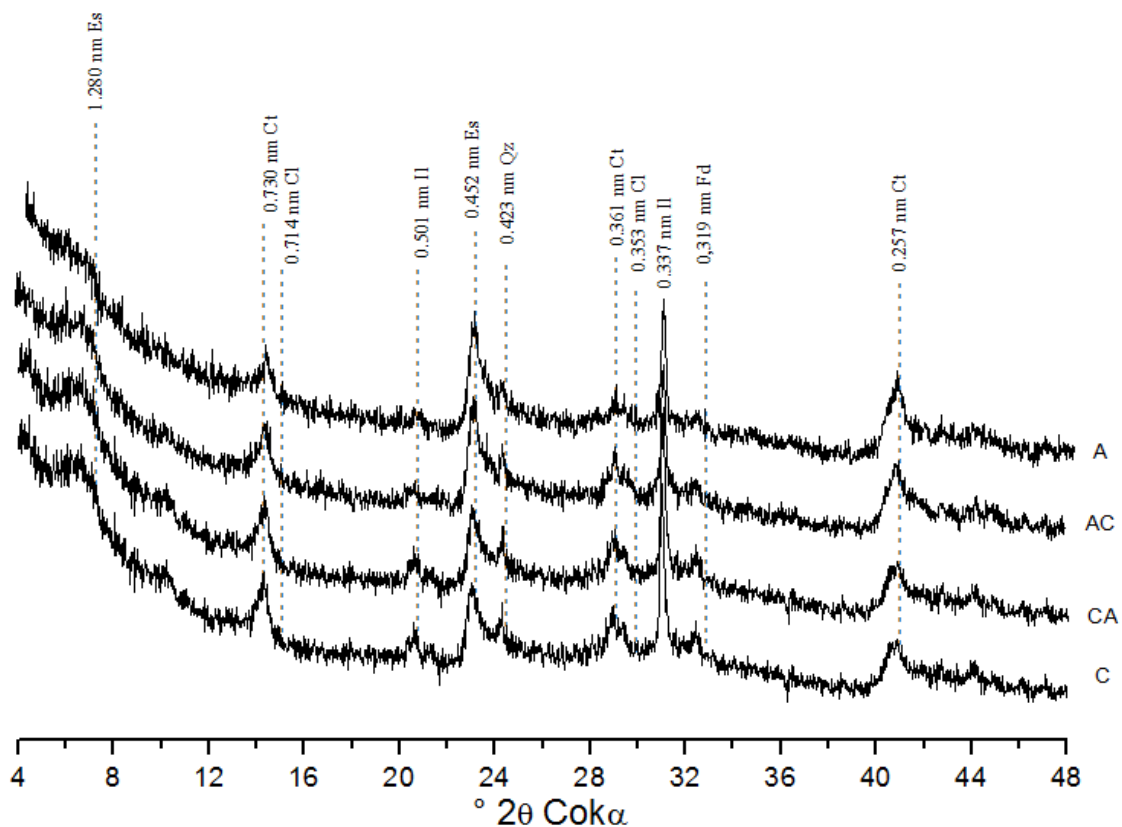


Figura 21 – Difratoformas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Gleissolo, natural e sem orientação. (Es – esmectita; Ct – caulinita; Il – ilita; Qz – quartzo; Fd - feldspato). Amostra em pó.

A realização da orientação das amostras intensificou os picos de esmectita do material, bem como, os de ilita e caulinita (Figura 22). A mesma situação é observada quando da realização da desferrificação e orientação da amostra (Figura 23).

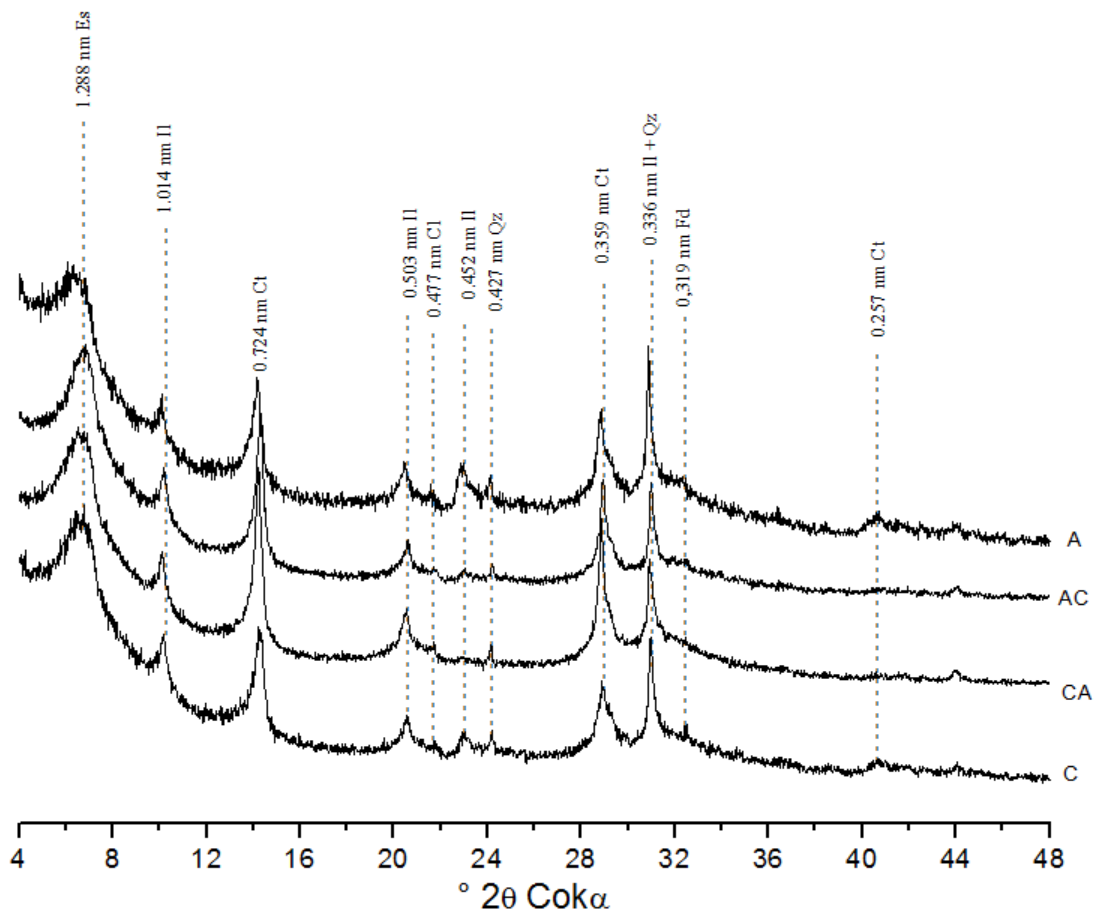


Figura 22 – Difratoqramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Gleissolo, natural e com orientação. (Es – esmeclita; Ct – caulinita; Il – iilita; Cl – clorita; Qz – quartzo; Fd - feldspato).

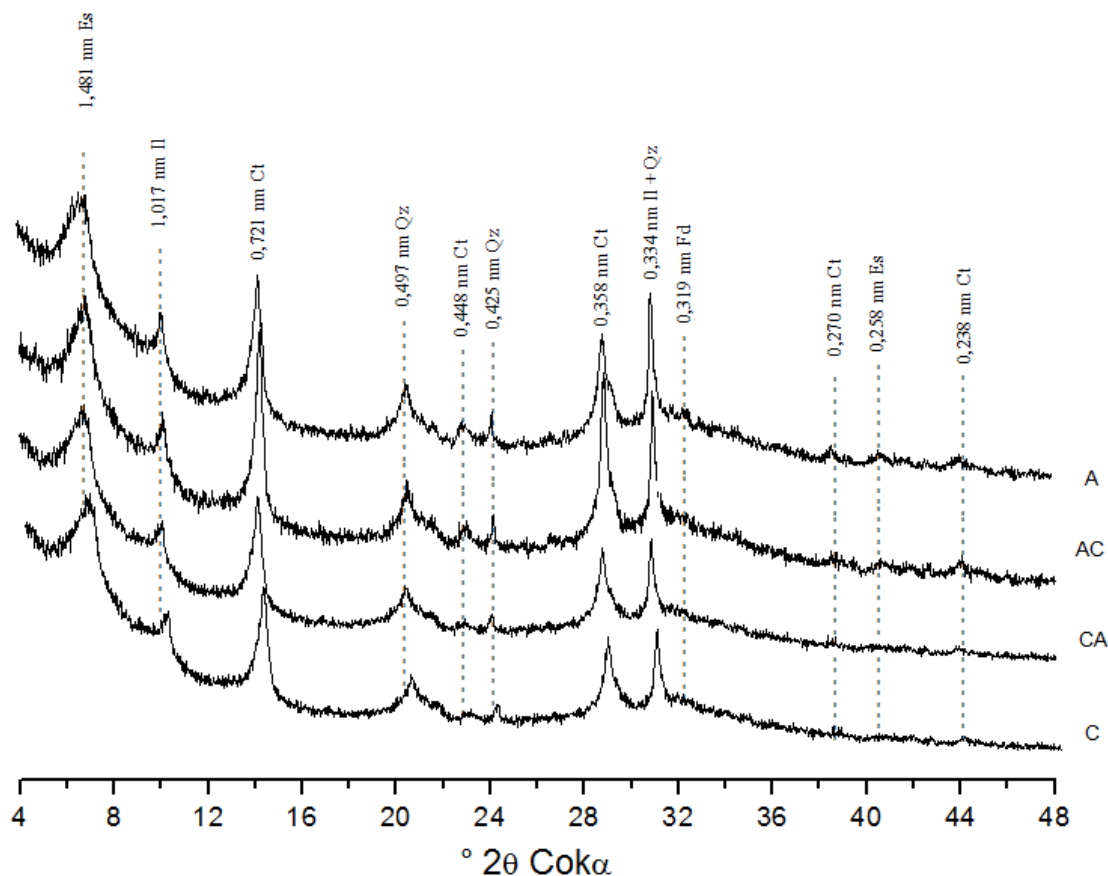


Figura 23 – Difratoogramas de raios-X da fração argila desferrificada, dos horizontes A, AC, CA e C do Gleissolo, com orientação. (Es – esmectita; Il – ilita; Ct – caulinita; Qz – quartzo; Cl – clorita; Fd - feldspato).

Os tratamentos realizados na fração argila do Gleissolo, a saber: saturação com potássio e posterior aquecimento à 350 e 550 °C, saturação com magnésio e solvatação com glicerol realçaram os picos de ilita e esmectita (Figuras 24 a 28), possibilitando, desta maneira, a distinção dos diferentes argilominerais 2:1 presentes na amostra.

A saturação com potássio proporcionou o aparecimento de um dubleto relativamente largo onde foi possível diferenciar e identificar os picos de minerais 2:1 (Figura 24). Já a saturação com potássio e posterior aquecimento a 350 °C (Figura 25), praticamente não adicionou informação ao tratamento anterior, devido a não ocorrência de gibbsita na amostra.

O aquecimento a 550 °C (K 550 °C), apresentado na Figura 26, permite observar que parte do pico se desloca para aproximadamente 1,0 nm representando a ilita, mas parte deste mesmo pico não volta e permanece em aproximadamente 1,4 nm, o que caracteriza a clorita. Na Figura 27, pode-se observar nitidamente o pico da esmectita (1,623 nm) separado do pico

da clorita (1,471 nm). Situação semelhante é observada quando da saturação com magnésio e solvatação com glicerol, neste caso a clorita fica em 1,4 nm e a esmectita vai a 1,8 nm (Figura 28). Também neste caso há a perfeita distinção do pico da ilita em aproximadamente 1,0 nm.

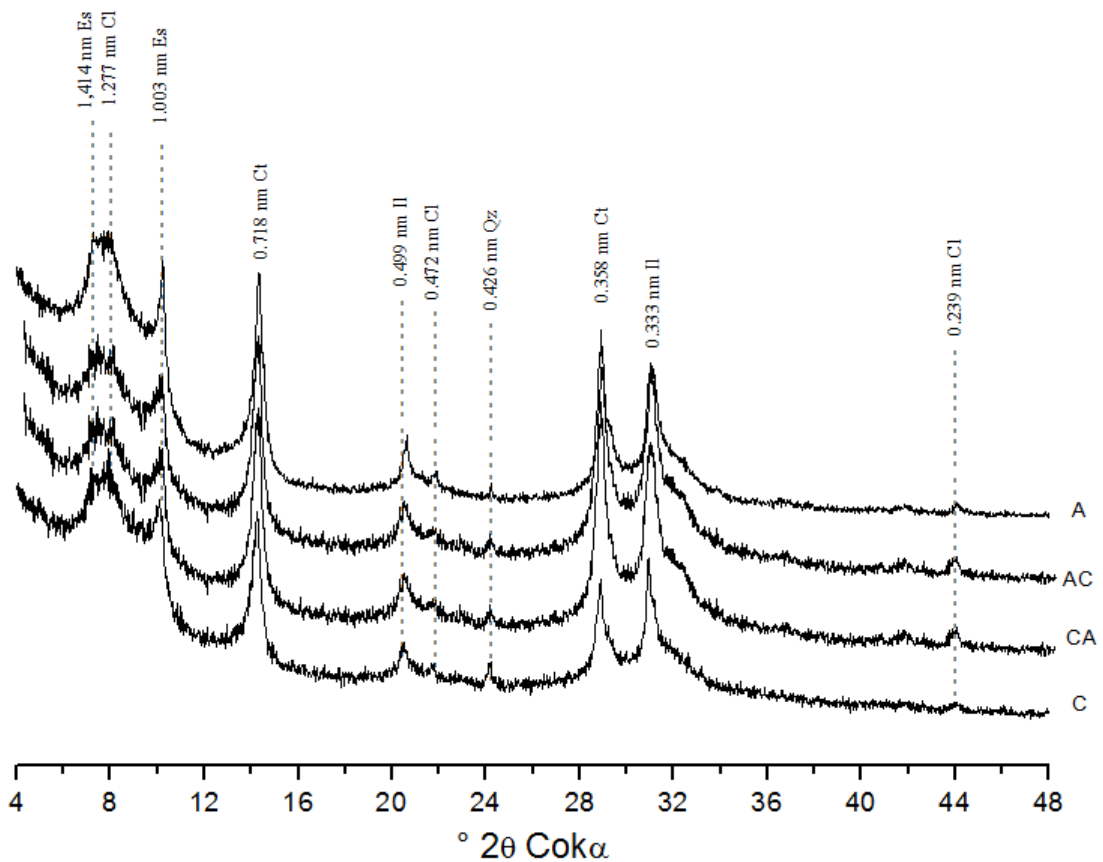


Figura 24 – Difratomogramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Gleissolo, submetida ao tratamento: saturação com potássio (K). (Es – esmectita; Cl – clorita; Ct – caulinita; Il – ilita; Qz – quartzo).

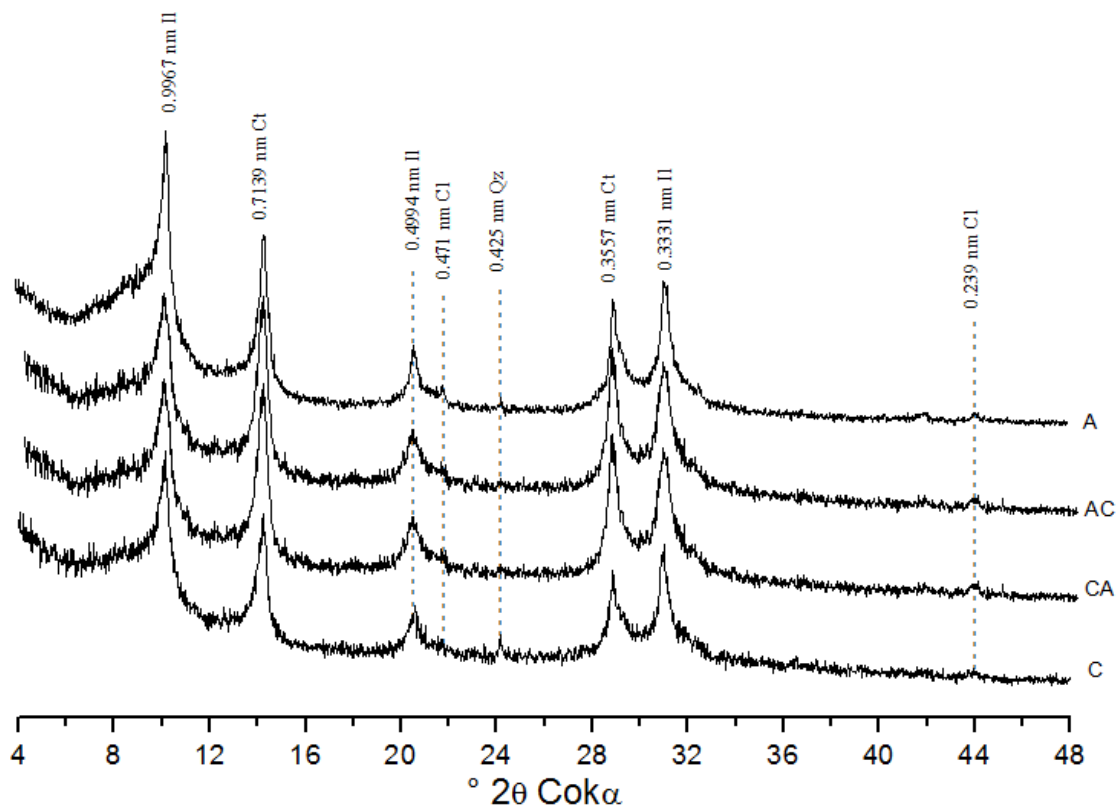


Figura 25 – Difratomogramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Gleissolo, submetida ao tratamento: saturação com potássio e aquecida à 350 °C (K 350 °C). (Il – illita; Ct – caulinite; Cl – clorita; Qz – quartzo).

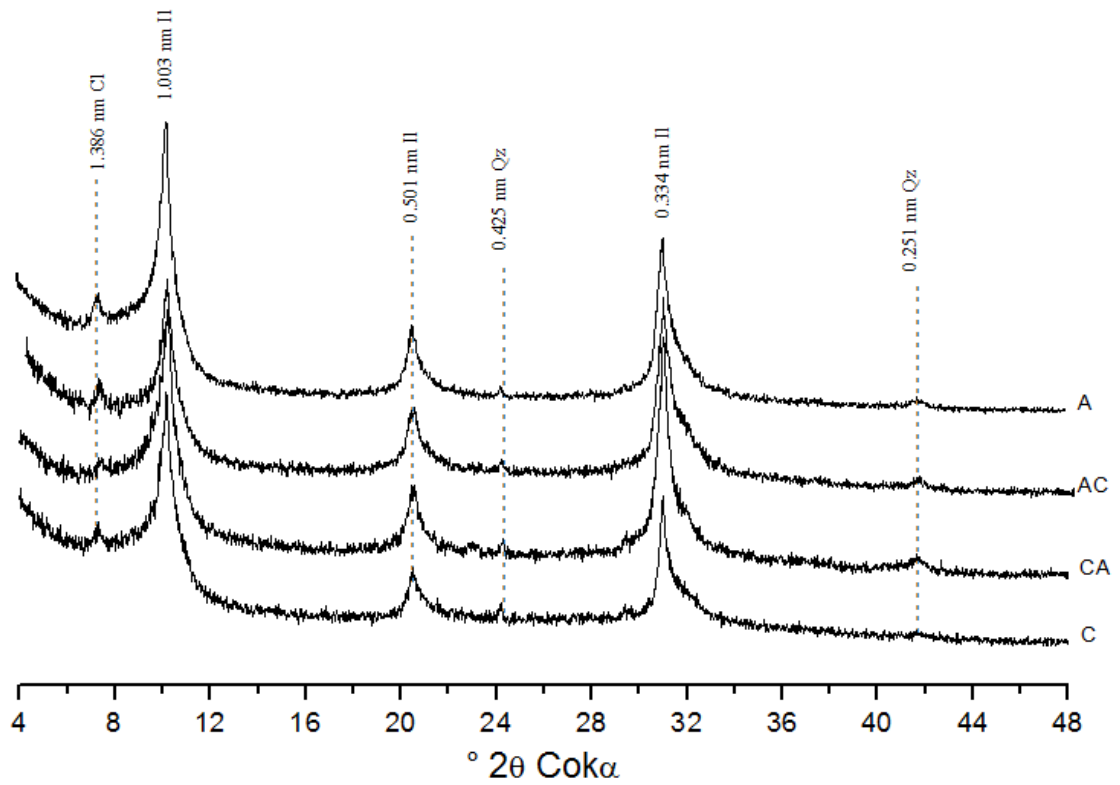


Figura 26 – Difratoogramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Gleissolo, submetida ao tratamento: saturação com potássio e aquecida à 550 °C (K 550 °C). (Cl - clorita; Il – iilita; Qz – quartzo).

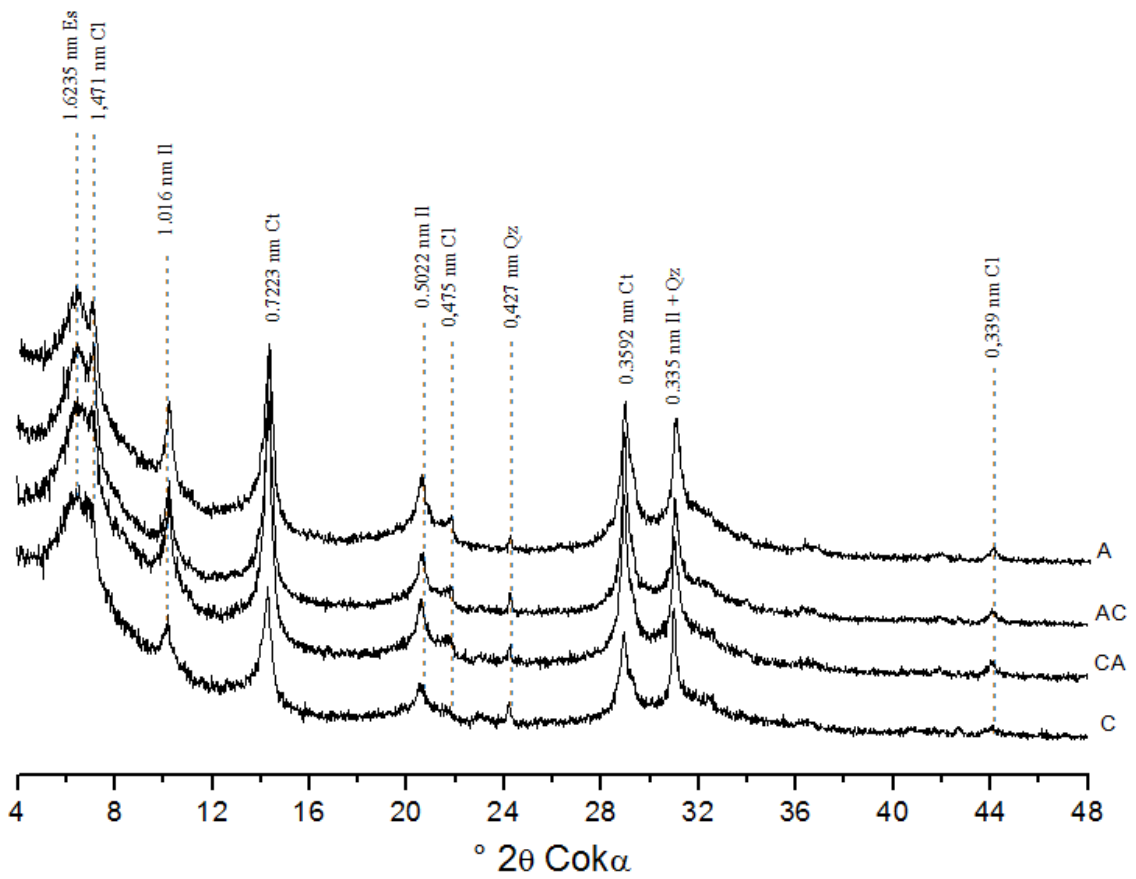


Figura 27 – Difratoformas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Gleissolo, submetida ao tratamento: saturação com magnésio (Mg). (Es – esmectita; Ct – caulinita; Cl – clorita; Il – ilita; Qz – quartzo).

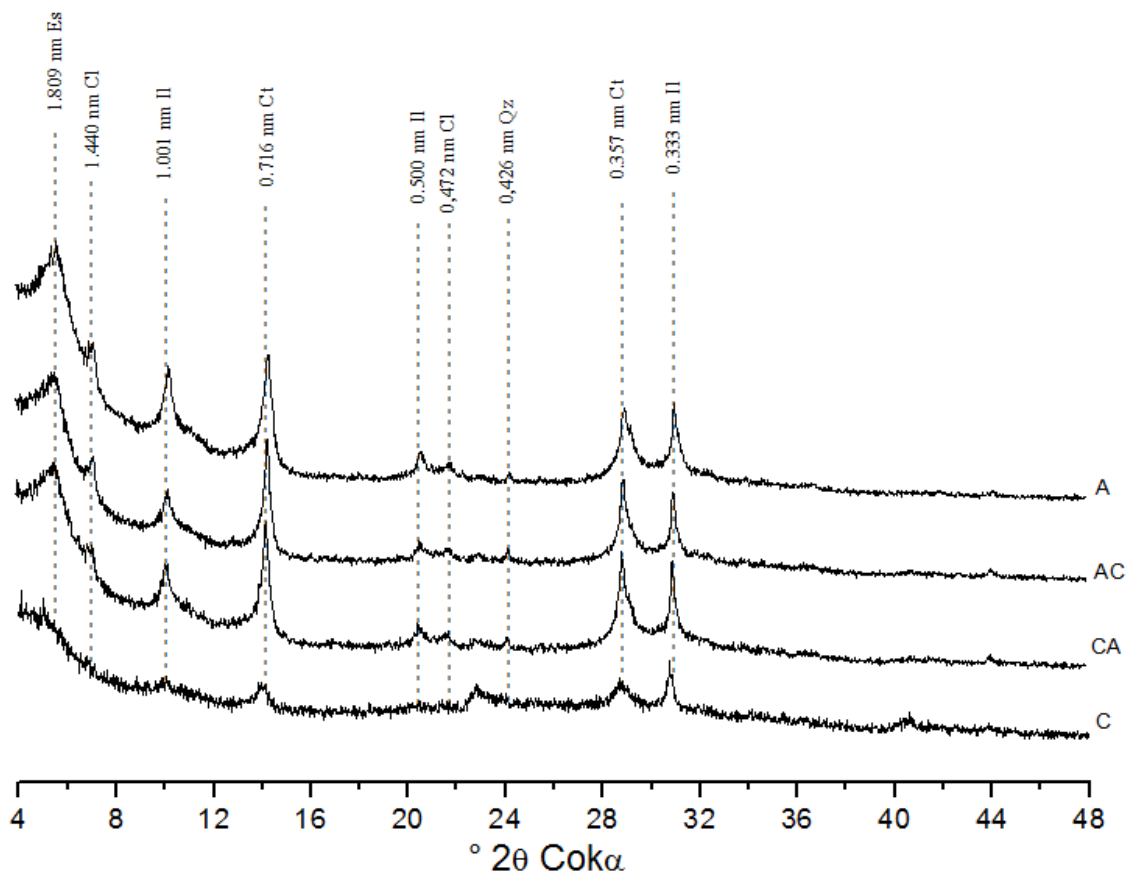


Figura 28 – Difratomogramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Gleissolo, submetida ao tratamento: saturação com magnésio e glicerol (Mg + Glicerol), com orientação. (Es – esmectita; Cl – clorita; Ct – caulinita; Il – ilita; Qz – quartzo).

5.5. Neossolo Flúvico

O Neossolo Flúvico estudado, em sua fração areia, também apresenta minerais 2:1, a exemplo do Gleissolo, a esmectita (Figura 29). Além deste mineral, a fração apresenta feldspato, quartzo e mica (Mc + Qz em 0,333 nm).

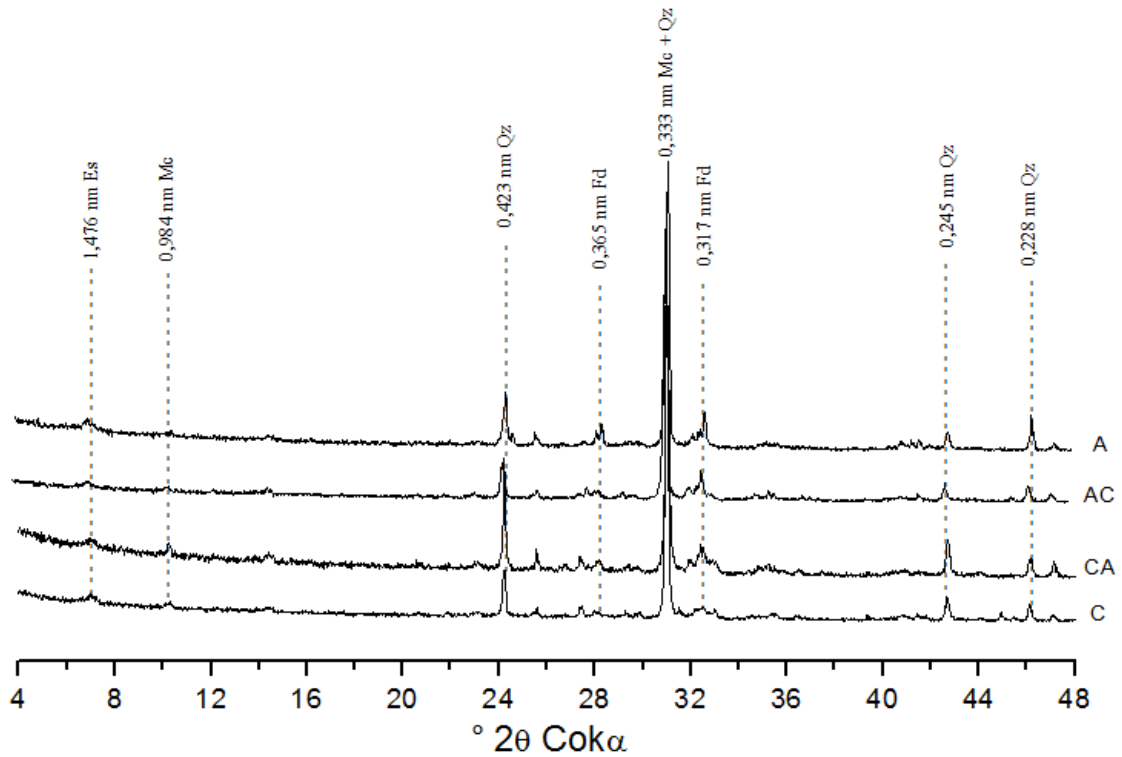


Figura 29 – Difratogramas de raios-X da fração areia, dos horizontes A, AC, CA e C do Neossolo Flúvico. (Es – esmectita; Mc – Mica; Fd – Feldspato; Qz – quartzo).

A composição mineralógica da fração silte, apresentada na Figura 30, aponta a predominância do quartzo, com registro de picos de esmectita, mica e quartzo, caulinita e feldspato.

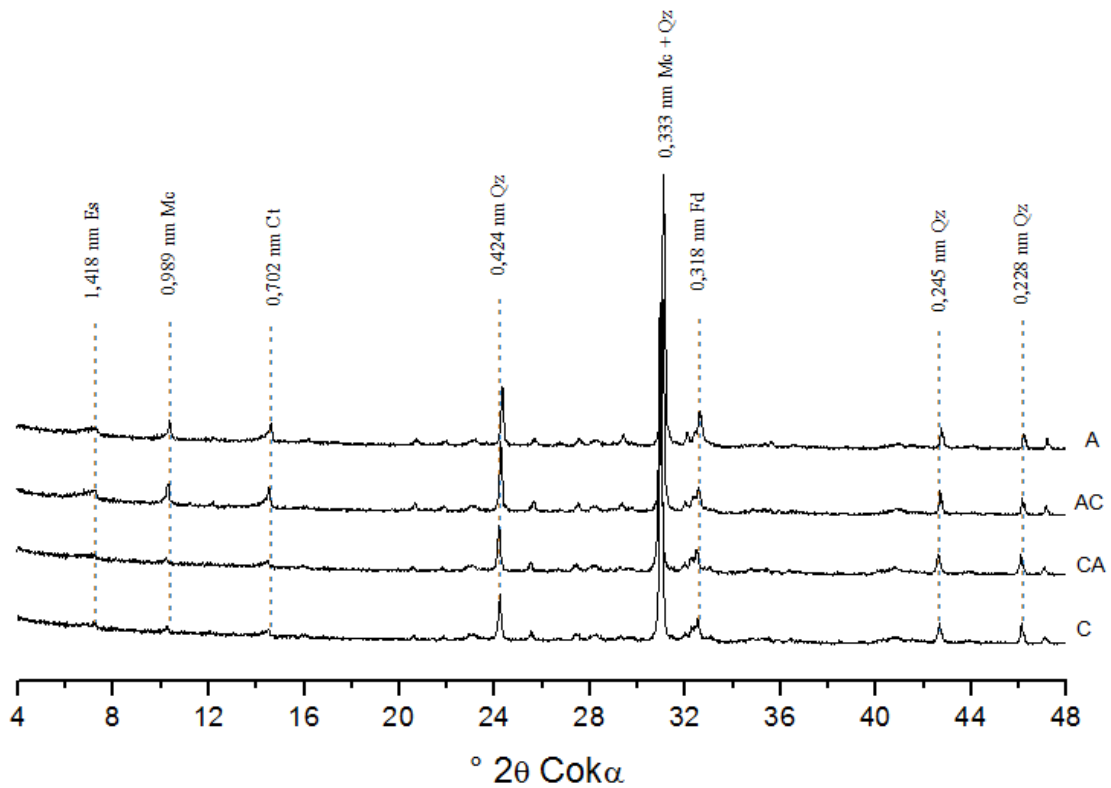


Figura 30 – Difratogramas de raios-X da fração silte, dos horizontes A, AC, CA e C do Neossolo Flúvico. (Es – esmectita; Mc – mica; Ct – caulinita; Fd – Feldspato; Qz – quartzo).

A fração argila dos horizontes do Neossolo Flúvico apresenta picos de esmectita, clorita, illita, quartzo e caulinita, com destaque para este último mineral (Figura 31). Quando da realização da orientação desta amostra persistiram os mesmos picos, com exceção da esmectita que não foi detectado (Figura 32). Os demais tratamentos apresentados nas Figuras 33 a 37, a exemplo do que ocorreu no Gleissolo estudado, permitiram a correta separação e identificação dos minerais 2:1 presentes na amostra, confirmando desta forma a ocorrência dos minerais supracitados, com destaque para a esmectita e clorita.

A saturação com potássio proporcionou o aparecimento de um dubleto relativamente largo onde foi possível diferenciar e identificar os picos de minerais 2:1 (Figura 33). O aquecimento a 550 °C (K 550 °C), apresentado na Figura 35, permite observar que parte do pico volta a 1,03 nm representando a illita, mas parte deste mesmo pico não volta e permanece em 1,42 nm, o que caracteriza a clorita. Os demais tratamentos repetiram o comportamento observado para o Gleissolo, onde foi possível diferenciar os minerais 2:1 presentes na amostra.

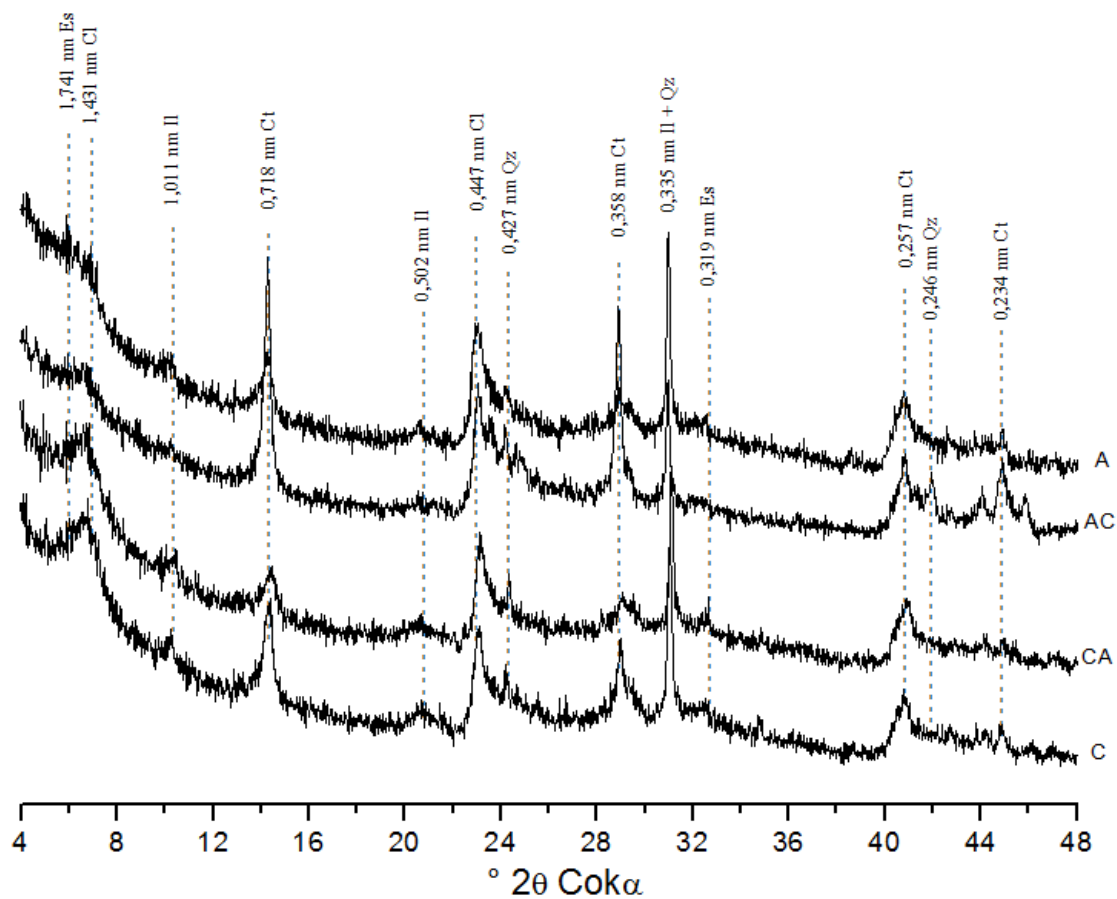


Figura 31 – Difratoqramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Neossolo Flúvico, natural e sem orientação. (Es – esmectita; Cl – clorita; Ct – caulinita; Il – ilita; Qz – quartzo).

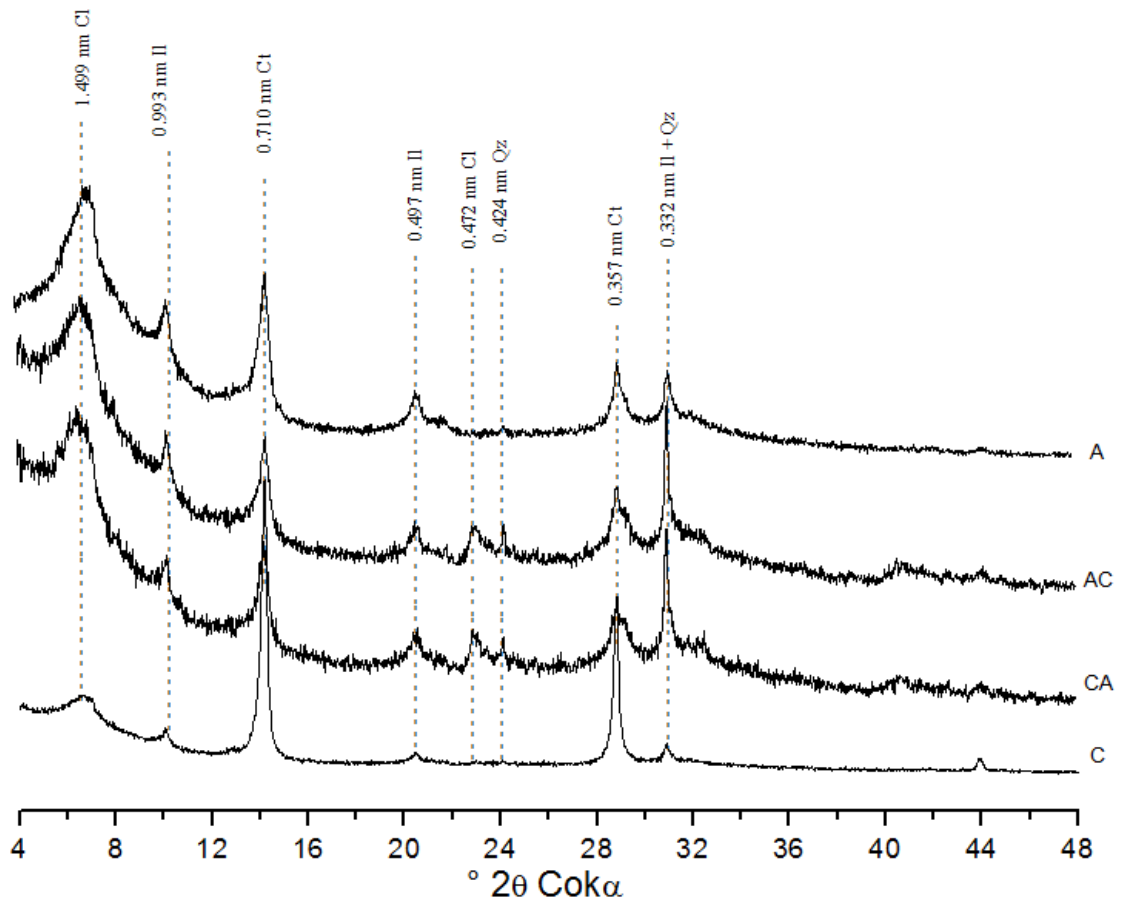


Figura 32 – Difratoformas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Neossolo Flúvico, natural e com orientação. (Cl – clorita; Il - Ilita; Ct – caulinita; Qz – quartzo).

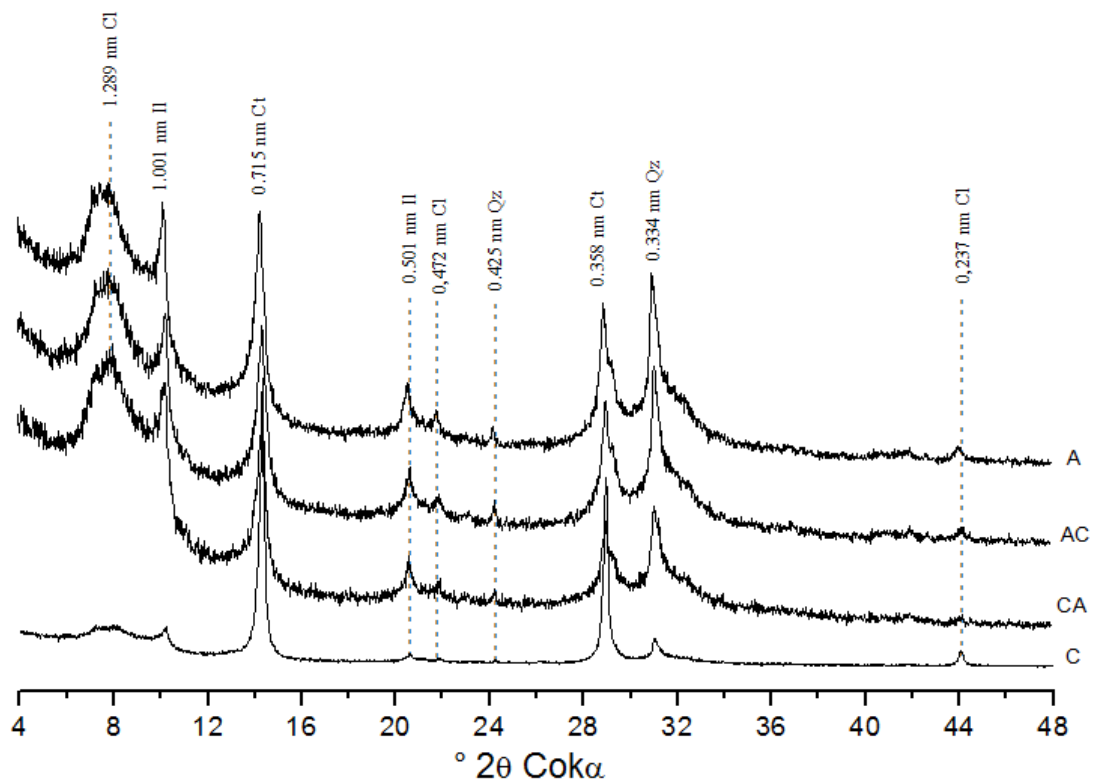


Figura 33 – Difratogramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Neossolo Flúvico, submetida ao tratamento: saturação com potássio (K). (Cl – clorita; Ct – caulinita; Il – ilita; Qz – quartzo).

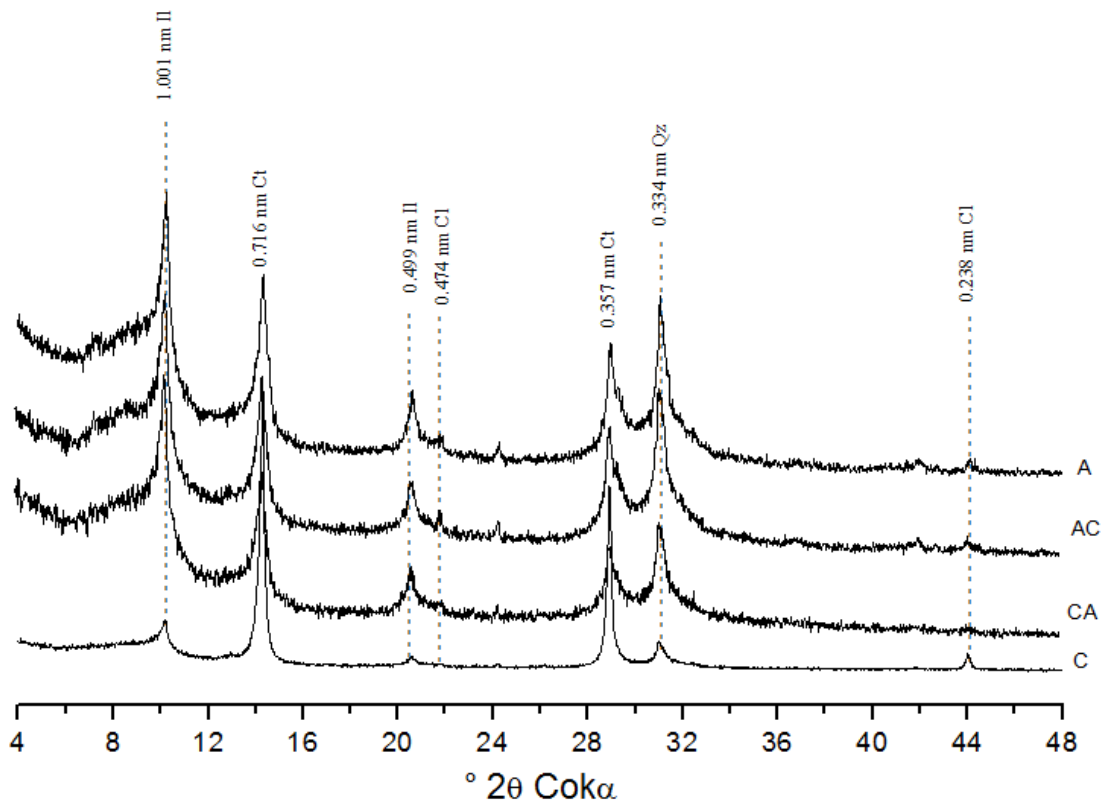


Figura 34 – Difratoqramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Neossolo Flúvico, submetida ao tratamento: saturação com potássio e aquecimento à 350 °C (K 350 °C). (Cl – clorita; Ct – caulinita; Il – ilita; Qz – quartzo).

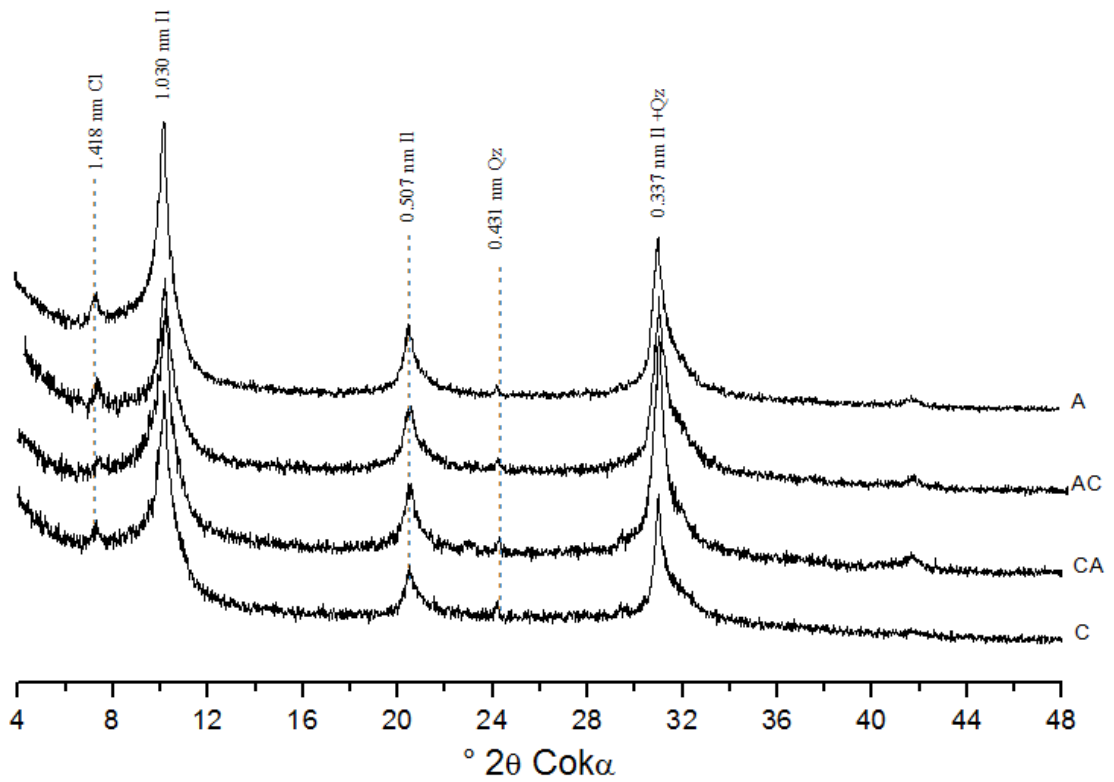


Figura 35 – Difratomogramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Neossolo Flúvico, submetida ao tratamento: saturação com potássio e aquecimento à 550 °C (K 550 °C). (Cl – clorita; Il – ilita; Qz – quartzo).

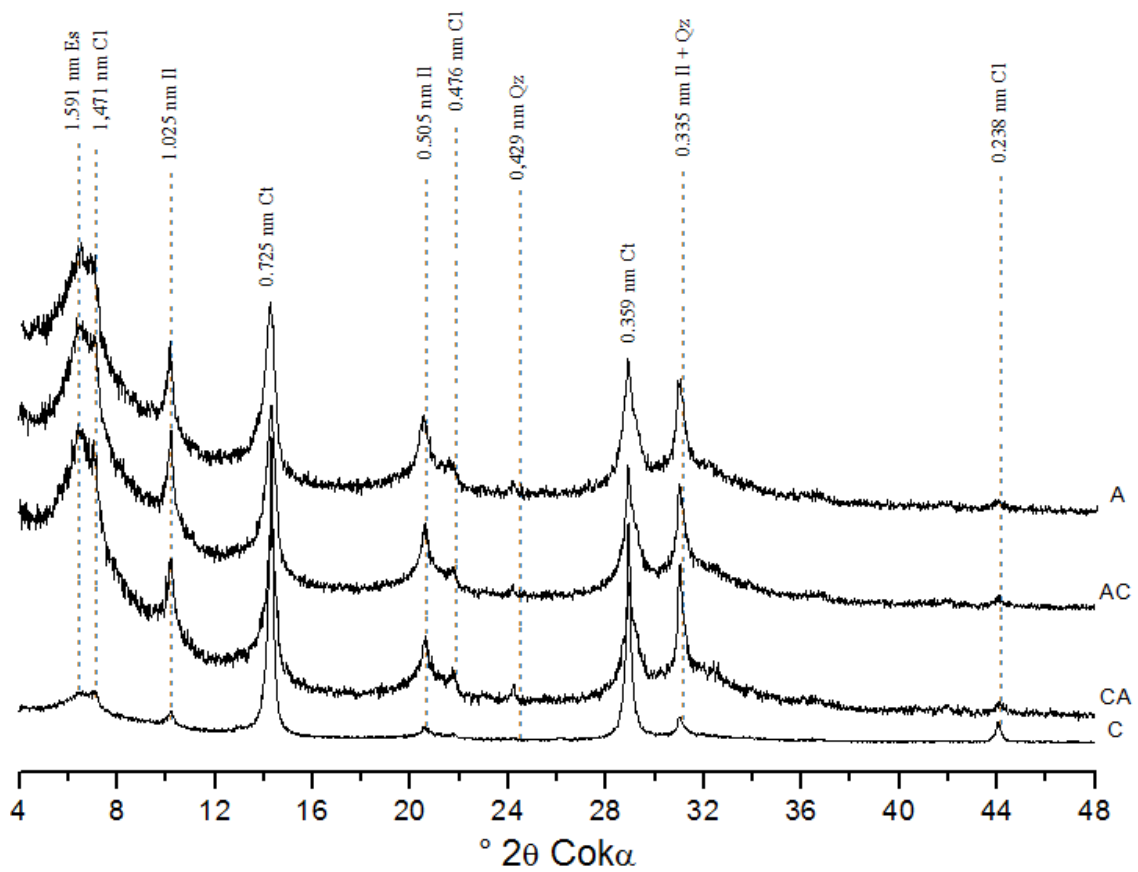


Figura 36 – Difratoformas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Neossolo Flúvico, submetida ao tratamento: saturação com magnésio (Mg). (Es – esmectita; Cl – clorita; Ct – caulinita; Il – ilita; Qz – quartzo).

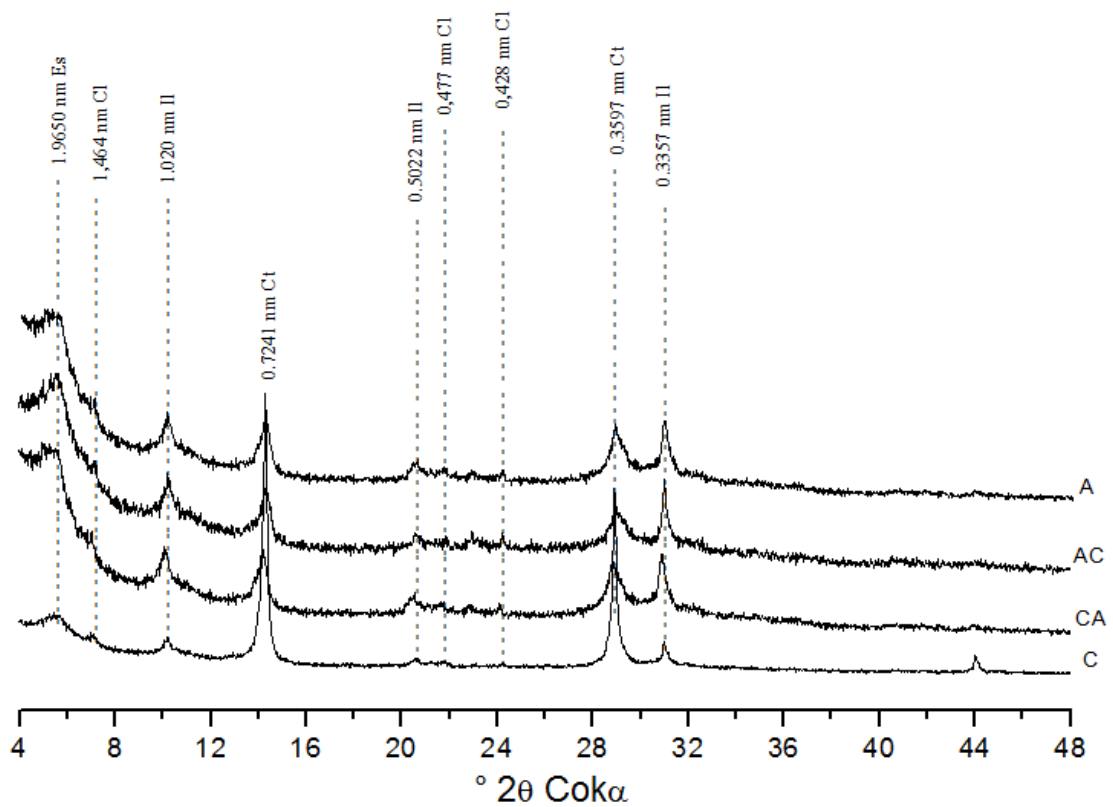


Figura 37 – Difratoformas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC, CA e C do Neossolo Flúvico, submetida ao tratamento: saturação com magnésio e glicerol (Mg + Glicerol). (Es – esmectita; Cl – clorita; Ct – caulinita; Il – ilita).

5.6. Terra Preta de Índio

Para este estudo não foram identificados diferenças marcantes no que tange a composição mineralógica da Terra Preta de Índio em seus diferentes horizontes, fato que corrobora com o exposto por Macedo (2009), que também não identificou diferenças nas propriedades mineralógicas entre os horizontes dos solos estudados, o que para este autor, reforçou a hipótese destes solos serem originados do mesmo material de origem. A fração areia da Terra Preta de Índio estudada apresenta predominância de quartzo em todos os horizontes (Figura 38). Silva et al. (2012) e Campos et al. (2011) identificaram em perfil de solo com TPI os seguintes minerais: quartzo, caulinita, goethita, hematita, anatásio, feldspato e illita, o que equivale a mineralogia encontrada neste estudo para as diferentes frações estudadas.

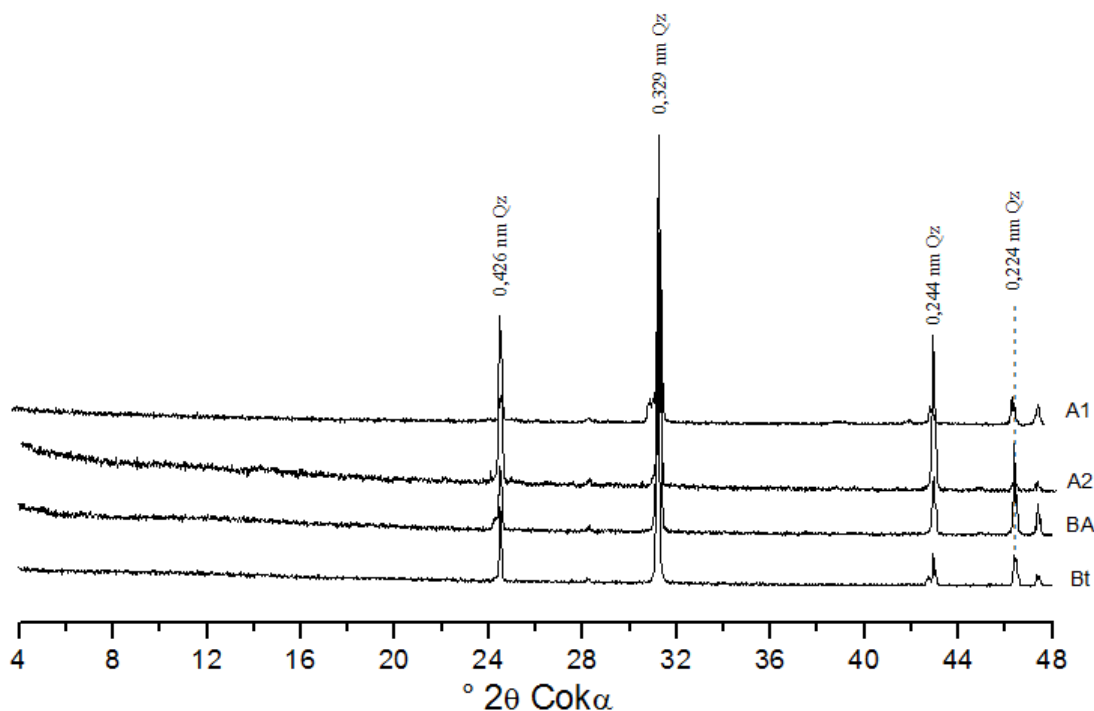


Figura 38 – Difratoogramas de raios-X da fração areia, dos horizontes A1, A2, BA e Bt da Terra Preta de Índio. (Qz – quartzo). Amostra em pó.

A fração silte apresenta predominância caulinitica (Ct), presença de quartzo (Qz) e traços de anatásio (An) e feldspato (Fd) (Figura 39).

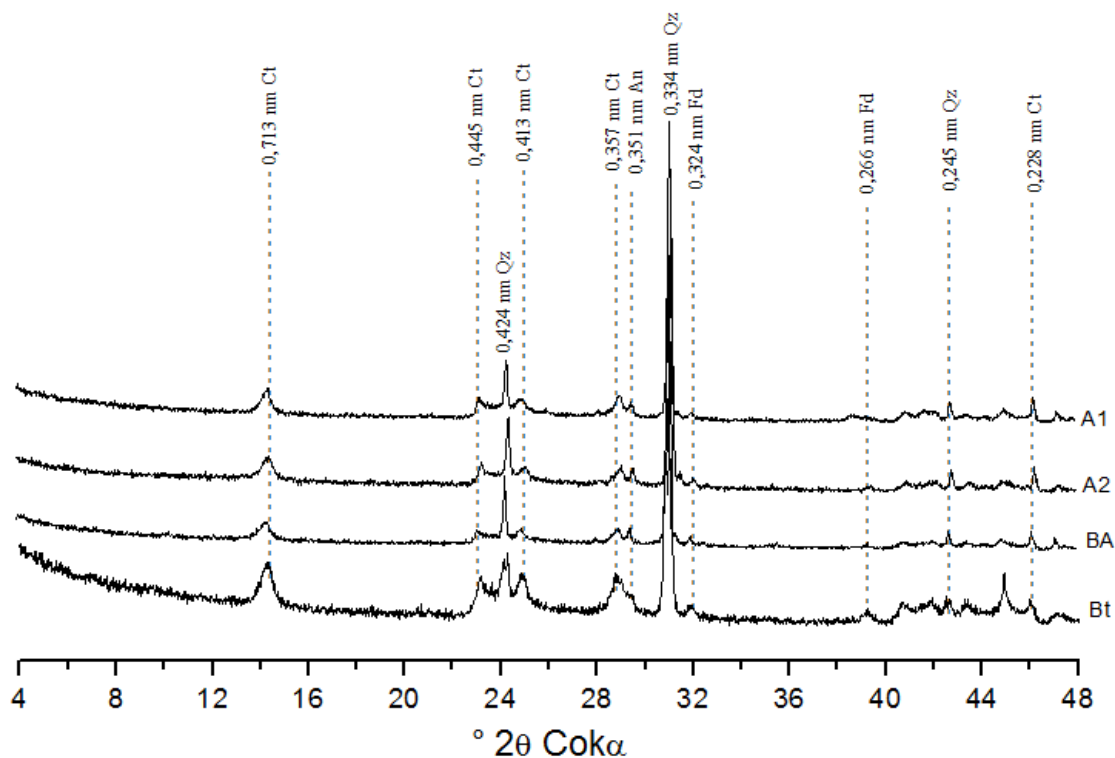


Figura 39 – Difratoqramas de raios-X da fração silte, dos horizontes A1, A2, BA e Bt da Terra Preta de Índio. (Ct – caulinita; Qz – quartzo; An – anatásio; Fd - Feldspato).

A fração argila submetida ao DRX sem orientação apresenta os seguintes minerais: caulinita, feldspato, goethita e anatásio, sendo a caulinita o mineral mais abundante (Figura 40). A realização da orientação da amostra (Figura 41) acentuou os picos anteriormente citados, não havendo modificação com relação a identificação de minerais. Já na amostra desferrificada e orientada observa-se a predominância de caulinita (Figura 42), com traços de mica, clorita e quartzo.

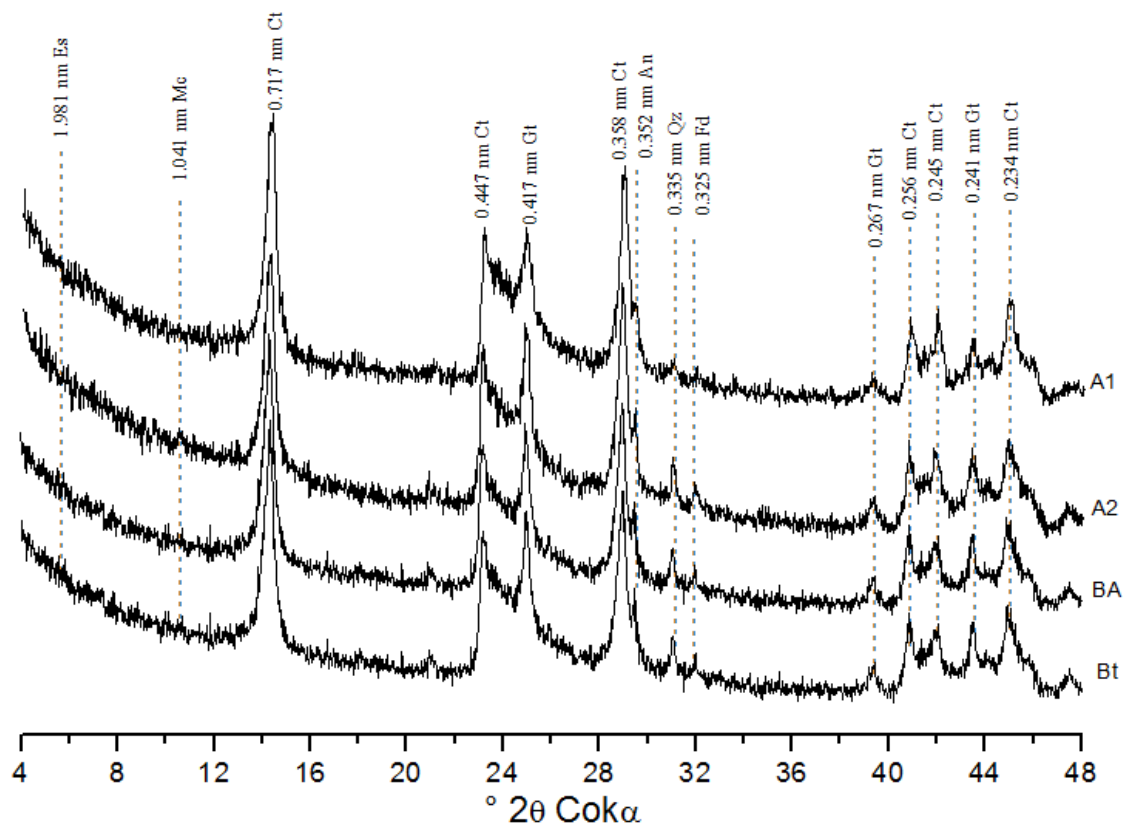


Figura 40 – Difratoqramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A1, A2, BA e Bt da Terra Preta de Índio, natural e sem orientação. (Es – esmectita; Mc – Mica; Ct – caulinita; Fd – Feldspato; Gt – Goethita; Qz – quartzo; An - anatásio).

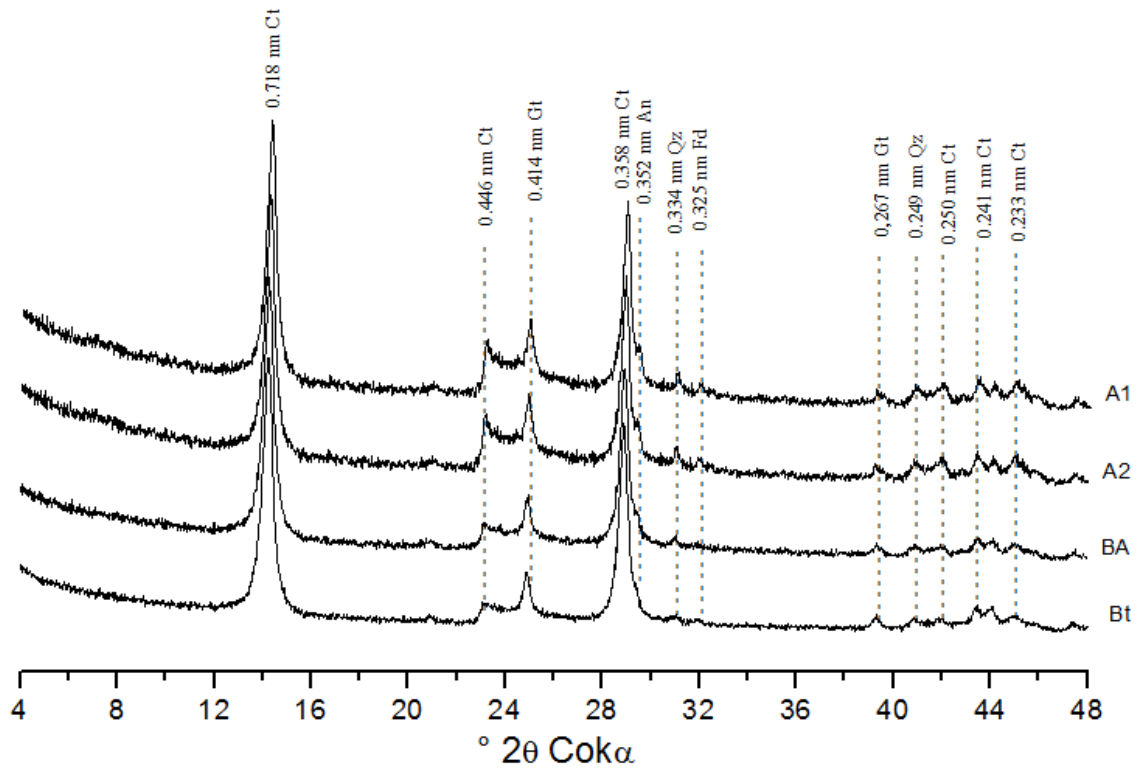


Figura 41 – Difratogramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A1, A2, BA e Bt da Terra Preta de Índio, natural e com orientação. (Ct – caulinita; Gt – Goethita; Qz – quartzo; An – anatásio; Fd - feldspato).

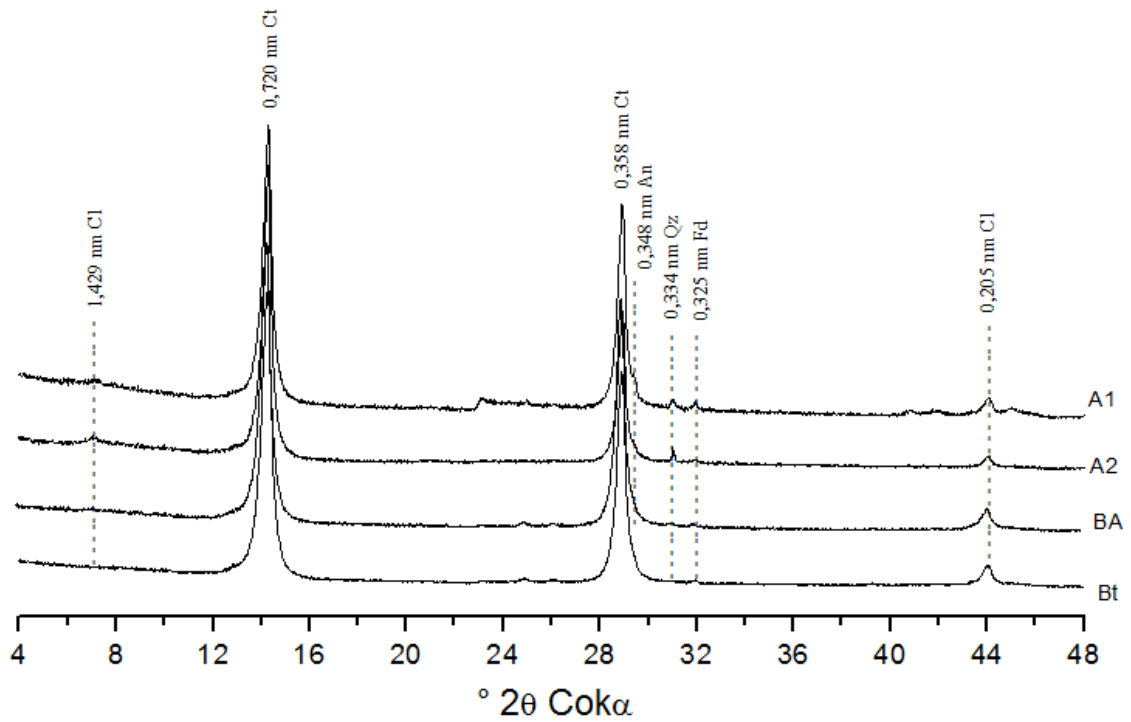


Figura 42 – Difrátogramas de raios-X da fração argila desferrificada, dos horizontes A1, A2, BA e Bt da Terra Preta de Índio, com orientação. (Cl – clorita; Ct – caulinita; Qz – quartzo; Fd – feldspato; An - anatásio).

5.7. Plintossolo

A fração areia do Plintossolo apresenta picos de caulinita (Ct), quartzo (Qz), goethita (Gt) e hematita (Hm) (Figura 43). Faz-se necessário salientar que os difratogramas apresentados são da mineralogia da massa de solo, as quais foram separadas da plintitas ou concreções.

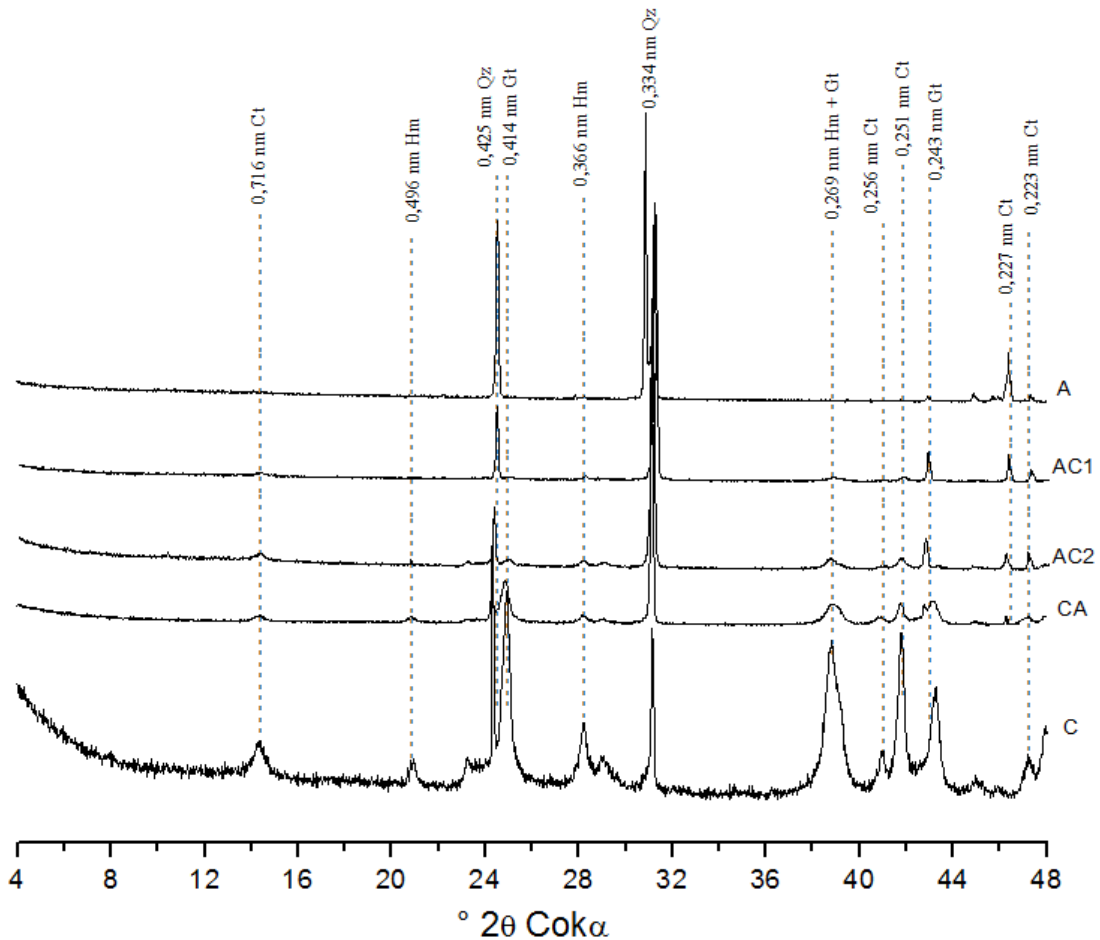


Figura 43 – Difratogramas de raios-X da fração areia, dos horizontes A, AC1, AC2, CA e C do Plintossolo. (Ct – caulinita; Gt – Goethita; Hm – Hematita; Qz – quartzo).

A fração silte do Plintossolo, apresentada na Figura 44, é constituída praticamente dos mesmos minerais da fração areia, adicionada do anatásio (An). A caulinita (Ct) se destaca nesta fração.

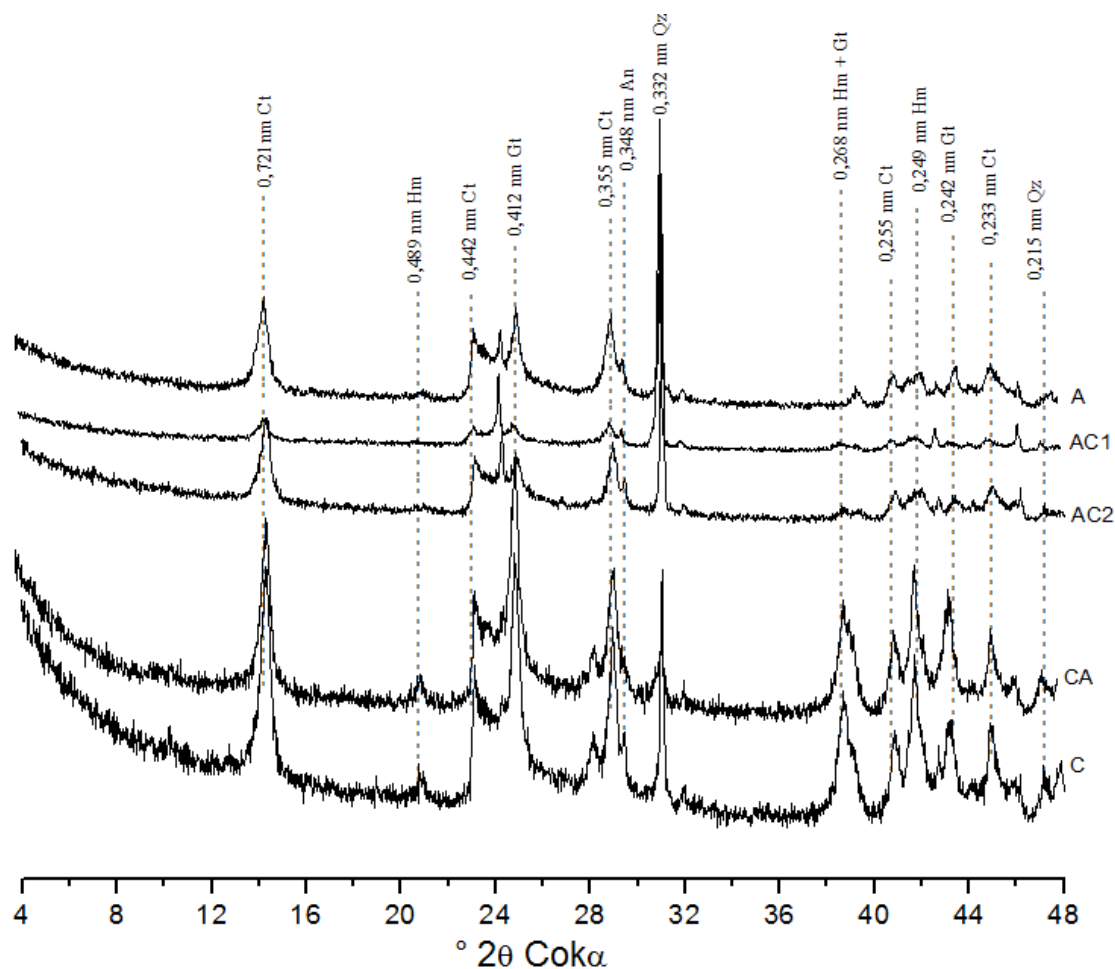


Figura 44 – Difratoformas de raios-X da fração silte, dos horizontes A, AC1, AC2, CA e C do Plintossolo. (Ct – caulinita; Gt – goethita; Hm – hematita; Qz – quartzo; An – anatásio).

A fração argila do Plintossolo apresenta predominância de caulinita (Ct). Participam da composição mineralógica desta fração os minerais: anatásio, quartzo, goethita e hematita (Figura 45). Estes mesmos minerais são observados com a orientação das amostras (Figura 46), com exceção da clorita. A desferrificação e orientação da amostra (Figura 47) acentuou os picos de caulinita, permitiu a identificação da clorita, quartzo e hematita. Este tratamento surtiu efeito apenas para a goethita.

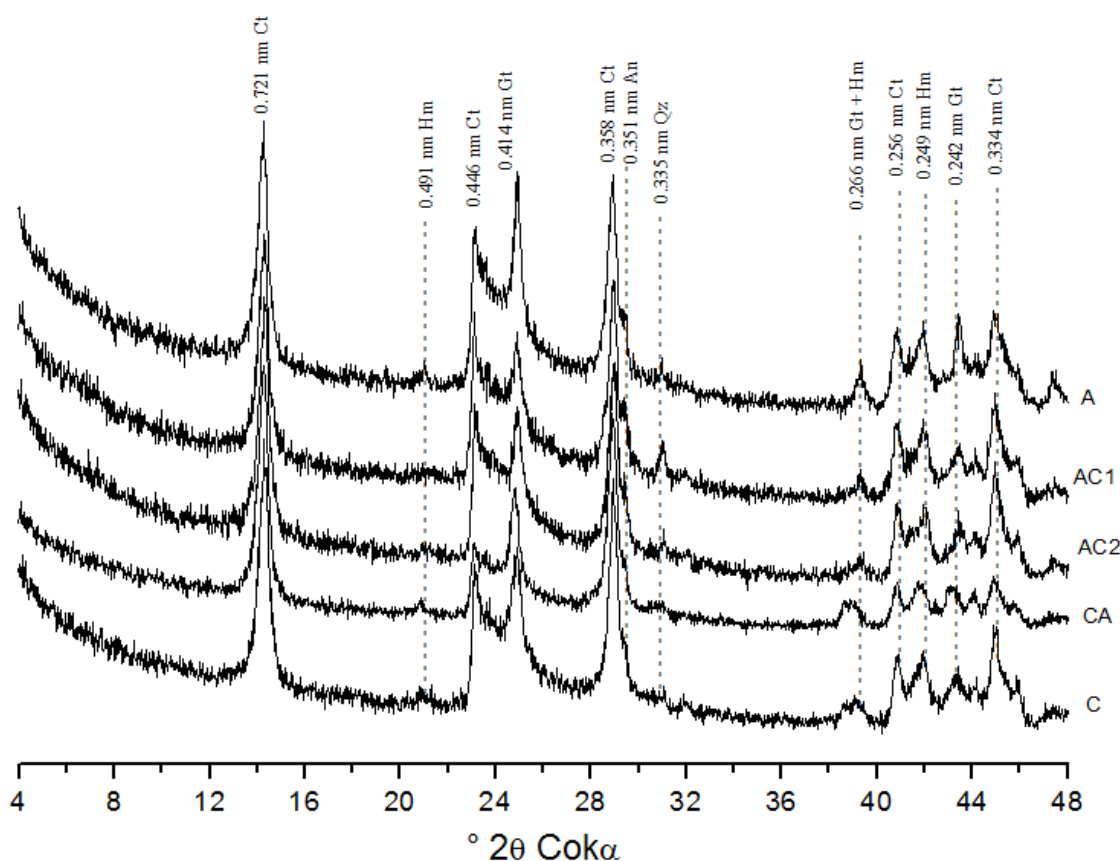


Figura 45 – Difratoformas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC1, AC2, CA e C do Plintossolo, natural e sem orientação. (Ct – caulinita; Gt – goethita; Hm – hematita; Qz – quartzo; An – anatásio).

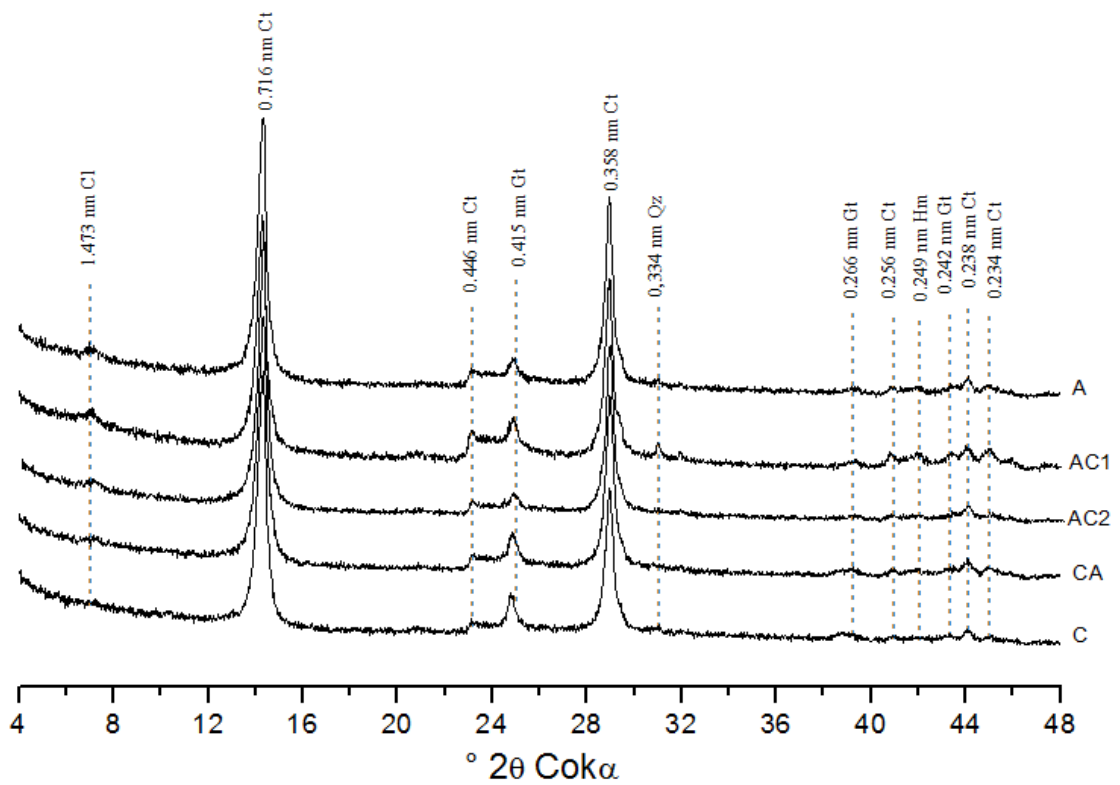


Figura 46 – Difratoigramas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, AC1, AC2, CA e C do Plintossolo, natural e com orientação. (Cl - clorita; Ct – caulinita; Gt – Goethita; Hm – Hematita; Qz - quartzo).

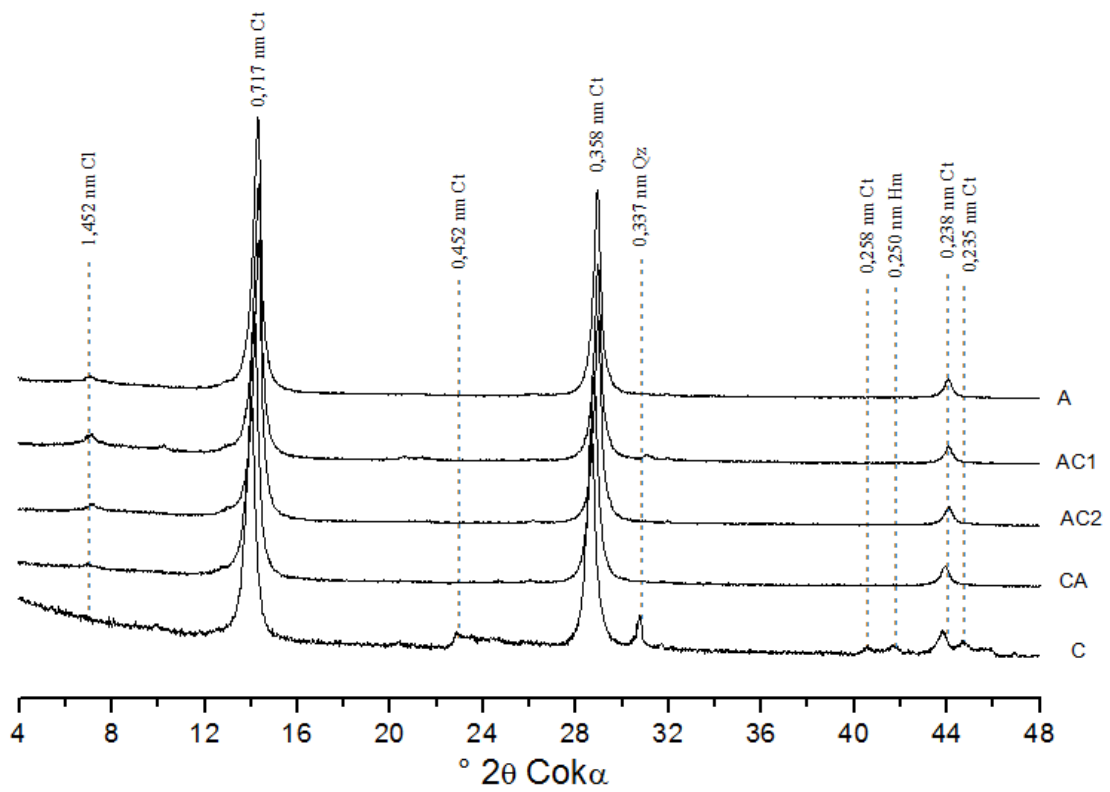


Figura 47 – Difratoigramas de raios-X da fração argila desferrificada, dos horizontes A, AC1, AC2, CA e C do Plintossolo, com orientação. (Cl – clorita; Ct – caulinita; Hm – Hematita).

5.8. Neossolo Quartzarênico Órtico

O Neossolo Quartzarênico órtico apresenta em sua fração areia predominância de quartzo (Figura 48). A caulinita (Ct) ocorreu nos três horizontes analisados.

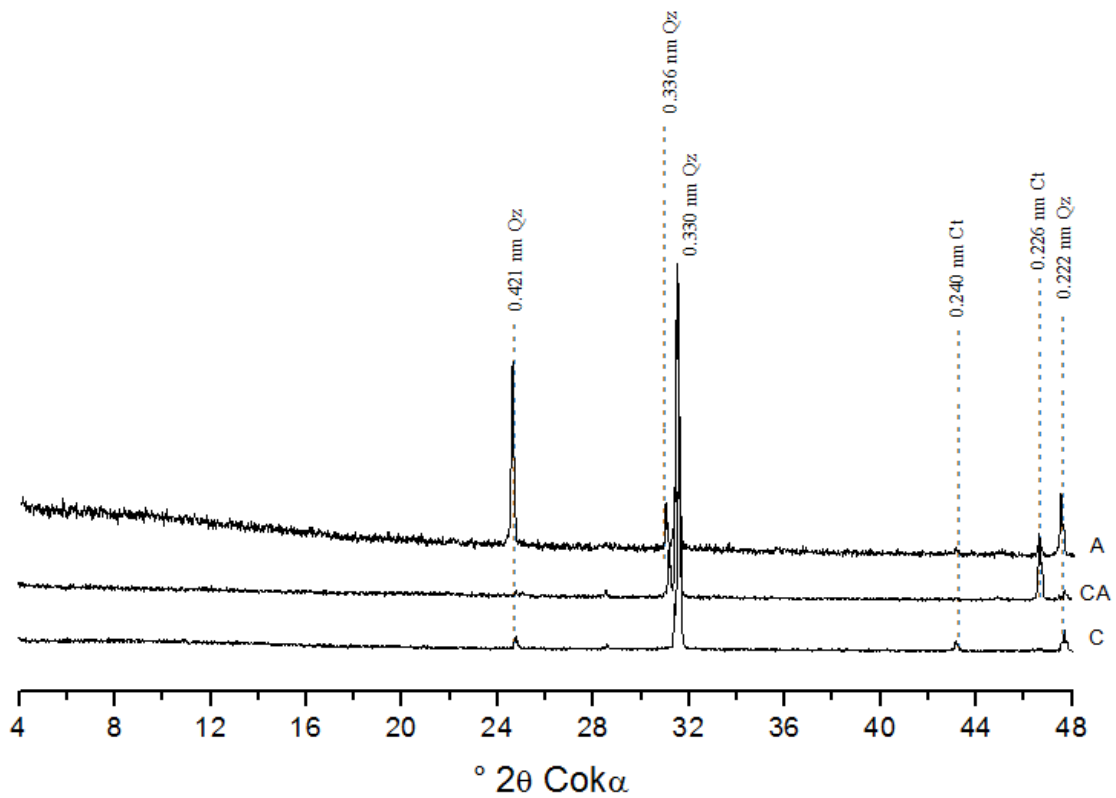


Figura 48 – Difractogramas de raios-X da fração areia, dos horizontes A, CA e C do Neossolo Quartzarênico órtico. (Ct – caulinita; Qz – quartzo).

A fração silte também apresenta basicamente composição mineralógica formada por quartzo e caulinita (Figura 49).

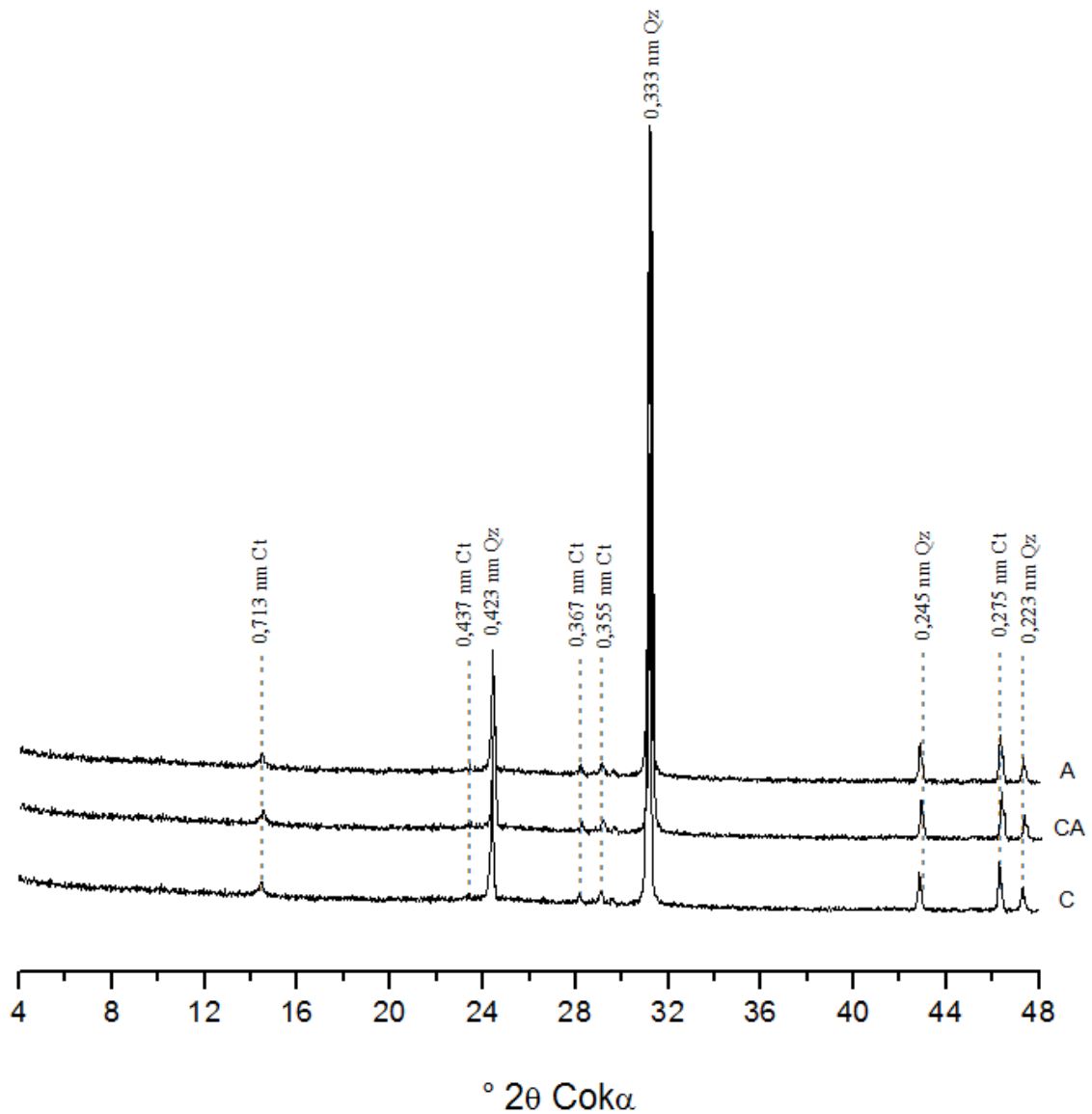


Figura 49 – Difractogramas de raios-X da fração silte, dos horizontes A, CA e C do Neossolo Quartzarênico órtico. (Ct – caulinita; Qz – quartzo).

5.9. Espodossolo

A fração areia do Espodossolo apresentou predominância do quartzo (Qz) (Figura 50), evidenciando a simplicidade mineralógica desta classe de solo.

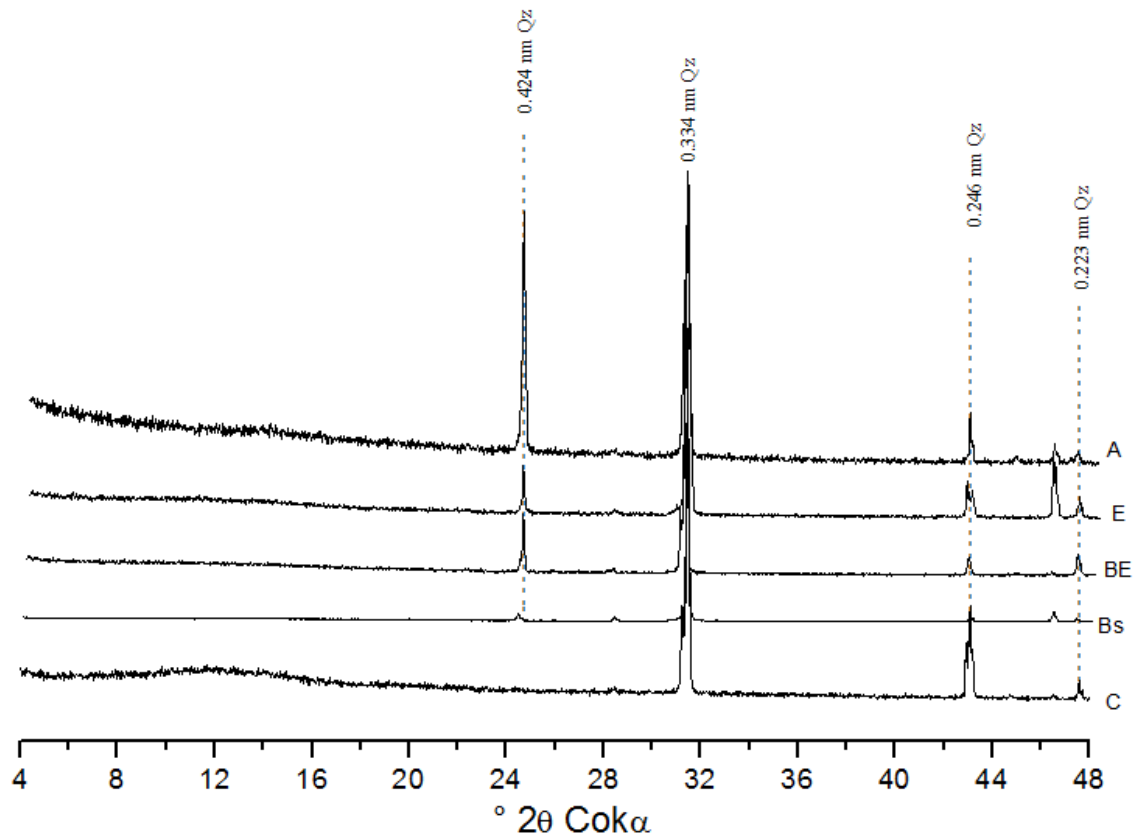


Figura 50 – Difratomogramas de raios-X da fração areia, dos horizontes A, E, BE, Bs e C do Espodossolo. (Qz – quartzo).

Já a fração silte apresentou predominância caulinitica com picos de quartzo (Qz) em todos os horizontes analisados (Figura 51).

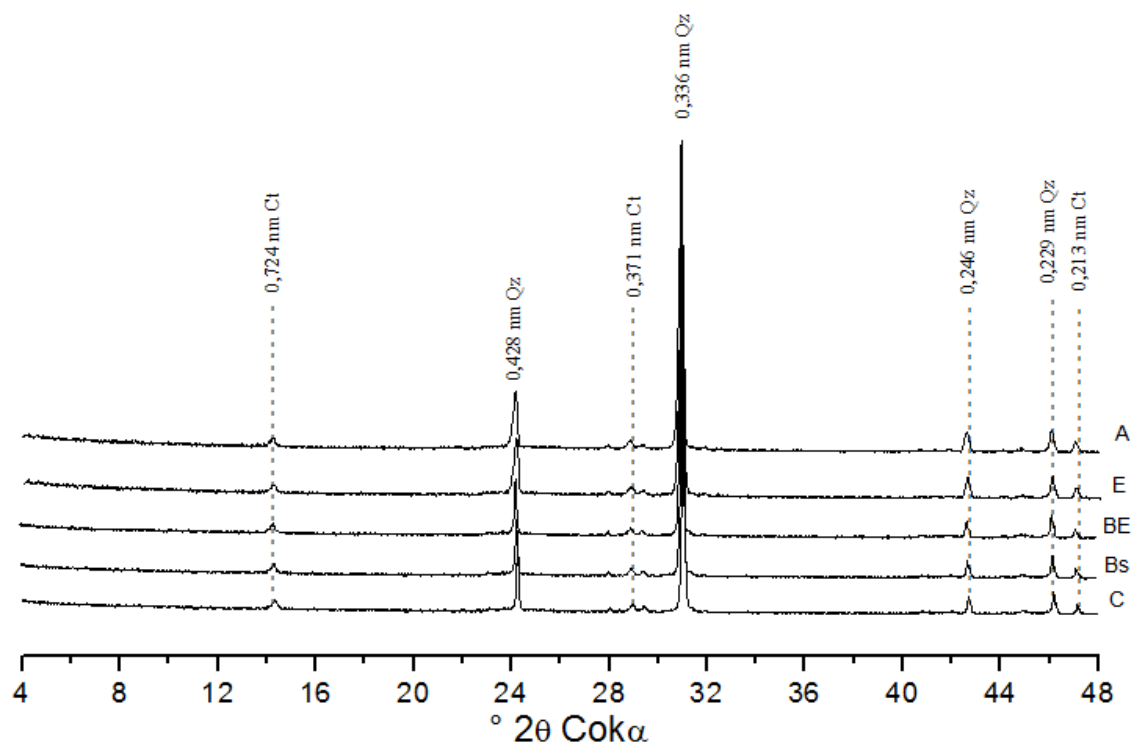


Figura 51 – Difratoqramas de raios-X da fração silte, dos horizontes A, E, BE, Bs e C do Espodosolo. (Ct – caclinita; Qz – quartzo).

A fração argila, sem orientação, apresenta picos de caulinita (Ct), quartzo (Qz), anatásio (An), hematita (Hm) e goethita (Gt) (Figura 52), com predominância da caulinita (Ct).

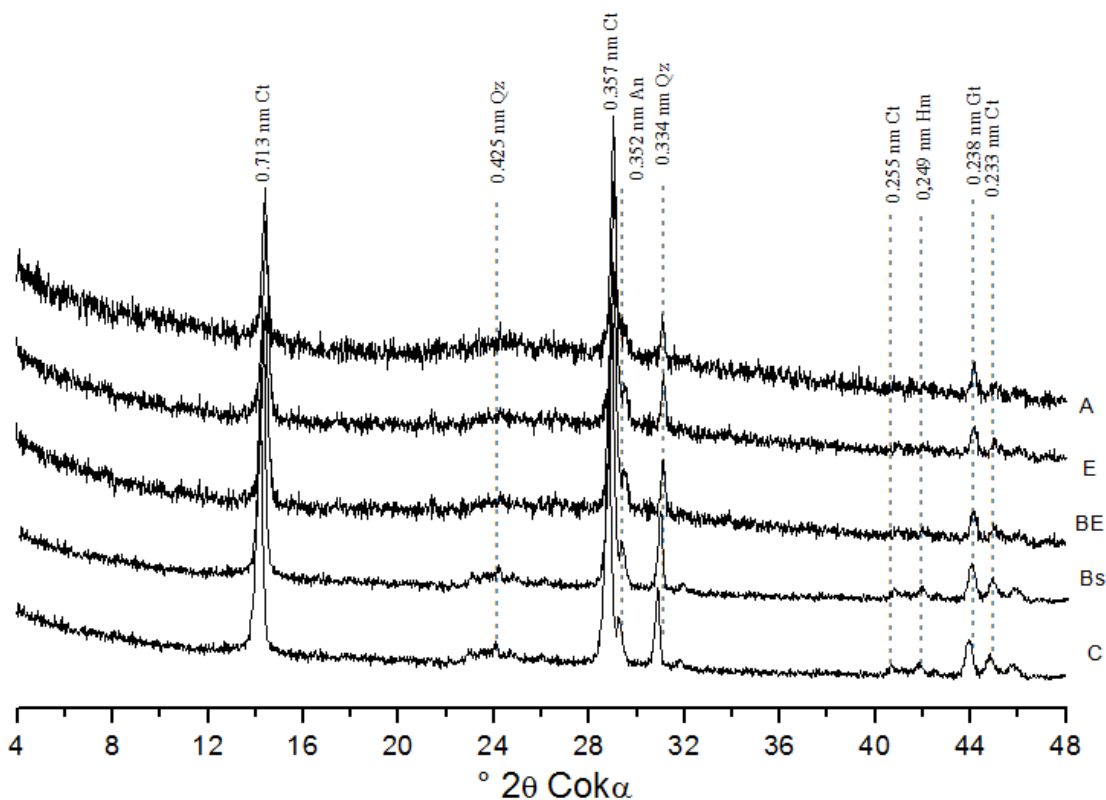


Figura 52 – Difratoformas de raios-X da fração argila, dos horizontes A, E, BE, Bs e C do Espodossolo, natural e sem orientação. (Ct – caulinita; Gt – Goethita; Hm – Hematita; Qz – quartzo; An – anatásio).

Quadro 4. Composição mineralógica das frações areia, silte e argila dos solos estudados

Amostra	Horizonte	Profundidade cm	Areia	Silte	Argila ¹
Latossolo Amarelo					
1	A	0-10	Ct, Qz, An	Ct, Qz, Gt, An	Ct, Gt, An
2	AB	10-30	Ct, Qz, An	Ct, Qz, Gt, An	Ct, Gt, An
3	Bw	~100	Ct, Qz, An	Ct, Qz, Gt, An	Ct, Gt, An
Argissolo Amarelo					
4	A	0-10	Qz	Ct, An, Gt, Qz	Ct, Gt, An, Qz
5	BA	10-30	Qz	Ct, An, Gt, Qz	Ct, Gt, An, Qz
6	Bt	~100	Qz	Ct, An, Gt, Qz	Ct, Gt, An, Qz
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico					
7	A	0-10	Ct, Qz	Cl, Il, Ct, Qz, An, Fd	Ct, Il, An
8	CA	10-30	Ct, Qz	Cl, Il, Ct, Qz, An, Fd	Ct, Il, An
9	C	50+	Ct, Qz	Cl, Il, Ct, Qz, An, Fd	Ct, Il, An
Gleissolo Háptico					
10	A	0-10	Es, Il, Ct, Qz, Fd	Il, Ct, Qz, Fd	Es, Ct, Il, Qz, Fd
11	AC	10-40	Es, Il, Ct, Qz, Fd	Il, Ct, Qz, Fd	Es, Ct, Il, Qz, Fd
12	CA	40-80	Es, Il, Ct, Qz, Fd	Il, Ct, Qz, Fd	Es, Ct, Il, Qz, Fd
13	C	80+	Es, Il, Ct, Qz, Fd	Il, Ct, Qz, Fd	Es, Ct, Il, Qz, Fd
Neossolo Flúvico					
14	A	0-10	Es, Qz, Mc, Fd	Es, Il, Ct, Qz, Fd, Mc	Es, Cl, Il, Ct, Qz
15	AC	20-40	Es, Qz, Mc, Fd	Es, Il, Ct, Qz, Fd, Mc	Es, Cl, Il, Ct, Qz
16	CA	40-80	Es, Qz, Mc, Fd	Es, Il, Ct, Qz, Fd, Mc	Es, Cl, Il, Ct, Qz
17	C	100+	Es, Qz, Mc, Fd	Es, Il, Ct, Qz, Fd, Mc	Es, Cl, Il, Ct, Qz

¹Argila natural e sem orientação; ²Não determinado; Ct – caulinita; Gt – Goethita; Il – ilita; Qz – quartzo; An – anatásio; Mc – mica; Fd – Feldspato; Hm – Hematita; Es – esmectita; Cl – clorita.

Quadro 4. Composição mineralógica das frações areia, silte e argila dos solos estudados (continuação)

Amostra	Horizonte	Profundidade cm	Areia	Silte	Argila ¹
Terra Preta de Índio					
18	A1	0-10	Qz	Ct, Qz, An, Fd	Es, Ct, Gt, Fd, Mc, An
19	A2	10-30	Qz	Ct, Qz, An, Fd	Es, Ct, Gt, Fd, Mc, An
20	BA	30-90	Qz	Ct, Qz, An, Fd	Es, Ct, Gt, Fd, Mc, An
21	Bt	100+	Qz	Ct, Qz, An, Fd	Es, Ct, Gt, Fd, Mc, An
Plintossolo					
22	A	0-10	Ct, Hm, Qz, Gt	Ct, Hm, Gt, An, Qz	Ct, An, Qz, Gt, Hm
23	AC1	10-30	Ct, Hm, Qz, Gt	Ct, Hm, Gt, An, Qz	Ct, An, Qz, Gt, Hm
24	AC2	30-70	Ct, Hm, Qz, Gt	Ct, Hm, Gt, An, Qz	Ct, An, Qz, Gt, Hm
25	CA	70-120	Ct, Hm, Qz, Gt	Ct, Hm, Gt, An, Qz	Ct, An, Qz, Gt, Hm
26	C	120+	Ct, Hm, Qz, Gt	Ct, Hm, Gt, An, Qz	Ct, An, Qz, Gt, Hm
Neossolo Quartzarênico Órtico					
27	A	0-10	Qz, Ct	Ct, Qz	ND ²
28	CA	10-30	Qz, Ct	Ct, Qz	ND ²
29	C	50+	Qz, Ct	Ct, Qz	ND ²
Espodossolo					
30	A	0-10	Qz	Ct, Qz	Ct, Qz, An, Hm, Gt
31	E	10-20	Qz	Ct, Qz	Ct, Qz, An, Hm, Gt
32	BE	20-50	Qz	Ct, Qz	Ct, Qz, An, Hm, Gt
33	Bs	50-60	Qz	Ct, Qz	Ct, Qz, An, Hm, Gt
34	C	120+	Qz	Ct, Qz	Ct, Qz, An, Hm, Gt

¹Argila natural e sem orientação; ²Não determinado; Ct – caulinita; Gt – Goethita; Il – ilita; Qz –quartzo; An – anatásio;

Mc – mica; Fd – Feldspato; Hm – Hematita; Es – esmectita; Cl – clorita.

6. Alumínio e ferro extraídos por ditionito-citrato de sódio (Al_d e Fe_d) e por oxalato de amônio (Al_o e Fe_o) na fração argila dos solos

Os teores de ferro extraídos por ditionito (Fe_d) variaram de 0,07 (horizontes sub-superficiais do Espodossolo) a 9,30 dag kg^{-1} (horizonte C do Plintossolo), conforme pode ser observado no Quadro 5. Os valores apresentados podem ser considerados baixos, principalmente devido a menor participação do ferro no material de origem dos solos estudados. No caso do Plintossolo os óxidos de ferro são responsáveis pela sua coloração característica. Em conformidade com os dados apresentados por Lima (2001), no presente estudo os valores mais baixos de Fe_d nos horizontes superficiais do Plintossolo, devem-se, provavelmente, a formação de plintita resultante da translocação do ferro no perfil do solo. Adicionalmente à translocação, ocorrem a precipitação e segregação do ferro nos horizontes sub-superficiais. Para Lima (2001) contribui também para este fenômeno a interferência da matéria orgânica do solo inibindo a cristalização dos óxidos de ferro, pois este elemento ficaria complexado em sua estrutura. Adicionalmente a este processo também as condições restritas de drenagem podem contribuir para o retardamento da cristalização destes óxidos de ferro.

Já os teores de ferro extraídos por oxalato (Fe_o), perfizeram valores menores do que os extraídos por ditionito, tendo os mesmos variado de 0 (horizontes A e C do Neossolo Quartzarênico Órtico) à 2,37 dag kg^{-1} (horizonte A do Neossolo Flúvico). No Quadro 5, pode-se observar que os valores de ferro extraídos por oxalato (Fe_o) dos solos com restrição à drenagem são maiores do que aqueles encontrados em solos de terra firme. Este comportamento é explicado pelo baixo conteúdo de matéria orgânica e também pela drenagem eficiente. Estes fatores juntos proporcionam um processo de cristalização mais efetiva para os óxidos de ferro (Resende et al., 2005).

O alumínio extraído por ditionito (Al_d) variou de 0 (horizontes sub-superficiais de Neossolo Quartzarênico órtico e superficiais de Espodossolo) à 0,91 dag kg^{-1} (horizontes sub-superficiais de Neossolo Flúvico e Terra Preta de Índio), conforme Quadro 5. Os valores de alumínio extraídos por oxalato (Al_o) variaram de 0,01 (horizonte C do Neossolo Quartzarênico órtico) à 1,60 dag kg^{-1} (horizonte Bs do Espodossolo). Estes valores baixos são condizentes com a granulometrias destes solos.

Quadro 5. Valores de Alumínio e ferro extraídos por ditonito-citrato de sódio (Al_d e Fe_d) e oxalato de amônio (Al_o e Fe_o) na fração argila dos solos

Amostra	Horizonte	Profundidade cm	Fe_d -----dag kg ⁻¹ ----	Fe_o -----dag kg ⁻¹ ----	Fe_o/Fe_d	Al_d -----dag kg ⁻¹ ----	Al_o -----dag kg ⁻¹ ----	Al_o/Al_d
Latossolo Amarelo								
1	A	0-10	1,81	0,21	0,12	0,32	0,32	0,98
2	AB	10-30	1,61	0,20	0,12	0,33	0,32	0,97
3	Bw	~100	1,33	0,15	0,11	0,35	0,34	0,95
Argissolo Amarelo								
4	A	0-10	1,66	0,07	0,04	0,35	0,31	0,88
5	BA	10-30	0,76	0,24	0,32	0,21	0,38	1,82
6	Bt	~100	2,25	0,18	0,08	0,39	0,37	0,95
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico								
7	A	0-10	0,17	0,11	0,66	0,08	0,51	6,61
8	CA	10-30	0,11	0,04	0,41	0,08	0,65	8,14
9	C	50+	0,10	0,07	0,75	0,04	0,53	12,78
Gleissolo Háptico								
10	A	0-10	2,17	1,39	0,64	0,40	0,69	1,71
11	AC	10-40	2,60	0,86	0,33	0,18	0,17	0,96
12	CA	40-80	2,76	2,30	0,83	0,35	0,53	1,49
13	C	80+	4,41	0,44	0,10	0,33	0,36	1,08
Neossolo Flúvico								
14	A	0-10	4,33	2,37	0,55	0,28	0,54	1,90
15	AC	20-40	2,49	1,23	0,49	0,40	0,35	0,88
16	CA	40-80	3,86	1,82	0,47	0,25	0,54	2,14
17	C	100+	3,47	2,01	0,58	0,91	0,47	0,52

Quadro 5. Valores de Alumínio e ferro extraídos por ditonito-citrato de sódio (Al_d e Fe_d) e oxalato de amônio (Al_o e Fe_o) na fração argila dos solos (continuação)

Amostra	Horizonte	Profundidade cm	Fe_d -----dag kg ⁻¹ -----	Fe_o	Fe_o/Fe_d	Al_d -----dag kg ⁻¹ -----	Al_o	Al_o/Al_d
Terra Preta de Índio								
18	A1	0-10	6,68	0,47	0,07	0,88	0,39	0,45
19	A2	10-30	5,93	0,69	0,12	0,82	0,52	0,63
20	BA	30-90	6,85	0,66	0,10	0,91	0,54	0,59
21	Bt	100+	6,08	0,45	0,07	0,87	0,40	0,46
Plintossolo								
22	A	0-10	7,11	0,19	0,03	0,82	0,24	0,30
23	AC1	10-30	6,70	1,16	0,17	0,86	0,42	0,49
24	AC2	30-70	6,86	0,27	0,04	0,84	0,32	0,39
25	CA	70-120	9,21	0,02	0,00	0,60	0,22	0,37
26	C	120+	9,30	0,15	0,02	0,75	0,33	0,43
Neossolo Quartzarênico Órtico								
27	A	0-10	0,19	0,00	0,01	0,01	0,05	6,19
28	CA	10-30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
29	C	50+	0,11	0,01	0,06	0,00	0,04	10,36
Espodossolo								
30	A	0-10	0,09	0,02	0,17	0,00	0,11	38,99
31	E	10-20	0,07	0,01	0,11	0,00	0,08	0,00
32	BE	20-50	0,07	0,03	0,40	0,00	0,28	0,00
33	Bs	50-60	0,07	0,06	0,68	0,10	1,60	16,41
34	C	120+	0,08	0,03	0,35	0,01	0,45	35,11

7. Teores naturais de metais pesados dos solos

Os teores totais dos metais pesados nos solos estudados foram determinados na TFSA das amostras coletadas. Este procedimento foi adotado devido a baixa participação da fração argila em algumas das amostras de solos coletadas, o que poderia inviabilizar a comparação dos resultados caso estes teores fossem determinados nas frações separadamente.

A comparação dos valores obtidos pela digestão do padrão com os valores certificados (Quadro 7) permitiu a constatação de que tanto o protocolo quanto o aparelho de digestão estavam apropriadamente calibrados.

Quadro 7. Resultados da validação, calibração e limites de detecção para a determinação dos metais pesados no solo

Metal	Valor certificado ¹	I.C ²	EPA 3052 (Determinado)	L.D ³
	-----mg kg ⁻¹ -----			
As	17,0	13 - 21	14,6	0,000
Ba	401,0	356 - 446	348,2	0,004
Cd	35,0	32 - 38	33,0	0,003
Co	32,0	30 - 34	30,4	0,002
Cu	720,0	691 - 749	694,2	0,006
Cr	110,0	97 - 123	97,5	0,019
Ni	239,0	215 - 263	226,0	0,014
Pb	253,0	227 - 279	240,7	0,025
Zn	7290,0	6813 - 7767	7024,5	0,008

¹Valor certificado para métodos de digestão total; ²Intervalo de confiança (95%); ³Limite de detecção.

Os valores obtidos com a extração via EPA 3052 (Quadro 8), de forma geral, apresentaram excelente recuperação quando comparados aos valores certificados para todos os metais estudados. Com exceção do As, Ba e Cr, todos os outros tiveram recuperações superiores à 90 %.

Quadro 8. Recuperação média dos metais na amostra certificada utilizada nas análises

Metal	V.C¹	I.C²	EPA 3052 (Determinado)	Recuperação (Determinado)
	-----mg kg ⁻¹ -----			%
As	17,0	13 - 21	14,6	86
Ba	401,0	356 - 446	348,2	87
Cd	35,0	32 - 38	33,0	94
Co	32,0	30 - 34	30,4	95
Cu	720,0	691 - 749	694,2	96
Cr	110,0	97 - 123	97,5	89
Ni	239,0	215 - 263	226,0	94
Pb	253,0	227 - 279	240,7	95
Zn	7290,0	6813 - 7767	7024,5	96

¹Valor certificado para métodos de digestão total; ²Intervalo de confiança (95%); ³Limite de detecção.

Considerando que as amostras de solos estudadas perfazem uma pequena proporção dos solos constituintes da grande bacia sedimentar amazônica, é de se esperar variação nos teores determinados de metais pesados nos solos estudados em relação a outros estudos. Esta variação ocorre devido ao contínuo processo de desmonte e intemperização dos Andes, o qual se constitui em fonte de minerais primários constituintes dos solos formados na região, ou seja, a depender da localização destes solos e condições para a sua efetiva intemperização esta variação nos teores de metais pesados pode se concretizar ou não. Os minerais primários, muitas vezes podem ter em sua constituição metais pesados e sua liberação ocorre para o ambiente através dos processos de intemperização desses minerais.

Quadro 9. Teores totais de As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em amostras de solos da Amazônia

Amostra	Horizonte	Profundidade cm	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
			-----mg kg ⁻¹ -----								
Latossolo Amarelo											
1	A	0-10	0,00	60,56	4,65	19,78	98,96	52,39	11,71	12,99	76,93
2	AB	10-30	0,00	68,73	3,63	22,46	126,04	47,39	8,49	32,42	101,55
3	Bw	~100	0,00	61,40	3,18	21,04	129,75	50,22	9,48	20,13	92,74
Argissolo Amarelo											
4	A	0-10	0,00	206,66	4,41	11,40	76,53	50,22	9,77	31,43	77,34
5	BA	10-30	0,00	204,54	4,57	9,80	68,27	47,89	8,49	20,58	73,23
6	Bt	~100	0,00	210,76	4,24	12,81	99,75	48,33	12,52	31,31	75,30
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico											
7	A	0-10	0,00	8,72	4,53	12,77	68,01	47,92	37,71	26,15	79,63
8	CA	10-30	0,00	7,51	4,63	12,15	67,43	48,16	6,59	26,15	75,82
9	C	50+	0,00	8,24	5,04	8,96	65,08	47,84	7,16	39,63	73,59
Gleissolo Háptico											
10	A	0-10	0,00	204,69	6,21	20,27	75,28	72,41	25,93	37,27	154,79
11	AC	10-40	0,00	207,17	4,38	20,54	75,06	71,02	23,12	32,28	144,60
12	CA	40-80	0,00	211,67	4,76	20,97	77,97	73,16	28,80	30,00	150,17
13	C	80+	0,00	212,27	3,77	17,25	70,02	67,42	20,18	25,34	132,94
Neossolo Flúvico											
14	A	0-10	6,96	5,46	4,50	23,23	78,42	71,94	29,62	30,67	152,95
15	AC	20-40	0,00	5,09	5,88	23,07	117,12	72,46	39,93	34,04	147,69
16	CA	40-80	0,00	5,76	4,76	23,94	73,01	70,86	19,68	39,56	144,21
17	C	100+	0,00	5,24	4,78	19,99	73,17	62,16	37,79	25,97	149,23

Quadro 9. Teores totais de As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em amostras de solos da Amazônia (continuação)

Amostra	Horizonte	Profundidade	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
		cm	-----mg kg ⁻¹ -----								
Terra Preta de Índio											
18	A1	0-10	0,00	252,35	4,69	22,54	94,92	47,22	11,63	36,28	94,90
19	A2	10-30	0,00	261,40	6,52	18,88	77,08	71,22	9,10	18,89	169,71
20	BA	30-90	0,00	260,49	7,01	17,65	88,52	64,31	9,31	24,73	166,42
21	Bt	100+	0,00	256,82	4,52	23,81	93,85	64,41	13,85	35,77	121,28
Plintossolo											
22	A	0-10	0,00	30,97	4,41	20,32	101,16	51,78	12,21	27,30	105,69
23	AC1	10-30	0,00	32,24	4,17	22,60	91,57	49,42	8,20	20,67	84,64
24	AC2	30-70	0,00	34,07	4,71	23,24	94,59	38,26	12,27	21,02	94,70
25	CA	70-120	0,00	33,15	3,91	20,63	90,93	37,13	12,58	25,78	98,37
26	C	120+	0,00	38,65	3,84	20,44	89,11	48,64	12,19	32,97	95,86
Neossolo Quartzarênico Órtico											
27	A	0-10	0,00	15,75	7,67	0,00	44,84	46,26	4,42	26,46	76,33
28	CA	10-30	0,00	15,81	7,83	0,00	38,54	47,58	4,03	21,09	75,92
29	C	50+	2,28	15,74	9,16	0,00	30,52	47,01	6,04	17,02	73,86
Espodossolo											
30	A	0-10	19,78	4,22	8,44	4,72	43,99	79,89	9,39	12,01	77,20
31	E	10-20	0,00	4,13	6,52	0,00	36,84	31,69	0,00	12,01	71,96
32	BE	20-50	0,00	5,06	22,62	4,05	40,81	33,27	0,46	41,21	73,91
33	Bs	50-60	0,00	5,04	0,53	6,67	33,84	30,49	4,48	15,88	69,31
34	C	120+	0,00	4,95	5,11	8,40	39,54	34,77	0,00	31,63	77,19
Concreção Plintossolo											
35	A	0-10	8,77	114,74	3,88	11,16	112,24	37,16	6,93	42,43	128,77
36	AC1	10-30	9,47	117,49	3,67	90,53	133,97	39,20	7,36	40,84	97,66
37	AC2	30-70	9,34	118,40	14,65	91,41	185,40	38,55	6,84	40,07	103,20
38	CA	70-120	17,14	124,82	27,73	246,86	68,73	38,36	72,66	50,42	150,02
39	C	120+	11,35	122,99	1,22	88,79	60,56	32,12	9,31	17,51	108,66

Dos metais analisados, o As apresentou os valores mais baixos em relação aos demais, sendo detectado apenas nos horizontes superficiais do Neossolo Flúvico e Espodossolo e no horizonte CA do Neossolo Quartzarênico órtico estudado (Amostra 29, Quadro 9). De forma geral, para os solos estudados e levando-se em consideração apenas o As, o teor apresentou a seguinte faixa de variação: 0 - 19,78 mg kg⁻¹. O maior valor perfaz o teor encontrado no horizonte superficial do Espodossolo (Quadro 9). Valores mais altos para este metal foram detectados nas concreções ferruginosas do Plintossolo estudado, perfazendo uma variação de 8,77 à 17,14 mg kg⁻¹, sendo os maiores valores encontrados nas concreções localizadas nos horizontes mais subsuperficiais. O bário apresentou maiores teores na Terra Preta de Índio, Gleissolo e Argissolo Amarelo, respectivamente, compreendendo uma variação de 204,54 à 261,40 mg kg⁻¹. Valores bem mais baixos para este metal foram observados nos demais solos, constituindo uma variação de 4,13 (Espodossolo) à 68,73 mg kg⁻¹ (Latosolo Amarelo). O Espodossolo, Neossolo Flúvico e o Neossolo Quartzarênico Hidromórfico apresentaram os menores teores de bário, respectivamente. Para o bário, os teores encontrados nas concreções do Plintossolo representaram cerca de 50 % do teor encontrado nos demais solos estudados.

Em termos de homogeneidade no que se refere aos teores de metais pesados em todos os horizontes dos solos estudados, tem-se que o zinco apresentou, de forma geral, maiores teores em todos os solos, com destaque para os solos de várzea (Gleissolo e Neossolo Flúvico). Cromo e cobre, respectivamente, constituem-se como os metais mais abundantes nos horizontes dos solos estudados, após o zinco (Quadro 9).

Com relação aos teores de metais pesados nas concreções do Plintossolo, estes perfizeram, na maioria dos casos, valores superiores aos encontrados nos solos estudados, com destaque para o bário, zinco e cromo. Nesta ordem, estes metais apresentaram os maiores teores dos elementos estudados. Os menores teores foram determinados para o cádmio e cobre, respectivamente (Quadro 9).

8. Valores orientadores versus teores naturais de metais pesados nos solos estudados

No Quadro 10 são apresentados os valores orientadores de alguns dos metais pesados em solos listados na Resolução 420/2009. Comparando-se estes valores com os obtidos pela aplicação do método EPA 3052 pode-se depreender que, dos metais analisados nas amostras de solos, o arsênio se destacou pela baixa ocorrência, levando-se em considerações as características desse estudo, em todas as amostras. Apenas a amostra 30 (horizonte superficial do Espodossolo) ultrapassou o valor de prevenção. Levando-se em consideração as concreções dos diversos horizontes do Plintossolo, também apenas uma ultrapassa o valor de prevenção (Amostra 37) de acordo com CONAMA (2009). Importante observar neste caso as condições específicas das concreções ferruginosas do Plintossolo, cujas características de formação propiciam o acúmulo de metais pesados em seu interior. O valor de prevenção é ultrapassado para o bário no Argissolo Amarelo, Gleissolo e Terra Preta de Índio. Já para o cádmio, este valor é ultrapassado por todos os solos e concreções do Plintossolo, com exceção de um horizonte subsuperficial do Espodossolo. O cobalto tem o valor de prevenção ultrapassado apenas nas concreções do Plintossolo dos horizontes mais subsuperficiais (Quadro 9). De uma forma geral os teores naturais de cromo nos solos e nas concreções do Plintossolo estudados superaram o valor de prevenção estabelecido pelo CONAMA para este metal, com exceção para o Neossolo Quartzarênico órtico e Espodossolo. Para o cobre, o valor de prevenção foi ultrapassado nos solos de várzea Gleissolo e Neossolo Flúvico, com raras exceções em solos mais intemperizados. O níquel, chumbo e o zinco não tiveram seus valores de prevenção superados pelos teores totais determinados para este estudo.

Quadro 10. Valores orientadores para solos e para águas subterrâneas (Resolução 420/2009)

Metal	Prevenção	IA ¹	IR ²	II ³
		-----mg kg ⁻¹ -----		
As	15	35	55	150
Ba	150	300	500	750
Cd	1,3	3,0	8,0	20
Co	25	35	65	90
Cu	60	200	400	600
Cr	75	150	300	400
Ni	30	70	100	130
Pb	72	180	300	900
Zn	300	450	1000	2000

¹Investigação agrícola; ²Investigação residencial; ³Investigação industrial

9. Variabilidade dos teores naturais de metais pesados nos solos estudados

9.1. Cobre (Cu)

Os resultados nos permitem concluir que houve diferença significativa entre os solos estudados em relação ao teor natural de cobre nos três primeiros horizontes de cada um deles. O teor de cobre no Gleissolo Háptico e Neossolo Flúvico, foi significativamente superior ao teor detectado nos demais solos (Quadro 11). Os demais solos (Plintossolo, Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, Neossolo Quartzarênico Órtico, Argissolo Amarelo, Latossolo Amarelo, Espodossolo, Terra Preta de Índio e as Concreções do Plintossolo) formam um grupo com teores de cobre estatisticamente iguais entre si e inferiores aos demais quanto aos teores naturais de cobre pelo teste de Scott-Knott ao nível nominal de 5 % de significância.

Quadro 11. Valores médios do teor natural de cobre, em mg kg⁻¹, nos três primeiros horizontes dos solos estudados

Solos	Médias ¹
Concreções Plintossolo	38,30 a
Plintossolo	46,48 a
Neossolo Quartzarênico Órtico	46,95 a
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	47,97 a
Espodossolo	48,28 a
Argissolo Amarelo	48,81 a
Latossolo Amarelo	50,00 a
Terra Preta de Índio	60,91 a
Neossolo Flúvico	71,75 b
Gleissolo Háptico	72,19 b

¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5 % de significância. Erro padrão 0,01.

9.2. Níquel (Ni)

Os resultados nos permitem concluir que houve diferença significativa entre os solos estudados em relação ao teor natural de níquel nos três primeiros horizontes de cada um deles. O teor de níquel no Gleissolo e Neossolo Flúvico foi significativamente superior ao teor detectado nos demais solos (Quadro 12). Plintossolo, Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, Neossolo Quartzarênico Órtico, Argissolo Amarelo, Latossolo Amarelo, Espodossolo, Terra Preta de Índio e as Concreções do Plintossolo formam um grupo de solos com teores de cobre estatisticamente iguais e inferiores ao do Gleissolo Háptico e Neossolo Flúvico quanto aos teores naturais de níquel pelo teste de Scott-Knott ao nível nominal de 5 % de significância.

Quadro 12. Valores médios do teor natural de níquel, em mg kg⁻¹, nos três primeiros horizontes dos solos estudados

Solos	Médias¹
Espodossolo	3,28 a
Neossolo Quartzarênico órtico	4,83 a
Concreções Plintossolo	7,04 a
Latossolo Amarelo	9,89 a
Terra Preta de Índio	10,01 a
Argissolo Amarelo	10,26 a
Plintossolo	10,89 a
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	17,15 a
Gleissolo Háptico	25,95 b
Neossolo Flúvico	29,74 b

¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância. Erro padrão 0,01.

9.3. Chumbo (Pb)

Os resultados nos permitem concluir que houve diferença significativa entre os solos estudados em relação ao teor natural de chumbo, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes de cada um deles. O teor de chumbo nas Concreções do Plintossolo foi significativamente superior ao teor detectado nos solos estudados (Quadro 13). O Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, Gleissolo Háptico e o Neossolo Flúvico constituem-se em solos com teores intermediários do elemento analisado em seus horizontes. Os demais solos, Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo, Plintossolo, Neossolo Quartzarênico Órtico, Terra Preta de Índio e Espodossolo foram estatisticamente inferiores a todos os demais quanto aos teores naturais de chumbo pelo teste de Scott-Knott ao nível nominal de 5 % de significância.

Quadro 13. Valores médios do teor natural de chumbo, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes dos solos estudados

Solos	Médias¹
Neossolo Quartzarênico órtico	21,52 a
Espodossolo	21,74 a
Latossolo Amarelo	21,84 a
Plintossolo	22,99 a
Terra Preta de Índio	26,63 a
Argissolo Amarelo	27,77 a
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	30,64 b
Gleissolo	33,18 b
Neossolo Flúvico	34,75 b
Concreção Plintossolo	41,11 c

¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância. Erro padrão 0,01.

9.4. Zinco (Zn)

Os resultados nos permitem concluir que houve diferença significativa entre os solos estudados em relação ao teor natural de zinco, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes de cada um deles. O teor de zinco na Terra Preta de Índio, Neossolo Flúvico e no Gleissolo Háptico foi significativamente superior ao teor detectado nos demais solos (Quadro 14), sendo que as Concreções do Plintossolo apresentam valores intermediários e estatisticamente diferentes dos demais. Os demais solos, Argissolo Amarelo, Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, Neossolo Quartzarênico Órtico, Latossolo Amarelo, Espodossolo e Plintossolo foram estatisticamente inferiores a todos os demais quanto aos teores naturais de zinco pelo teste de Scott-Knott ao nível nominal de 5 % de significância.

Quadro 14. Valores médios do teor natural de zinco, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes dos solos estudados

Solos	Médias¹
Espodossolo	74,36 a
Argissolo Amarelo	75,29 a
Neossolo Quartzarênico Órtico	75,37 a
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	76,35 a
Latossolo Amarelo	90,41 a
Plintossolo	95,01 a
Concreções Plintossolo	109,88 b
Terra Preta de Índio	143,67 c
Neossolo Flúvico	148,28 c
Gleissolo Háptico	149,85 c

¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância. Erro padrão 0,03.

9.5. Cromo (Cr)

Os resultados nos permitem concluir que houve diferença significativa entre os solos estudados em relação ao teor natural de cromo, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes de cada um deles. O teor de cromo nas Concreções do Plintossolo foi significativamente superior ao teor detectado em todos os solos estudados (Quadro 15). Com relação ao teor do elemento em questão nos demais solos, os resultados foram estatisticamente inferiores aos encontrados nas Concreções do Plintossolo quanto aos teores naturais de cromo pelo teste de Scott-Knott ao nível nominal de 5 % de significância.

Quadro 15. Valores médios do teor natural de cromo, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes dos solos estudados

Solos	Médias¹
Neossolo Quartzarênico órtico	37,97 a
Espodossolo	40,55 a
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	66,84 a
Gleissolo Háplico	76,10 a
Argissolo Amarelo	81,52 a
Terra Preta de Índio	86,84 a
Neossolo Flúvico	89,52 a
Plintossolo	95,77 a
Latosolo Amarelo	118,25 a
Concreções Plintossolo	277,20 b

¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância. Erro padrão 1,46.

9.6. Cobalto (Co)

Os resultados nos permitem concluir que houve diferença significativa entre os solos estudados em relação ao teor natural de cobalto, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes de cada um deles. O teor de cobalto nas Concreções do Plintossolo foi significativamente superior ao teor detectado em todos os solos estudados (Quadro 16). Com relação ao teor do elemento em questão nos demais solos, os resultados foram estatisticamente inferiores aos encontrados nas Concreções do Plintossolo quanto aos teores naturais de cobalto pelo teste de Scott-Knott ao nível nominal de 5 % de significância.

Quadro 16. Valores médios do teor natural de cobalto, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes dos solos estudados

Solos	Médias¹
Neossolo Quartzarênico Órtico	0.00 a
Espodossolo	2.92 a
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	11.29 a
Argissolo Amarelo	11.34 a
Terra Preta de Índio	19.69 a
Gleissolo Háptico	20.59 a
Latossolo Amarelo	21.09 a
Plintossolo	22.05 a
Neossolo Flúvico	23.41 a
Concreções Plintossolo	64.37 b

¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância. Erro padrão 1,83.

9.7. Cádmio (Cd)

Os resultados nos permitem concluir que não houve diferença significativa entre os solos estudados em relação ao teor natural de cádmio, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes de cada um deles (Quadro 17). Com relação ao teor do elemento em questão nos solos e Concreções do Plintossolo, os resultados foram estatisticamente iguais pelo teste de Scott-Knott ao nível nominal de 5 % de significância.

Quadro 17. Valores médios do teor natural de cádmio, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes dos solos estudados

Solos	Médias¹
Latossolo Amarelo	3.82 a
Argissolo Amarelo	4.41 a
Plintossolo	4.43 a
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	4.73 a
Neossolo Flúvico	5.04 a
Gleissolo Háptico	5.12 a
Terra Preta de Índio	6.07 a
Concreção Plintossolo	7.40 a
Neossolo Quartzarênico Órtico	8.22 a
Espodossolo	12.53 a

¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância. Erro padrão 0,01.

10.8. Bário (Ba)

Os resultados nos permitem concluir que houve diferença significativa entre os solos estudados em relação ao teor natural de bário, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes de cada um deles. O teor de bário na Terra Preta de Índio foi significativamente superior ao teor detectado nos demais solos e nas Concreções do Plintossolo (Quadro 18). Os teores naturais deste elemento produziu o maior grupo de solos com valores significativamente diferentes para este estudo. O Argissolo Amarelo e o Gleissolo Háptico apresentam teores naturais de bário que perfazem a segunda categoria de solos com teores mais elevados do elemento em questão. O Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, Neossolo Quartzarênico Órtico, Plintossolo, Latossolo Amarelo e as Concreções do Plintossolo apresentam valores intermediários de bário com as suas respectivas médias de acordo com o Quadro 18. O Espodossolo e o Neossolo Flúvico apresentam teores de bário estatisticamente inferiores a todos os demais quanto aos teores naturais deste metal pesado pelo teste de Scott-Knott ao nível nominal de 5 % de significância.

Quadro 18. Valores médios do teor natural de bário, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes dos solos estudados.

Solos	Médias¹
Espodossolo	4,47 a
Neossolo Flúvico	5,44 a
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	8,16 b
Neossolo Quartzarênico Órtico	15,77 b
Plintossolo	32,43 c
Latossolo Amarelo	63,56 d
Concreção Plintossolo	116,88 e
Argissolo Amarelo	207,32 f
Gleissolo Háptico	207,84 f
Terra Preta de Índio	258,08 g

¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância. Erro padrão 0,01.

9.9. Arsênio (As)

Os resultados nos permitem concluir que houve diferença significativa entre os solos estudados em relação ao teor natural de arsênio, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes de cada um deles. O teor de arsênio nas Concreções do Plintossolo e no Espodossolo foi significativamente superior ao teor detectado nos demais solos (Quadro 19). As demais amostras de solo formam um grupo com teores de arsênio estatisticamente iguais quanto aos teores naturais deste elemento pelo teste de Scott-Knott ao nível nominal de 5% de significância.

Quadro 19. Valores médios do teor natural de arsênio, em mg kg^{-1} , nos três primeiros horizontes dos solos estudados

Solos	Médias¹
Latossolo Amarelo	0,00 a
Plintossolo	0,00 a
Terra Preta de Índio	0,00 a
Gleissolo Háptico	0,00 a
Argissolo Amarelo	0,00 a
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	0,00 a
Neossolo Quartzarênico Órtico	0,76 a
Neossolo Flúvico	2,32 a
Espodossolo	6,59 b
Concreção Plintossolo	9,19 b

¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância. Erro padrão 0,01.

10. Correlação de teores de metais pesados e atributos físicos e químicos dos solos

Os atributos físicos e químicos do solo contribuem decisivamente para o comportamento apresentado por este corpo natural. Com relação aos metais pesados é de se esperar que um solo mais argiloso apresente em seu complexo sortivo uma quantidade maior destes elementos, se levarmos em consideração apenas esta característica. Outra característica que influencia este processo é o pH do solo (Rieuwerts et al., 1998). Este atributo contribui para a formação de cátions metálicos livres, quando há uma diminuição de seus valores. Já o seu aumento do pH favorece a formação de complexos metálicos, ou seja mais difíceis de se tornarem livres no ambiente (Sobrinho et al., 2009). Essas outras características precisam ser avaliadas no que diz respeito a sua correlação com os metais pesados, constituindo dessa maneira um banco de dados importante para o monitoramento destes solos.

10.1. Latossolo Amarelo

Os metais pesados Cr, Cu e Zn foram aqueles que apresentaram os teores mais elevados para o Latossolo Amarelo estudado. Dentre aqueles com maiores teores determinados, o Cr se destacou (Quadro 20). Os atributos dos solos que mais se correlacionaram com os metais pesados em questão foram: Matéria orgânica e Silte (Quadro 20). Situação semelhante ocorreu para o Neossolo Flúvico (Quadro 21). Para este solo, os metais anteriormente citados também foram os mais importantes em termos de teores mais elevados nas amostras estudadas (Quadro 9). Entretanto, para este solo, os atributos que mais correlacionados com os teores destes metais foram: Areia fina, Silte e Fósforo (Quadro 21).

Quadro 20. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ($p < 0,01$) de teores de metais pesados e atributos do Latossolo Amarelo.

ATRIBUTOS	Cr	Cu	Zn
pH H ₂ O	0,35	0,36	0,33
AF	0,20	0,17	0,32
Silte	0,67	0,68	0,69
Argila	0,80	0,22	0,58
MO	0,78	0,80	0,73

As correlações são significativas a um nível de significância de 1 %; AF – areia fina; MO – matéria orgânica.

10.2. Neossolo Flúvico

Quadro 21. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ($p < 0,01$) de teores de metais pesados e atributos do Neossolo Flúvico.

ATRIBUTOS	Cr	Cu	Zn
pH H ₂ O	0,24	0,35	0,22
AF	0,80	0,87	0,92
Silte	0,76	0,84	0,91
P	0,93	0,87	0,90
MO	0,37	0,42	0,35

As correlações são significativas a um nível de significância de 1%; AF – areia fina; MO – matéria orgânica; P – fósforo.

10.3. Argissolo Amarelo

Os atributos do Argissolo Amarelo: pH (H₂O), teor de argila e Matéria Orgânica foram aqueles que mais se correlacionaram com os metais pesados Cr, Ba e Zn (Quadro 22). Estes elementos foram os que apresentaram maior significância ($p < 0,01$) na correlação com os atributos anteriormente citados (Quadro 22).

Quadro 22. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ($p < 0,01$) de teores de metais pesados e atributos do Argissolo Amarelo.

ATRIBUTOS	Cr	Ba	Zn
pH H ₂ O	0,60	0,40	0,51
P-rem	0,51	0,37	0,37
Silte	0,34	0,20	0,64
Argila	0,58	0,70	0,43
MO	0,78	0,93	0,81

As correlações são significativas a um nível de significância de 1%; AF – areia fina; MO – matéria orgânica.

10.4. Plintossolo

Os metais pesados Cr, Cu e Zn foram aqueles que apresentaram os teores mais elevados para o Plintossolo estudado e dentre eles o Zn obteve os maiores valores (Quadro 9). Os atributos dos solos que mais se correlacionaram com os metais pesados em questão foram: Matéria orgânica e Silte (Quadro 23).

Quadro 23. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ($p < 0,01$) de teores de metais pesados e atributos de Plintossolo.

ATRIBUTOS	Cr	Cu	Zn
pH H ₂ O	0,29	0,55	0,47
AF	0,59	0,70	0,79
Silte	0,74	0,85	0,90
Argila	0,92	0,91	0,89
MO	0,86	0,94	0,92

As correlações são significativas a um nível de significância de 1%; AF – areia fina; MO – matéria orgânica.

10.5. Neossolo Quartzarênico Hidromórfico

Os metais pesados Cr, Cu e Zn foram aqueles que apresentaram os teores mais elevados para o Neossolo Quartzarênico Hidromórfico estudado e dentre eles o Zn obteve os maiores valores (Quadro 9). Entretanto, os atributos deste solo apresentaram correlação significativa a um nível de significância de 1% com os elementos Cr, Cd e Ni (Quadro 24). Dentre os atributos com maior correlação, para este solo, o pH (H₂O) e argila (Quadro 24) se destacaram. O teor de silte apresentou correlação significativa ($p < 0,01$) negativa com o cádmio e o níquel apresentou correlação negativa com o teor de P-rem.

Quadro 24. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ($p < 0,01$) de teores de metais pesados e atributos do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico.

ATRIBUTOS	Cr	Cd	Ni
pH H ₂ O	0,78	0,60	0,62
P-rem	0,48	0,51	-0,71
Silte	0,63	-0,32	0,29
Argila	0,91	0,87	0,81
MO	0,67	0,90	0,63

As correlações são significativas a um nível de significância de 1%; AF – areia fina; MO – matéria orgânica.

10.6. Neossolo Quartzarênico Órtico

Os metais pesados Cr, Cu e Zn foram aqueles que apresentaram os teores naturais mais elevados para o Neossolo Quartzarênico órtico estudado e dentre eles o Zn obteve os maiores valores (Quadro 9). Entretanto, os atributos deste solo apresentaram correlação significativa a um nível de significância de 1% com os elementos Cr, Cd e Ni (Quadro 25). Dentre os atributos com maior correlação, para este solo, argila e matéria orgânica (Quadro 25) se destacaram. O teor de silte apresentou correlação significativa ($p < 0,01$) negativa com o cádmio e o níquel apresentou correlação negativa com o teor de P-rem.

Quadro 25. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ($p < 0,01$) de teores de metais pesados e atributos do Neossolo Quartzarênico.

ATRIBUTOS	Cr	Cd	Ni
pH H ₂ O	0,63	0,76	0,47
P-rem	0,37	0,35	-0,64
Silte	0,55	-0,48	0,36
Argila	0,94	0,90	0,89
MO	0,75	0,63	0,84

As correlações são significativas a um nível de significância de 1%; AF – areia fina; MO – matéria orgânica

10.7. Gleissolo

Os metais pesados Ba, Cr e Zn foram aqueles que apresentaram os teores mais elevados para o Gleissolo estudado e dentre eles o Ba obteve os maiores valores (Quadro 9). Os atributos deste solo apresentaram correlação significativa a um nível de significância de 1% com estes mesmos elementos que perfizeram os maiores teores nas amostras estudadas, ou seja, Ba, Cr e Zn (Quadro 26). Dentre os atributos com maior correlação, para este solo, argila e matéria orgânica (Quadro 26) se destacaram.

Quadro 26. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ($p < 0,01$) de teores de metais pesados e atributos do Gleissolo.

ATRIBUTOS	Cr	Zn	Ba
pH H ₂ O	0,66	0,55	0,50
P-rem	0,48	0,79	0,80
Silte	0,73	0,56	0,79
Argila	0,95	0,76	0,95
MO	0,69	0,91	0,93

As correlações são significativas a um nível de significância de 1%; AF – areia fina; MO – matéria orgânica.

10.8. Terra Preta de Índio

Os metais pesados Ba, Cr e Zn foram aqueles que apresentaram os teores mais elevados para a Terra Preta de Índio estudada e dentre eles o Ba obteve os maiores valores (Quadro 9). Entretanto, os atributos deste solo apresentaram correlação significativa a um nível de significância de 1% com os seguintes elementos: Ba, Cu e Zn (Quadro 27). Dentre os atributos com maior correlação, para este solo, P-rem e matéria orgânica (Quadro 27) se destacaram.

Quadro 27. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ($p < 0,01$) de teores de metais pesados e atributos da Terra Preta de Índio.

ATRIBUTOS	Ba	Cu	Zn
pH H ₂ O	0,38	0,49	0,76
P-rem	0,65	0,94	0,91
Silte	0,83	0,49	0,87
Argila	0,86	0,80	0,83
MO	0,95	0,94	0,90

As correlações são significativas a um nível de significância de 1%; AF – areia fina; MO – matéria orgânica.

10.9. Espodossolo

Os metais pesados Cr, Cu e Zn foram aqueles que apresentaram os teores mais elevados para o Espodossolo estudado e dentre eles o Zn obteve os maiores valores (Quadro 9). Os atributos deste solo apresentaram correlação significativa a um nível de significância de 1% com estes mesmos elementos que perfizeram os maiores teores nas amostras estudadas, ou seja, Cr, Cu e Zn (Quadro 28). Dentre os atributos com maior correlação, para este solo, argila e matéria orgânica (Quadro 28) se destacaram.

Quadro 28. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ($p < 0,01$) de teores de metais pesados e atributos do Espodossolo.

ATRIBUTOS	Cr	Cu	Zn
pH H ₂ O	0,72	0,59	0,87
P-rem	0,59	0,64	0,69
Silte	0,66	0,79	0,75
Argila	0,75	0,89	0,90
MO	0,95	0,85	0,96

As correlações são significativas a um nível de significância de 1%; AF – areia fina; MO – matéria orgânica.

11. CONCLUSÕES

Os solos estudados apresentam composições mineralógicas distintas de acordo com a sua posição na paisagem. Solos de várzea apresentaram minerais do tipo 2:1 em maior quantidade do que aqueles localizados na terra firme. Este comportamento parece ter influenciado nos teores naturais de metais pesados, uma vez que, de forma geral, os solos com maior presença de minerais do tipo 2:1 também apresentaram teores elevados de metais pesados.

Os teores de metal nos solos da bacia sedimentar da Amazônia estudados seguiram, de forma geral, a seguinte ordem decrescente: Ba, Zn, Cr, Cu, Pb, Ni, Co, Cd e As;

Correlações significativas foram estabelecidas entre os metais e destes com os atributos dos solos. Silte, Argila e matéria orgânica do solo (MO) se destacam, indicando uma associação mais relevante destes elementos com as frações mais finas do solo;

Atributos como pH, teores de matéria orgânica (MO), teores de óxidos de ferro e alumínio, proporções de argila e silte, podem ser as principais características dos solos responsáveis pela maior associação dos metais pesados estudados com os solos, além do material de origem.

12. BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO, F.S.; SOUZA, R.B. & FONSECA, C.A. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Viçosa, MG, Editora UFV, 2001. 131p.

ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils, In: Heavy metals in soils. B.J. ALLOWAY (ed.) Blackie, Glasgow and London, 1990. p. 29-39. 1990.

ALLOWAY, B.J. Heavy metals in soils. London: Blackie A e P, 1995. 368p.

BASTOS, T.X. O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia Brasileira. In: Zoneamento Agrícola da Amazônia (1a Aproximação). Belém, Boletim Técnico No 54 do IPEAN. p- 68-122, 1972.

BIONDI, C.M. Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010. (Tese de doutorado).

BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofométrica de P em extratos de solo e planta. R. Ceres, 21:73-85, 1974.

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

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. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2009. 321 p. (Tese de doutorado).

CALDERANO, S. B.; DUARTE, M. N.; GREGORIS, G. Análise mineralógica das frações finas do solo por difratometria de raios-X. Comunicado Técnico 53 CNPS EMBRAPA. Rio de Janeiro, 2009.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUSA JR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C.; ALMEIDA, M. C. Características mineralógicas de Latossolos e Argissolos na região sul do Amazonas. *Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient., Curitiba*. 9(1):11-18, 2011.

COFFIN, D.E. A method for the determination of free iron in soils and clays. *Can. J. Soil Sci.*, 43:7-17, 1963.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO N° 420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009, 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 20 de abril de 2012.

CORREA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F.; CURI, N. Propriedades cristalográficas de caulinitas de solos do ambiente tabuleiros costeiros, Amazônia e Recôncavo Baiano. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 32:5, 2008.

DANTAS, M. E.; ARMESTO, R. C. G.; ADAMY, A. Origens das paisagens. In: SILVA, C. R. Ed. *Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro*. Rio de Janeiro, CPRM, 2008.

DEMATTE, J. L. I; DEMATTE, J. A. M. Comparações entre as propriedades químicas de solos da região da floresta amazônica e do cerrado do Brasil central. *Sci. Agric.*, 50(2): 272-286, 1993.

DEMATTE, J.A.M.; ALOISI, R.R; DEMATTE, J.L.I. Sequência Latossolo Amarelo - Podzólico Amarelo - Areias Quartzosas sob material da formação barreiras na região de Tucuruí, estado do Pará. *Sci. Agric.*, 51(2): 345-356, 1994.

DIXON, J.B. Kaolin and serpentine group minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. *Minerals in soil environments*. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.467-525.

EMBRAPA. CNPS. Mapa de solos do Brasil. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro, 1981. 9 p. Comunicado expositivo do mapa de solos do Brasil.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise do solo. 2º ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos, Rio de Janeiro. 1997. 212p

FAJARDO, J. D. V.; SOUZA, L. A. G.; ALFAIA, S. S. Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra, na calha dos rios baixo Solimões e médio Amazonas. *Acta Amazonica*, 39(4): 731-740, 2009.

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.; MATOS, A. T. DE., COSTA, L. M. & NEVES, J. C. L. Competitive adsorption of Zn, Cd, Cu and Pb in three highly weathered Brazilian soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31: 2939- 2958, 2000.

FONTES; M. P. F, CAMARGO; O. A. & SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agrícola*, 2001.

GOMES, P. C.; FONTES, M. P. F.; SILVA, A. G.; MENDONÇA, E. S.; NETTO, A. R. Selectivity sequence and competitive adsorption of heavy metals by Brazilian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:115-1121, 2001.

GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. *Tópicos em Ciência do Solo*, 4:345-390, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Vegetação do Brasil. Rio de Janeiro, R.J. 1988.

IBGE/SUDAM. ZOPOT - Zoneamento das Potencialidades dos Recursos Naturais da Amazônia Legal. IBGE. Rio de Janeiro, 1990.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “Geoestatísticas” revelam patrimônio ambiental da Amazônia Legal. Acesso em Junho de 2011. http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1887&id_pagina=1

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

KERN, D. C.; KAMPF, N. Ação antrópica e pedogênese em solos com Terra Preta em Cachoeira-Porteira, Pará. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. 1 (2): 187-201, 2005.

LAIR, G. J.; GERZABEK, M. H.; HABERHAUER; G. Sorption of heavy metals on organic and inorganic soil constituents. Environmental Chemistry Letters, v.5, n.1, p.23–27, 2007.

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

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do alto Solimões, Amazônia Ocidental. R. Bras. Ci. Solo, 30:59-68, 2006.

LOPES. E. L. N.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; RUIVO, M. L. P.; RODRIGUES, T. E; SARRAZIN, M. Características químicas de um Gleissolo sob diferentes sistemas de uso, nas margens do rio Guamá, Belém, Pará. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. 1 (1): 127-137, 2006.

MACEDO, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) em áreas de várzea do Rio Solimões, AM. Manaus, 2009. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal do Amazonas.

MAGDOFF, F. Building Soils for Better Crops: Organic Matter Management. Lincoln: Univ. of Negraska Press, 1992. 433p.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. Edição. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; JUNIOR, O. F. C.; BATISTA, S. M.; AFONSO, M. A. C. B. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. Acta Amazonica, 40(1): 1-12, 2010.

MATOS, A. T., FONTES, M. P. F., DA COSTA, L. M., & MARTINEZ, M. A. Mobility of heavy metals as related to soil chemical and mineralogical characteristics of Brazilian soils. Environmental Pollution, 11: 429-433, 2001.

McKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite and oxalate extractable e Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils: Can. J. Soil Sci. 46, 13-22. 1966.

MEKARU, T.; UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. Soil Science Society America Proceedings, v.36, p.296-300, 1972.

MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; MELO, W. J. Metais pesados em solos brasileiros. Disponível em: <
<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/CB5F6214/LODOMETAL.pdf>>. Acesso em: 20 de julho de 2012.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Determination of total nitrogen in plant material. Agron. J. 65:109-112, 1973.

NEVES, E. J. M.; MARTINS, E. G.; REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e de nutrientes de duas espécies da Amazônia. Bol. Pesq. Fl, 43: 47-60, 2001.

OLIVEIRA, T.S. Metais pesados como indicadores de materiais de origem. Viçosa: UFV, 1996 (Tese Doutorado).

OLIVEIRA, T.S.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M.; & HORN, A. Relationship between magnetization and trace elements of Brazilian soils from different parent materials. Soil Science, 165: 825-834, 2000.

OLIVEIRA, J. B. Pedologia Aplicada. 3. Ed. Piracicaba, FEALQ, 529 p, 2008.

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

PAYE, H. S.; MELLO, J. W. V.; ABRAHÃO, W. A. P.; FILHO, E. I. F.; DIAS, L. C. P.; CASTRO, M. L. O.; MELO, S. B.; FRANÇA, M. M. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 34(6): 2041-2051, 2010.

PESSOA JUNIOR, E. S. F.; SOUZA, W. B.; SOUZA, K. S.; PIO, M. C. S.; SANTANA, G. P. Terra Preta de Índio na região amazônica. Scientia Amazonia, 1(1): 1-8, 2012.

RESENDE, M. Pedologia. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1982. 100p.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações. Lavras: Editora UFLA. 192p. 2005.

RODRIGUES, T.E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.H.; FONTES, M.P.F. (Eds). O Solo nos Grande Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Departamento de Solos, UFV. Viçosa, MG. 1996.

RUIZ, H. A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife - PE. CD-ROM. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005a.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005b.

SANTOS, R. D.; & LEMOS, R. C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. SBCS. 2005. Campinas, 45p.

SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. Minerals in soil environment. 2. ed. Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1989. p. 379-438.

SILVA, C. J.; LOBO, F. A.; BLEICH, M. E.; SANCHES, L. Contribuição de folhas na formação da serrapilheira e no retorno de nutrientes em floresta de transição no norte de Mato Grosso. Acta Amazonica, 39(3): 591 – 600, 2009.

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

SOARES, M. C. C.; MIZUSAKI, A. M. P.; GUERRA T., & VIGNOL, M. L. Análise Geoquímica dos Sedimentos de Fundo do Arroio do Salso, Pesquisas em Geociências, 31(1): 39-50, 2004.

STEVENSON, F. J., & COLE, M. A. Micronutrients and toxic metals. In: STEVENSON, F. J., COLE, M. A. Cycles of soil. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. p. 371 – 414.

TRINDADE, E. F. S.; RODRIGUES, T. E.; CARVALHO, E. J. M.; CORREA, P. C. S. Matéria orgânica e atributos físicos de um Argissolo Amarelo distrófico no Nordeste Paraense. Amazônia: Ci. & Desenv., Belém. 5(9):187-198, 2009.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em 25 de março de 2012.

VALE JR, J. F.; SOUZA, M. I. L.; NASCIMENTO, P. P. R. R.; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. *Revista Agro@mbiente*, v. 5(2): 158-165, 2011.

VETTORI, L. Métodos de Análises de Solo. Ministério de Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo (Brasil), Boletim Técnico 9. 1969. 24p.

XU, X. N.; HIRATA, E. Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* plantations with and without broad-leaved trees. *Forest Ecology and Management*, 157: 165-173, 2002.