



Universidade Federal do Amapá
Pró - Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação



Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

EDER SOUTO BATISTA

MINERALOGIA E FÓSFORO DISPONÍVEL EM SOLOS DO VALE DO JARI

MACAPÁ-AP

2020

EDER SOUTO BATISTA

MINERALOGIA E FÓSFORO DISPONÍVEL EM SOLOS DO VALE DO JARI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Nilson dos Santos Ferreira.

Co-orientador: Dr. Marcelino Carneiro Guedes

MACAPÁ-AP

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá
Elaborado por Jamile da Silva - CRB2/1010

Batista, Eder Souto.

Mineralogia e fósforo disponível em solos do Vale do Jari / Eder Souto Batista ; Orientador, Nilson dos Santos Ferreira ; Co-orientador, Marcelino Carneiro Guedes. – 2020.

99 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

1. Amazônia. 2. Solos - Fertilidade. 3. Fósforo. 4. Argilominerais. I. Ferreira, Nilson dos Santos, orientador. II. Guedes, Marcelino Carneiro, co-orientador. III. Fundação Universidade Federal do Amapá. IV. Título

631.4 B333m
CDD. 22 ed.

EDER SOUTO BATISTA

MINERALOGIA E FÓSFORO DISPONÍVEL EM SOLOS DO VALE DO JARI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovada em 06 de fevereiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Nilson dos Santos Ferreira

Dr. Nilson dos Santos Ferreira (UFS)

Lina Bufalino

Dra. Lina Bufalino (UFRA)

Tiago Marcolino de Souza

Dr. Tiago Marcolino de Souza (UEAP)

Sérgio Orlando de Souza Batista

Dr. Sérgio Orlando de Souza Batista (UEAP)

DEDICATÓRIA

Dedico a Adolfo Ferreira Souto, registro o quanto você faz falta. Este trabalho é dedicado também em memória de Clarice Porto Batista, Luiz Carlos Batista, Doralice de Oliveira Souto, que estiveram presentes em fases importantes da minha trajetória.

À minha mãe Edna de Oliveira Souto Porto Batista, e ao meu pai, Paulo Emílio Porto Batista, dedico também à minha irmã Marja Batista e ao meu irmão Pablo Batista. Ofereço e dedico à minha querida filha, Amélie Souto, com amor.

Aos meus queridos amigos e amigas, que sempre estiveram comigo nessa caminhada há alguns anos, Arthur Souto, Gabrielly Santos, Davi e Marta Kohls, guardo todas as nossas vivências e alegrias, com muito respeito e muito carinho.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA).

Ao professor Doutor Nilson dos Santos Ferreira, pela orientação e incentivo, sou muito grato pela paciência que teve comigo, pela atenção, por acreditar em mim, por todas as conversas, orientações e atividades no laboratório da UFPA, foram de extrema importância para realização deste trabalho.

Ao professor Doutor Marcelino Carneiro Guedes, por todas as orientações, revisões, indicações, pelas aulas, por todo aprendizado nas viagens de campo, por me receber pacientemente na EMBRAPA-AP inúmeras vezes, sendo de vital importância sua participação nesta pesquisa.

A todos os (as) professores (as) do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), foram fundamentais em minha formação e aprendizado, para a compreensão dos grandes desafios de se fazer pesquisa neste país.

À Universidade do Estado do Amapá (UEAP), em especial ao Laboratório de Biotecnologia da Amazônia – LABTAM, na qual desenvolvi atividades na disciplina de Tecnologias de Energias renováveis, ministrada pela professora Doutora Lina Bufalino, igualmente grato aos seus ensinamentos, de grande relevância pra entender as práticas de laboratório.

À Universidade Federal do Pará, especialmente ao Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações, coordenado pelo professor Doutor Marcondes Lima, e também à Gláycy Valente pela ajuda com as análises de MEV-EDS, experiências onde pude entender mais sobre solos Amazônicos.

À Universidade Federal de Sergipe, e ao laboratório de Física aplicada, que possibilitou condições para realização das análises de DRX.

À Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária – EMBRAPA-AP, e ao Laboratório de Solos – EMBRAPA-AP, pelas análises, apoio técnico e parceria em auxiliar à realizar esta pesquisa, sem a qual, seria impossível sua viabilidade e concretização.

À amiga Carliane Maria Guimarães Alves, pois minha trajetória no curso de mestrado PPGCA, se inicia com seu incentivo; por sempre ser solícita em todas as dúvidas no decorrer do curso. Ao amigo Jefferson Bezerra Bezerra, pela colaboração no laboratório LABTAM, pela tolerância e paciência em explicar a aplicação dos programas nas análises e processamento de dados, sou muito grato à amizade e ao apoio de vocês.

A todos os colegas de curso, com os quais pude conviver, aprender, discutir, debater e que contribuíram para que eu sempre encontrasse motivos pra não desistir, sou grato pela companhia e contribuição de todos.

RESUMO

BATISTA, S. E. **Mineralogia e Fósforo disponível em solos do vale do Jari. 100 f. Dissertação** – Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2020.

A região Amazônica é reconhecida por ser a maior floresta tropical do planeta, se destacando por sua gigantesca heterogeneidade pedológica. Toda essa superestrutura é tradicionalmente descrita constituída de solos reconhecidamente inférteis, ácidos, ricos em hidróxidos de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$ e óxidos de ferro Fe_2O_3 , além de altamente intemperizados o que coloca em questão o debate sobre fertilidade. Foram realizadas coletas em solos alterados por fatores não naturais, em localidades no Vale do Jari: 1) Retiro do Miguel (AM1); 2) Localidade Roça da Panela (AM2); 3) Resex Cajari (AM3); 4) Roça do Cláudio (AM4); 5) Retiro do Neguinho em Jarilândia (AM5) e 6) Terrenos nos entornos do IFAP em Laranjal do Jari (AM6). Testes de atributos de fertilidade e granulometria foram realizados em conjunto com análise do fósforo disponível (P) Mehlich-1, que foi quantificado por espectrofotometria, utilizando-se a leitura de cor produzida pela redução da relação entre o Molibdato de amônio com o ácido ascórbico, extraído na solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ + H_2SO_4 0,0125 mol L⁻¹, indicando boa disponibilidade para todas as coletas, excluindo-se apenas AM6, com P disponível = 4 mg/dm³. Nos testes com MEV-EDS, foram gerados dados de quantificação, sendo possível criar e discutir gráficos de regressões lineares, condicionando o fósforo como variável presente em todas as relações, desde a fração coloidal de argilominerais, aos teores de Fe, Mn, Ti, Zr e Si. Com os difratogramas de DRX, utilizando-se do método Rietveld, foi possível realizar a identificação dos minerais cristalinos. Através da análise qualitativa dos difratogramas de DRX, foram determinados os minerais predominantes na fração argila dos solos com picos intensos e característicos de Caulinita (0,732 nm), Halloysita (0,720nm) e Quartzo (0,334nm). O caráter caulínico foi predominante em todas as amostras, com picos intensos de caulinita (0,732 nm). A concentração dos colóides argilominerais, juntamente com os colóides orgânicos, explicam a capacidade de retenção dos nutrientes, favorecendo a fertilidade dos solos alterados estudados, todavia, se destacou uma relação negativa do fósforo com as fações de argilominerais em destaque, nas amostras analisadas, visto que quanto mais intemperizado for um solo, mais óxidos de goethita serão formados e assim, maior será a capacidade de adsorção do elemento.

Palavras-chave: Amazônia, solos, Fertilidade, Fósforo, Argilominerais.

ABSTRACT

BATISTA, S. E. Mineralogy and Phosphorus available in soils of the Jari valley. 100 p. Master Thesis – Department of Environment and Development, Federal University of Amapá, Macapá, 2020.

The Amazon region is known for being the largest tropical forest on the planet, standing out for its large pedological heterogeneity. This region is traditionally assigned to have infertile, acidic, rich in aluminum hydroxides $\text{Al}(\text{OH})_3$ and iron oxides Fe_2O_3 soils, in addition, as being highly weathered, which set debates about its fertility. Sampling were carried out in Amazonian soils altered by unnatural factors, in the following locations in Vale do Jari: 1) Retiro do Miguel (AM1); 2) Roça da Panela (AM2); 3) Resex Cajari (AM3); 4) Roça do Cláudio (AM4); 5) Retiro do Neguinho in Jarilândia (AM5) and 6) Land around IFAP in Laranjal do Jari (AM6). Tests of fertility attributes and granulometry were performed in conjunction with analysis of the available phosphorus (P) Mehlich-1, which was quantified by spectrophotometry, using the color reading produced by reducing the relationship between ammonium molybdate and ascorbic acid, extracted in the HCl solution 0.05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0.0125 mol L⁻¹, indicating good availability for all sample data, except for AM6, with available P = 4 mg / dm³. In the tests with SEM-EDS, quantification data were generated, making it possible to discuss the results by linear regressions, conditioning P as a variable present in all relations, from the colloidal fraction of clay, to the levels of Fe, Mn, Ti, Zr and Si. XRD diffractograms were used to Rietveld analysis, it was possible to perform the identification and quantification of crystalline phases. Through the qualitative analysis of XRD diffractograms, the predominant minerals in the clay fraction of the soils with intense and characteristic peaks of Kaolinite (0.732 nm), Halloysite (0.720 nm) and Quartz (0.334 nm) were determined. The kaolinitic character was predominant in all samples, with intense kaolinite peaks (0.732 nm). The concentration of colloidal clay, together with colloidal organic matter, explains the nutrient retention capacity, favoring to fertility of the altered soils studied. However, a negative relationship of P with the clay fractions was detected, it seems that the more weathered the soil is, the more goethite will be present and thus, the greater the P adsorption is done by goethite.

Keywords: Amazon, Soils, Fertility, Phosphorus, Clay

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1 O Vale do Jari: Ecologia histórica e Territorialidades.....	15
3.2 Aspectos geográficos, físicos e ambientais do Vale do Jari.	19
3.3 Intemperismo e Pedogênese.....	19
3.3.1 Intemperismo.....	20
3.3.2 Intemperismo químico.....	20
3.3.3 Intemperismo Biológico	22
3.3.4 Pedogênese	23
3.4 Solos Amazônicos.....	30
3.4.1 Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-amarelos	30
3.4.2 Argissolo Vermelho- amarelo	31
3.4.3 Luvisolos.....	31
3.4.4 Plintossolos	31
3.4.5 Espodossolos	31
3.4.6 Neossolos	32
3.4.7 Cambissolos	32
3.4.8 Gleissolos	32
3.4.9 Nitossolos	32
3.4.10 Antrossolos: As Terras pretas de Índio da Amazônia	33
3.5 Geologia dos solos Sul-Amapaenses: Vale do Jari.....	37
3.5.1 Formação trombetas	37
3.5.2 Formação Curuá	37
3.5.3 Formação Barreiras	38
3.5.4 Aluviões	38
3.5.5. Período do quaternário	38
3.5.6 Período do terciário	39
3.5.7 Período Devoniano.....	39

3.5.8 Período Ordoviciano	39
3.5.9 Os solos do Vale do Jari	41
3.6 Mineralogia de solos amazônicos no Vale do Jari	43
3.6.1 Granulometria e textura dos solos	44
3.6.1.1 Areia	44
3.6.1.2 Silte	44
3.6.1.3 Argila	45
3.6.2 A disponibilidade de Fósforo	46
3.6.3 Fósforo disponível e elementos químicos predominantes em solos florestais	48
3.6.4 <i>Solos não naturais</i> e o Fósforo disponível	55
4 MATERIAL E MÉTODOS	57
4.1 Descrição da Área de Estudo	57
4.2 Sondagem e coleta das amostras	58
4.3 Etapas em Laboratório e granulometria das amostras.	60
4.4 Fósforo disponível	60
4.5 Textura: Areia, Silte e Argila	60
4.6 Análises mineralógicas	61
4.6.1 Difração de Raios X (DRX)	61
4.6.2 Microscópio eletrônico de varredura (MEV) com espectrômetro de energia EDS acoplado	62
4.6.3 Análise de dados	63
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1 Atributos da análise de rotina utilizada para avaliação da fertilidade	63
5.2 Descrição dos atributos da fertilidade dos solos	65
5.2.1 pH	65
5.2.2 Al e acidez potencial	65
5.2.3 Fósforo disponível	66
5.2.4 Matéria orgânica	67
5.2.5 Capacidade de troca de Cátions	68
5.2.6 Saturação por bases	68
5.2.7 Soma de Bases	69
5.2.8 Potássio	69
5.2.9 Cálcio	69
5.3 Granulometria	70

5.4 MEV-EDS.....	72
5.4.1 Teor de argila e Fósforo disponível.....	72
5.4.1.1 Relação do P disponível com a mineralogia e os tipos de argilominerais ..	75
5.4.2 Relações do P disponível com os teores totais dos elementos constituintes da estrutura do solo	76
5.4.2.1 Fósforo e teor Ferro (Fe)	76
5.4.2.2 Fósforo e teores de manganês, titânio e zircônio	77
5.4.2.3 Fósforo e teor de Silício (Si)	81
5.5 Mineralogia da fração de solo (DRX)	82
Conclusão	84
APÊNDICE A– DIFRATOGRAMAS DE DRX	86
APÊNDICE B – AUTORIZAÇÃO PARA COLETA DE SOLOS	89
REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica é reconhecida internacionalmente por ser a maior floresta tropical do planeta, se destacando por possuir uma gigantesca biodiversidade. Toda essa superestrutura florestal, trás à tona sua importância pedológica, tradicionalmente, são solos reconhecidos por serem inférteis, ácidos, ricos em hidróxidos de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$ e óxidos de ferro Fe_2O_3 , além de altamente intemperizados (CAMPOS et al., 2016). Todavia, novas pesquisas têm apontado que existem perfis de ecossistemas terrestres com alto teor de fósforo disponível, demonstrando terem sido modificados por fatores não naturais, identificados no vale do Jari, região localizada ao sul do estado do Amapá, com um imenso potencial de recursos ambientais (GREISSING, 2010).

Os solos do Vale do Jari são um recorte da vasta região Amazônica, que em geral, são muito intemperizados e bastante argilosos já que predominam Latossolos e Argissolos, esses ecossistemas acabam atuando como um “dreno” para o fósforo (P), concorrendo com a vegetação pelo nutriente (ZAIA et al., 2008).

A fertilidade de ecossistemas terrestres envolve uma discussão profunda sobre os constituintes do solo, principalmente o fósforo, geralmente encontrado na forma de fosfatos P_2O_5 , H_2PO_4^- , e HPO_4^{2-} (ULIANA 2010), reagindo e adsorvendo facilmente com Al^{3+} e Fe^{3+} (EMÍDIO, 2012).

Os fatores que podem alterar a composição desses ecossistemas podem ser os mais variados e a interação antrópica (pretérita ou recente) é uma possibilidade a ser considerada, a saber, um tipo específico que tem atraído a atenção de pesquisadores do mundo todo, chamados de *Antrossolos*, também conhecidos como *Terras Pretas de Índio*, para a ciência pedológica, são solos ricos em matéria orgânica, alterados quimicamente desde a sua pré-história, com perfis exclusivos, únicos na pedosfera, de cor muito escura, com teores elevados de *Ca, Mg, P, C, Zn, Cu, Sr e Ba* (KERN, 1996; RODRIGUES et al., 2003; MESCOUTO et al., 2011).

Com base nisso, a finalidade desta pesquisa foi caracterizar a composição química e mineralógica da fração argila em solos do Vale do Jari, a fim de verificar a fertilidade e a disponibilidade do fósforo, ampliando os conhecimentos sobre a região;

compreendendo a interface dos ecossistemas terrestres com os Florestais, sua origem e formação; contribuindo como um suporte teórico na consolidação de um plano de manejo que beneficie as comunidades da floresta; servindo de apoio técnico à sondagem de novos sítios ou áreas de Antrossolos ainda não descobertos através de assinaturas pedológicas.

Através da análise granulométrica pode-se inferir a evolução intempérica das áreas estudadas, comparar os níveis de formação de partículas e avaliar a concentração do teor de argila em relação aos nutrientes presentes no tecido do solo. Foram verificadas as relações da concentração do P disponível - Mehlich-1 e suas possíveis interações com outros elementos como Fe, Mn, Ti, Si e Zr pelo método de microscopia eletrônica de Varredura com Microsonda de dispersão de Raios-X acoplado (MEV-EDS) e pela Difratomia de Raios-x, experimento que pode demonstrar as fases mais finas dos minerais.

Pesquisas mais recentes têm indicado para a possibilidade de grandes células de solos ao longo das várzeas amazônicas que foram formadas por fatores não naturais como despejo de resíduos, queimadas provocadas, ossos de animais que eram caçados; fezes e urina, ricos em fósforo (REBELLATO, 2007), além de cacos cerâmicos (panelas de barro quebradas), que estariam relacionados à utilidade doméstica no cozimento de alimentos e teriam a capacidade de adsorver o P e posteriormente, liberá-lo ao longo do tempo (PESSOA JUNIOR e SANTANA, 2016; VALENTE e COSTA, 2017).

Por fim, o presente trabalho propõe uma vasta revisão teórica resgatando fatos preliminares de disputas territoriais no Vale do Jari e atual configuração territorial da área, que constitui sua história ecológica envolvendo todos os atores, já que tais solos sempre estiveram à disposição dessas intervenções; preocupou-se em desenvolver uma análise dos processos de Pedogênese, que vai desde a origem, às possíveis alterações e intervenções realizadas nesses ecossistemas; também houve atenção com sua classificação, tipologia, granulometria e mineralogia. Na metodologia, descreveram-se os ensaios e experimentos realizados para o estudo do fósforo e da fração argila, bem como a descrição dos equipamentos utilizados para análises microquímicas elementares realizados com MEV-EDS e o com DRX.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar a fertilidade e mineralogia de solos modificados por fatores não naturais do vale do Jari, visando subsidiar discussões sobre a formação, manejo e conservação de solos de ecossistemas terrestres na Amazônia e suas relações com a ecologia histórica da floresta.

2.2 Objetivos Específicos

- 1) Caracterizar a granulometria, a composição química e mineralógica (argilominerais) de solos modificados por fatores não naturais no Vale do Jari;
- 2) Verificar as relações da concentração do P disponível com a disponibilidade de outros nutrientes e tipos de argilominerais presentes na fração coloidal desses solos, para discutir as modificações ocorridas na fertilidade dos mesmos;
- 3) Analisar as interações dos teores de fósforo disponível com a concentração total de elementos minerais indicadores da composição química e orgânica da estrutura desses solos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O Vale do Jari: Ecologia histórica e Territorialidades

A grandeza paisagística e territorial do vale do Jari já foi ocupada predominantemente por populações nativas da Amazônia, algumas ainda resistem, permanecendo em áreas demarcadas, deixando sinais e vestígios de alterações na paisagem, dentre algumas principais, estão àquelas relacionadas às formas como conseguiam gerenciar e extrair os recursos da natureza, principalmente no que diz respeito ao manejo, não à toa, a busca por manejar as riquezas naturais da região, foi exatamente o mesmo motivo que trouxe outros povos e culturas para dentro dessa história de disputas e conflitos pelo acesso à vasta potencialidade natural na extensão do vale do famoso rio.

O ambiente amazônico, bem como toda estrutura social de seus antigos povos, passou por inúmeras transformações e influências de sociedades com culturas totalmente diferenciadas às suas, principalmente europeias, que imprimiam uma busca massiva por matérias primas e *metais preciosos*. Neste movimento, conhecido como “a primeira globalização”, as populações amazônicas foram sendo expostas às inovações da pós-modernidade, e às transformações políticas ocidentais como a influência direta no ordenamento territorial e a fragmentação de seus territórios promovida pelo Estado (AZEVEDO, 2003).

O Potencial de recursos naturais sempre foi a base e o sustento das comunidades extrativistas e tradicionais dessas florestas tropicais, que constituem-se em extensas áreas de castanhais, “*bertholletia excelsa*”, e com vastos seringueais “*hevea brasiliensis*” (GREISSING, 2010), o que também é apontado em outras literaturas, como uma rede de aporte e manejo intencional, que indica ter sido pensado e organizado por populações nativas, com vários corredores de semeio, coleta e extração de produtos, áreas reconhecidas como antigos assentamentos indígenas, sustentando a hipótese de que esses castanhais eram mantidos para subsistência (RODRIGUEZ, 2002), tão quanto o manejo dos solos nos seus entornos; não obstante, a historiografia remonta às fases iniciais da colonização europeia em conflitos marcados pela cobiça desenfreada pelas famosas drogas ou especiarias do sertão (GREISSING, 2010).

É certo que as políticas que foram implementadas na Amazônia, foram pensadas de maneira bastante equivocada, desconsiderando o potencial dos recursos tecnológicos naturais disponíveis, a exemplo, o desprezo pelo manejo adequado dos ecossistemas terrestres, ou mesmo os ecossistemas florestais nativos, ficando claro que o Estado brasileiro tentou substituir o extrativismo vegetal, por considerá-lo uma “atividade primitiva”, sendo assim tratou as populações tradicionais da mesma forma, não considerando suas realidades (ALMEIDA, 2014).

A árvore da Castanheira pode ser encontrada em toda a região sul amazônica, do ponto de vista científico da engenharia florestal, é uma planta que pode ser inserida para o cultivo racional em áreas que sofreram bastante desmatamento, sendo uma técnica para impedir o avanço desse processo, seu tamanho pode variar a depender do tempo, podendo variar até os 50 metros de altura, são gigantes, seu fruto é a Castanha, que é protegida por uma espécie de ouriço, com uma carapaça muito rígida, quase indestrutível, e sua coleta no solo, pode ser feita principalmente no período das chuvas (ALMEIDA, 2014).

Assim, após coletado o ouriço, é preciso rompê-lo para a extração das amêndoas, que são oleosas e atestadas cientificamente como nutritivas, possuem um gosto saboroso, fazendo parte da dieta dessas populações, as castanhas sofrem uma triagem de seleção até serem transportadas para os pontos de estoque, geralmente associações de moradores nas comunidades locais para serem vendidas (ALMEIDA, 2014).

Ao contrário de um passado de rejeição à políticas de manejo e extrativismo vegetal, mais recentemente, o cenário no Brasil foi sendo alterado com o passar das décadas, o plantio comercial da castanheira por conta do alto rendimento e preços competitivos no mercado internacional chamou atenção, fazendo o Estado brasileiro repensar estratégias de pesquisas mediadas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), fomentando essas instituições que desenvolveram e aprimoraram os processos para germinar sementes, bem como avaliaram a escala de tempo para o crescimento da planta (ALMEIDA, 2014).

É a partir da segunda metade do século XX, que as divisões territoriais atingem amplamente a região, com a criação de diversas fronteiras, bem como a presença do

Estado brasileiro no apoio a projetos de capital estrangeiro, foi implantado o famoso Projeto Jari, do magnata Daniel Ludwig, totalmente voltado para atividades agroindustriais e de produção silvícola (CARVALHO, 2010). As principais intervenções foram ocorrendo no sentido da introdução de espécies exóticas, a saber, a gmelina, o pinus e o eucalipto; a mineração também foi outro fator determinante para transformação das relações ambientais, principalmente a extração de caulim e bauxita, de outro lado, as principais atividades agropecuárias foram a bubalinocultura e rizicultura, - o somatório de todo o impacto ambiental foram catastróficos, culminando numa enorme área desmatada de floresta natural (CROMBERG et al., 2014).

Um mosaico de alterações territoriais pode ser percebido ao logo do tempo, na tentativa de gerenciar a região; unidades federais, estaduais, municipais e privadas, atuam majoritariamente como atores centrais hegemônicos da fragmentação do território, somente na área municipal 31.170,30 km (que não corresponde a todo o vale do Jari) são percebidas unidades como: a parte da Terra Indígena Parque do Tumucumaque; o Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque; a Terra Indígena Waiãpi; a RDS do Rio Iratapuru; a Estação Ecológica do Rio Jari; a Reserva Extrativista do Rio Cajari; a Propriedade da Jari Celulose; o assentamento Agroextrativista do Rio Maracá/INCRA e a sede Municipal de Laranjal do Jari, zona urbana do município (ver figura 1) (RABELO, 2004).

A seguir, o mapa dos processos de fragmentação do território no Vale do Jari:

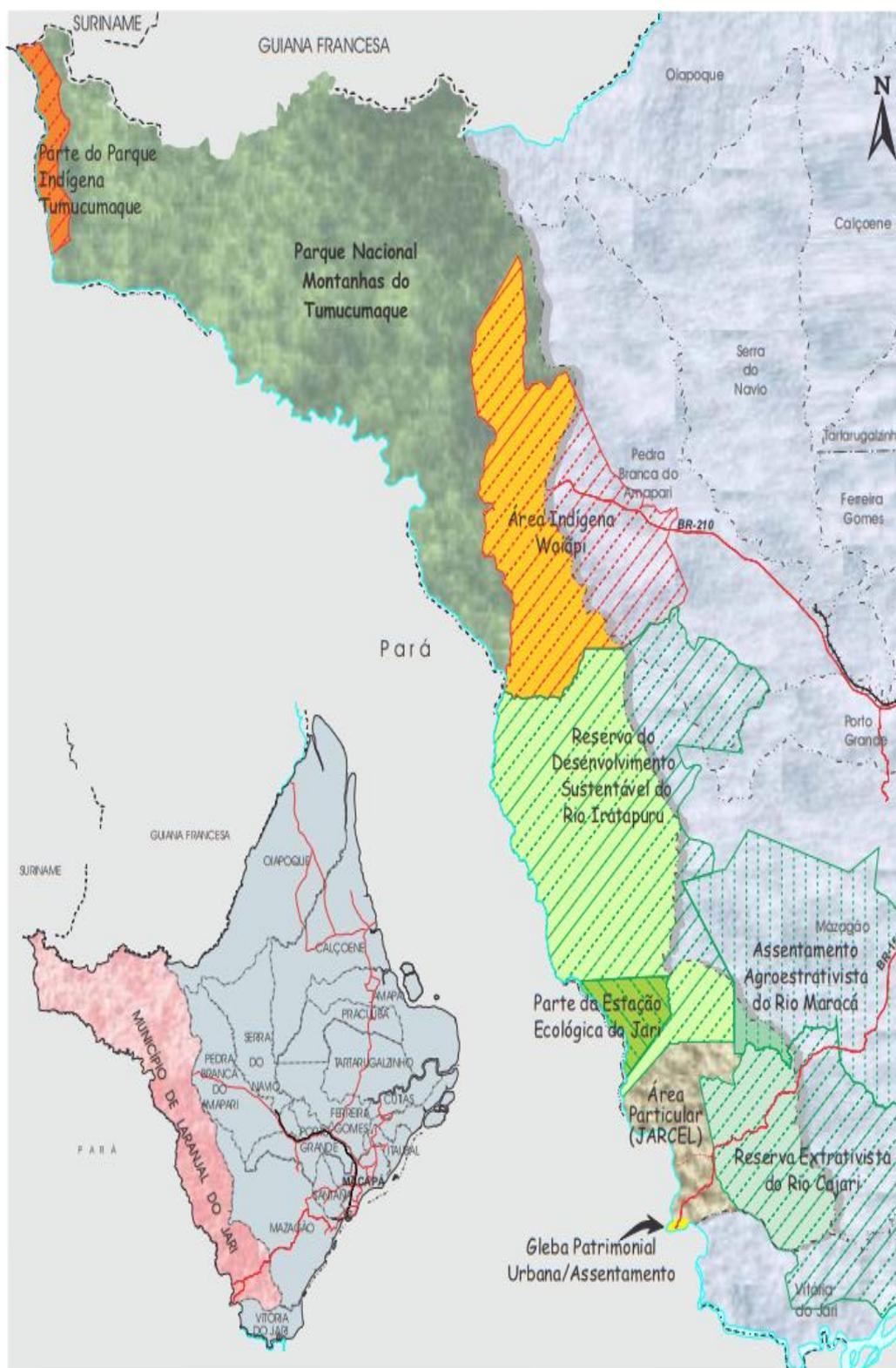


Figura 1 – Fragmentação territorial no vale do Jari.
 Fonte: Rabelo, (2004).

3.2 Aspectos geográficos, físicos e ambientais do Vale do Jari.

Como este trabalho visa compreensão das concentrações de nutrientes nos solos, é importante perceber também que a estrutura das florestas e seu desenvolvimento, estão intimamente relacionados – para compreender o processo de construção e desenvolvimento dos solos, é necessário também notar a gênese florestal, suas adaptações de espécies e interrelações no meio, assim como a sua dinâmica atual e desenvolvimento futuro (UBIALLI, 2007).

Nesse sentido, do ponto de vista da formação florística, existem conjuntos que se distinguem em toda a extensão do Vale do Jari, chamando atenção especificamente os da RESEX CAJARI, a exemplo dos cerrados/savanas, ocupando uma área de até 9% dentro da reserva, sua localização está mais bem destacada nas cabeceiras do Rio Cajari, na porção central, e também na região nordeste da área. Identificam-se com forte presença uma variedade florestal como a *Floresta Densa de baixos platôs*, que se expande por pelo menos 38% do total territorial da RESEX, possuindo uma riquíssima biodiversidade e variedade de espécies como Maçaranduba (*Manilkara Huberi*), o Tachí (*Tachigali sp*) e o Angelim (*Dinizia excelsa*) (MURRIETA & RUEDA, 1995).

Existe também, áreas bem definidas de *Floresta Tropical fluvial densa ciliar dos terraços*, ocupando 1% do território, com espécies como a Virola (*virola surinamensis*), o Ingá (*inga sp*), o açai (*euterpe oleracea*) e a Seringueira (*Hevea brasiliensis*). Em 13% da reserva pode-se encontrar *Florestas Tropicais Pluviais Densas dos Platôs subinontanos*, com espécies variadas como a Sumaúma (*Ceiba pentandra*) e a Faveira (*Parkia s pp*). Na Floresta tropical pluvial densa dos furos (10% da área) encontram-se espécies com alta presença de palmeiras como o Buriti (*Mauritia flexuosa*) e o babaçú (*orbigua martiana*). Por fim, a floresta tropical pluvial densa dos altos platôs, com 12% de ocupação da área, e espécies a exemplo do Tachí (*tachigalia sp*) floresta de cipós, a Faveira (*parquia pendula*) entre outras (MURRIETA & RUEDA, 1995).

3.3 Intemperismo e Pedogênese

Ao se estudar o intemperismo, algumas premissas são essenciais, a exemplo da Terra, que é um considerado um planeta rochoso, muito parecido com Marte, Vênus e Mercúrio, ela também pode ser comparada, à nível de sua composição rochosa, com a

Lua e também com todo o material presente no Cinturão de asteroides, que é resistente e constituído por minerais silicáticos, logo, o planeta Terra é uma “gigantesca rocha”, e toda a Litosfera Terrestre está exposta à grandezas, leis, condições físicas e ambientais da natureza do próprio universo, como a energia intensa do Sol, ao Oxigênio (ar), à água e, à toda forma de biodiversidade, sendo “alterada” por toda essa grande interação (TOLEDO, 2014).

3.3.1 Intemperismo

O **processo de intemperismo** decompõe os minerais das rochas e os separa, desagregando-os na formação de novas fases, o novo manto rochoso após nova composição física e química que recobre sua matriz, é chamado de regolito. Transformações que ocorrem por caráter mecânico e de pressão dão origem ao intemperismo físico (ver figura 2) podendo ocorrer uma variação diuturna e sazonal da temperatura, que influenciará na contração e expansão diferencial das partículas, ocorrendo uma tensão entre cada uma delas, fazendo a rocha coesa, em partículas decompostas (TOLEDO, 2014).



Figura 2 – Rocha em processo físico de intemperização esferoidal e ataque nos vértices.
Fonte: Toledo, (2014).

3.3.2 Intemperismo químico

O **Intemperismo químico** é constatado principalmente pela ação das águas, que geralmente nunca é pura, fato que quando seus elementos dissolvidos em gás carbônico alteram seu Ph, sua intensidade de atuação é diretamente proporcional em relação à ação dessas substâncias e à temperatura, convém lembrar que o clima da Amazônia, é predominantemente quente e úmido, aumentando a presença de CO_2 e intensificando a decomposição dos minerais (LEPSCH, 2002). Assim, a rocha é transformada em saprólito, que simboliza seu modo estável. Em síntese, o intemperismo é sempre um processo irreversível, que sempre evolui para um outro estágio (HUGGETT,1998).

Um fato que pode ser exemplificado no processo intempérico ocorre com o mineral Piroxênio (ver figura 3) constituído por (O_2), Silício (Si), Alumínio (Al), Ferro, e Cálcio (Ca) exercendo influência direta da água, gás carbônico (CO_2) e oxigênio do ar, ele sofre hidrólise e oxidação, somente depois do desprendimento de seus cristais é que alguns são lixiviados, se recombina sintetizando novos minerais, a exemplo da caulinita e da goethita, essa última, se transforma com a oxidação do ferro ferroso (Fe^{2+}) para o ferro férrico (Fe^{3+}) onde comumente recobre os cristais da caulinita (LEPSCH, 2002).

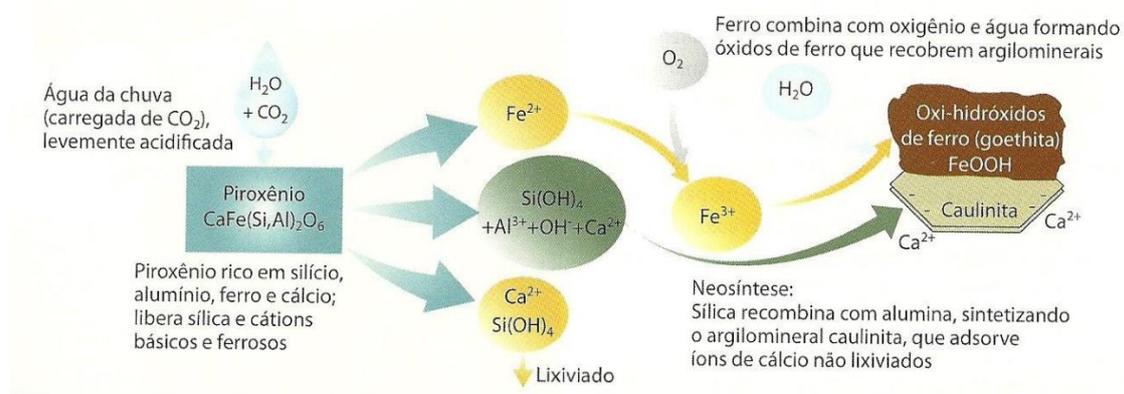


Figura 3 – Intemperismo químico: em destaque, Piroxênio.

Fonte: Lepsch, 2002.

Nas regiões intertropicais e equatoriais, como na Amazônia, onde o clima é quente e úmido, com altos níveis de pluviosidade e precipitação regulares, os solos são muito erodidos e lixiviados, pobres em nutrientes, por conta do alto processo de intemperização que existe nessas regiões de baixas latitudes, em geral são muito profundos, bem desenvolvidos, antigos, muito ácidos e com a fertilidade química natural comprometida, todavia, soma-se a isso um processo orgânico onde a própria

floresta protagoniza a deposição de uma camada orgânica denominada “Liteira ou Serrapilheira”, (ver figura 4) que é um fina camada de detritos naturais, principalmente de origem vegetal (folhas, gravetos e galhos finos, flores e frutos) que se decompõe na camada superficial desses solos, contribuindo com a concentração de nutrientes (LUIZÃO et al., 2006).

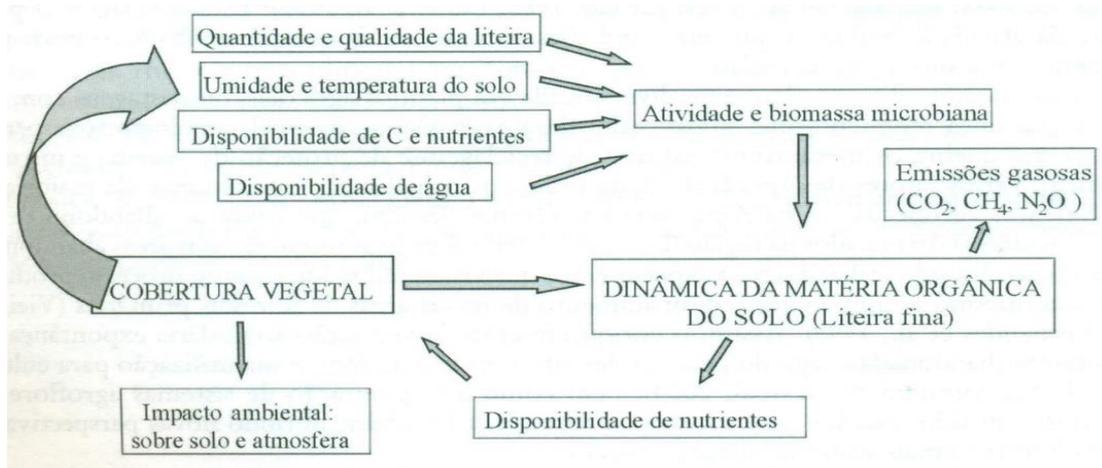


Figura 4 – Em esquema, representação da Serrapilheira ou Liteira fina, com ênfase na relação de produção de nutrientes em solos amazônicos.

Fonte: Luizão et al., (2006).

3.3.3 Intemperismo Biológico

A microfauna controla a liberação dos nutrientes minerais da liteira e na matéria orgânica, são fungos micorrízicos que atuam como protagonistas na ciclagem dos compostos químicos de N e de P (ver figura 5), em solos tropicais, através da Micorriza, (simbiose, raízes/hifas) ocorre a absorção dos nutrientes da liteira (serapilheira) em decomposição, promovendo o aumento relativo no volume e em canais de circulação de O₂ (LUIZÃO, 2007).

	Estoques (Mg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg
	Estoques de Nutrientes (kg ha⁻¹)					
Biomassa	344	1334	107	955	1801	288
Liteira	37	403	11,6	26	180	28
Raízes	41	442	12,3	96	561	49
Solo	230	4581	406	249	3579	425
% chão floresta	47	80	80	28	68	64
	Fluxos (kg ha⁻¹ a⁻¹)					
Chuvas: entrada		15	10,9	11,6	13,9	3,6
Enriquecimento		32,5	2,7	114	25,9	20,9
Queda de liteira		149	7,3	64,6	137	32
Igarapés: saídas		30	0,7	11,8	63,3	32

Figura 5 – Intemperismo Biológico: Contribuição à demanda de fósforo (P) serapilheira ou Liteira.

Fonte: Luizão, (2007).

3.3.4 Pedogênese

Este trabalho visa dar um enfoque atual na interpretação sobre a pedogênese, uma vez que um dos cerne da discussão é investigar a concentração do fósforo (P) nas frações argilas, que é um nutriente especial, principalmente para o desenvolvimento das plantas, ao contrário do nitrogênio (N) que é fornecido por fixadores ou diretamente da atmosfera, o fósforo é fornecido primariamente por ecossistemas terrestres e por tanto, ele é diretamente relacionado ao intemperismo e à pedogênese, sendo considerado um fator decisivo e limitante a todo ecossistema terrestre (YANG, 2011).

Por sua vez, a atividade microbiana e toda a fauna do solo possuem papel determinante na produção de P, na literatura, estudos comprovam a atuação de diplópodes que fragmentam a serapilheira provocando um aumento da biomassa microbiana, o próprio processo de alimentação desses animais aumenta a disponibilidade de Fósforo (P) e Nitrogênio (N) (SCHOWALTER, 2011).

A fauna do solo amazônico (ver figura 6) contribui para evolução do processo pedogenético de maneira física e biológica, mas isso pode variar entre os ecossistemas. Dentre a diversidade de animais do solo, muitos seres artrópodes e anelídeos escavam o tecido do *solum*, ajudando a criar uma rede de circulação de água, ar e de nutrientes, a exemplo, a grande variedade de formigas, que podem abrir caminhos por entre o tecido de rochas rígidas, facilitando assim os movimentos de erosão, a fluência da estrutura, ajudando a misturar os detritos (SCHOWALTER, 2011).



Figura 6 – fauna do solo, responsável pela geração e transformação de nutrientes.
Fonte: Brady, (2004).

A pedogênese de solos Amazônicos está relacionada a quanto esses ecossistemas podem evoluir, uma vez que são criadas as condições de “destruição” contínua em todas as escalas, sabendo-se que os solos são produto de atividades destruidoras e esses podem tanto progredir quanto permanecer estáveis (HUGGETT,1998).

A decomposição de matéria orgânica na Amazônia é um dos fatos mais importantes para o desenvolvimento da floresta é o principal fator de nutrição de ecossistemas terrestres, uma vez que facilita o ciclo biogeoquímico através do fluxo de gases, a fertilidade do solo e a decomposição de material orgânico envolvem pelo menos quatro componentes principais: foto-oxidação, lixiviação, trituração e mineralização, quando associados à atividade da fauna, principalmente os artrópodes, (fatores-chave) influenciam diretamente a fragmentação e o processo de formação de minerais (SCHOWALTER, 2011).

Apesar de se reconhecer a importância da gênese do solo, esse conhecimento ainda é muito escasso, quando comparado, à evolução dos estudos sobre as plantas e os animais. Não obstante, o desenvolvimento de modelos sobre a gênese aprimoraram muito a compreensão acerca desses ecossistemas, numerosos são os motivos por trás para a valorização desses estudos, as pesquisas em pedogênese são ferramentas úteis para entender sua complexidade e entender o desenvolvimento das florestas, a dinâmica climática, a totalidade da biosfera (OPOLOT et al., 2015).

Sendo assim, é possível dividir a pedogênese em duas variáveis: a pedogênese regressiva é aquela onde os processos que constroem o solo são de pouca evolução, pouca profundidade e baixa incorporação de novos minerais agregados, por outro lado, a pedogênese progressiva se nota pelo aprofundamento, formação e organização de perfis (JOHNSON e STEGNER, 1987). Nesse mesmo sentido, Hugget (1988) também acrescenta que a pedogênese progressiva é tipificada por um comportamento instável, onde um regolito indiferenciado é o produto do intemperismo e é transformado em um perfil do solo cada vez mais diferente e organizado.

A seguir, pode-se observar (ver figura 7) os processos de circulação da água num solo:

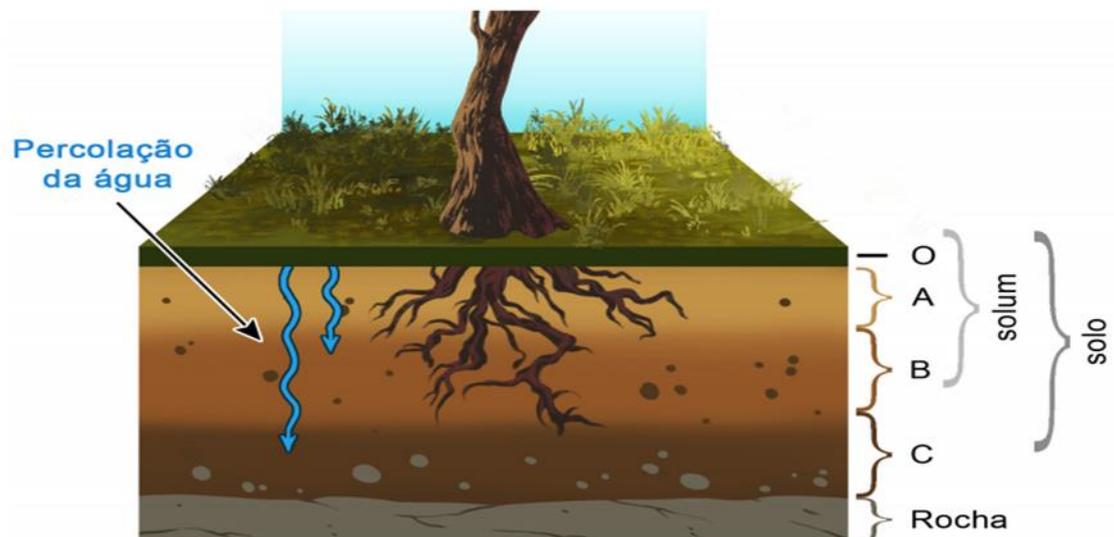


Figura 7 - Formação dos horizontes O, A e B de um solo (solum) produto do intemperismo e da pedogênese, o horizonte C é o saprólito que também é afetado pela influência da água.

Fonte: Toledo, (2014).

A gênese do solo visa a discussão da ciência do solo relacionada a outros campos científicos, processos envolvendo a formação, e construção de ecossistemas terrestres, temas como o intemperismo mineral e a regulação da temperatura da superfície da Terra, estão relacionadas e interagindo com a atmosfera e hidrosfera, determinantes para definir existência de vida, influenciando no ciclagem de nutrientes e distribuição energética (OPOLOT et al., 2015).

O solo pode ser compreendido como um corpo natural ou uma interface formada entre litosfera, (rochas) atmosfera (ar), hidrosfera (água) e a biosfera (seres vivos), a interação desses quatro ambientes é considerada um das mais importantes características da natureza e vital para a vida na terra, podendo ser chamada de *pedosfera*, é constituído (ver figura 8) de 20 à 30 % de ar (O_2), de 45% de minerais e componentes químicos, 20 à 30% de água (H_2O) e 5% de matéria orgânica (BRADY, 2004).

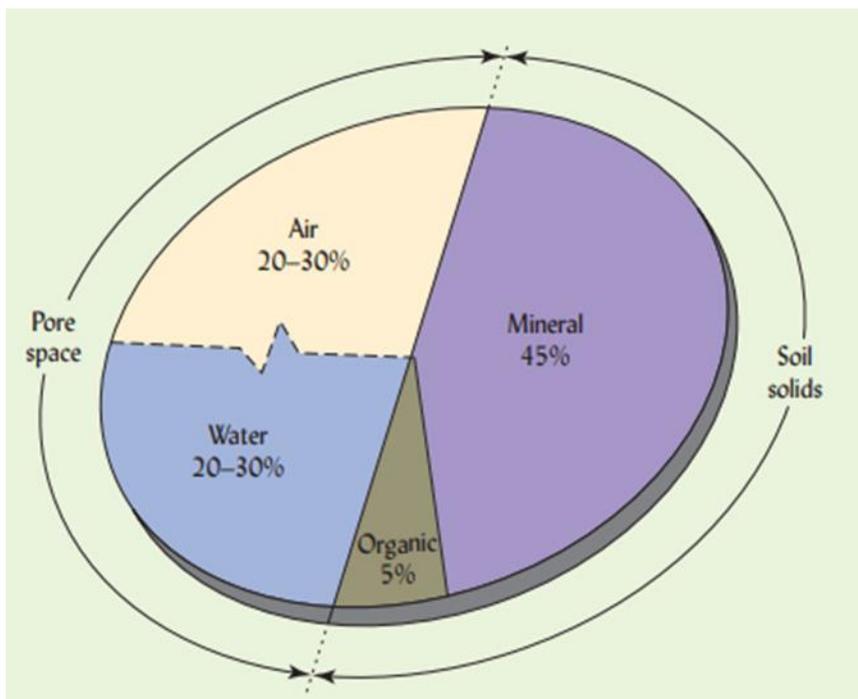


Figura 8 - Em destaque, constituição física do solos.

Fonte: Brady, (2004).

Os solos atuam como zonas de transição entre os principais ecossistemas do planeta, armazenando água, transferindo seus nutrientes para os oceanos, capturando dióxido de carbono e o metano, são também uma fonte rica de nutrientes essenciais para a vida vegetal em vários níveis e, em escalas de micrômetros, são fornecedores de relações complexas tanto minerais quanto orgânicas onde as pequenas partículas (ver figura 9) participam de interações de cargas eletromagnéticas que atraem fortemente paredes celulares de milhares de bactérias (BRADY, 2004).

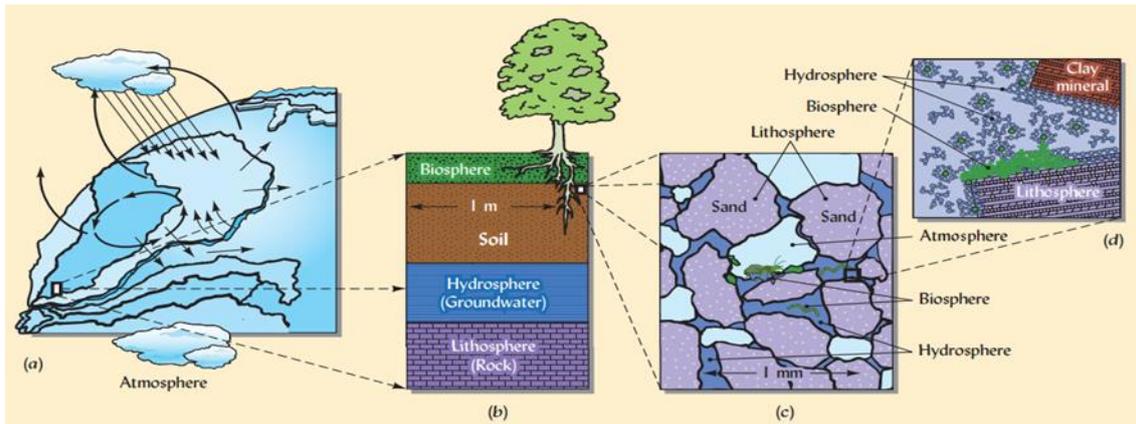


Figura 9 - Relações de adsorção de água e cátions em escala micro e manométrica, os minerais apresentam cargas elétricas atrativas à paredes celulares de bactérias.
Fonte: Brady, (2004).

Para Embrapa (2018) os solos são uma coletânea de corpos naturais constituídos de sólidos, líquidos e gasosos, geralmente tridimensionais de formação baseada em minerais, material orgânico e biológico (matéria viva), delimitando-se de seções paralelas organizadas em camadas ou horizontes (ver figura 10) diferenciando-se de sua fonte matriz de origem.

Os horizontes explicam seus processos de formação, sempre a partir do intemperismo, sendo que suas camadas subsequentes são pouco afetadas por processos pedogenéticos, seus limites físicos são bem estabelecidos pelas condições da física ambiental, tendo na atmosfera (ar) seu principal ponto de relações e fronteira superior, já sua limitação lateral ocorre geralmente com o contato de conjuntos de águas ou perfis rochosos laterais, por fim, sua delimitação inferior ou subterrânea é comumente atribuída o seu leito rochoso de origem, rocha dúctil e saprolítica onde quase não apresentam presença biológica (EMBRAPA, 2018).

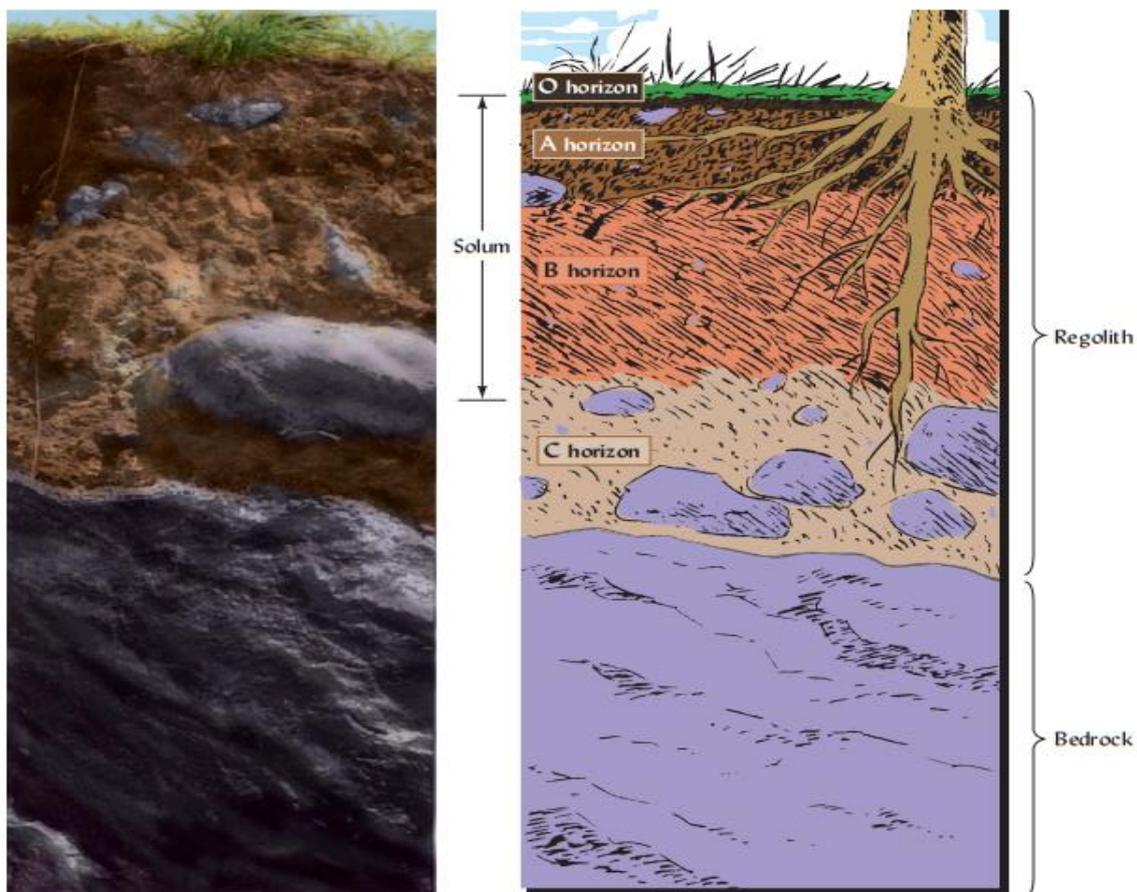


Figura 10 – Em destaque, organização dos principais horizontes dos solos, O, A, B e C, (regolito) e a rocha matriz (saprólito).

Fonte: Fonte: Brady, (2004).

Os solos são de extrema relevância para a vida na Terra, infelizmente, sua importância não é valorizada, sendo devastados por diversas atividades, sua qualidade é determinante por sua capacidade de geração de recursos para a vida vegetal e animal, esses ambientes são responsáveis por grande parcela da produção de alimentos no planeta, desde o trigo à soja, além disso, de sua biomassa, surgem alternativas para substituição aos hidrocarbonetos, tais tecnologias podem ser encontradas no mercado, à exemplo dos plásticos biodegradáveis, óleos de semente de girassol, etanol da cana de açúcar, entre outros (BRADY, 2004).

Nesse sentido, os solos da Amazônia são conhecidos por serem muito intemperizados, com alta estrutura coloidal, reconhecidamente uma das regiões do planeta com grande quantidade de Latossolos e Argissolos, (ver figura 11) funcionando muito bem no sentido de “drenar” o fósforo (P), que o fixa intensamente, concorrendo com a

vegetação na disputa pelo elemento ao invés de fornecê-lo em demasia (ZAIA et al., 2008). Esses solos são conhecidos como “solos drenos” e nesse caso, sua disponibilidade de fósforo afeta de alguma forma o desenvolvimento da vida vegetal, sendo mais importante para o ciclo bioquímico do que o para o geoquímico (CHEN et al., 2003).

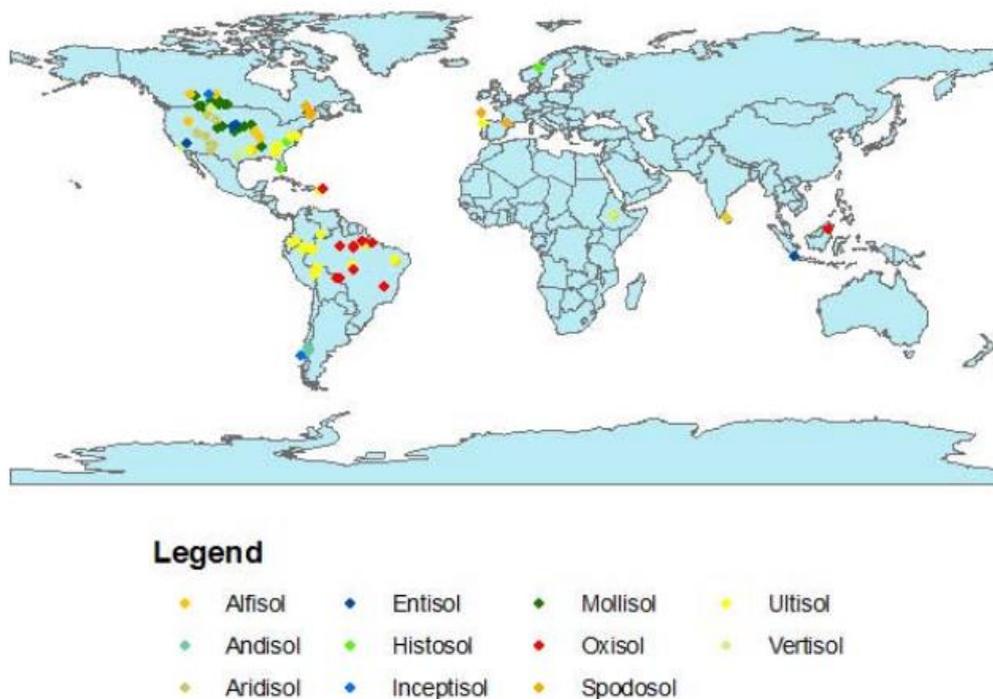


Figura 11 - Maior concentração de Latossolos na Amazônia.
Fonte: Yang, (2011).

A grande maioria dos solos da Amazônia e todo seu processo pedogenético é resultado de consideráveis diferenças na história geológica e geomorfológica que ocorreram na bacia sedimentar, em particular, destaca-se o processo de orogenia, no próprio continente sul-americano, onde a formação de dobramentos modernos (Andes) gerou carga tectônica e fluxo de sedimentos na planície amazônica, transformando profundamente toda estrutura geológica constituída de crátoms, num gigantesco e diverso mosaico edáfico que se percebe na atualidade (QUESADA et al., 2011).

Do ponto de vista da geologia da região Amazônica, o vale do Amazonas constitui-se em uma gigantesca bacia sedimentar situada entre duas grandes estruturas cratônicas (ver figura 12) (Escudo do Brasil Central e o Escudo cristalino das Guianas) esses

escudos cristalinos são bastante desgastados e muito antigos, a saber, seu movimento de formação, deu-se no pré-cambriano e suas rochas são principalmente granitos, gnaisses e xistos de mica, também podem ser encontradas áreas com indícios do cretáceo e do carbonífero (SOMBROEK, 1966).

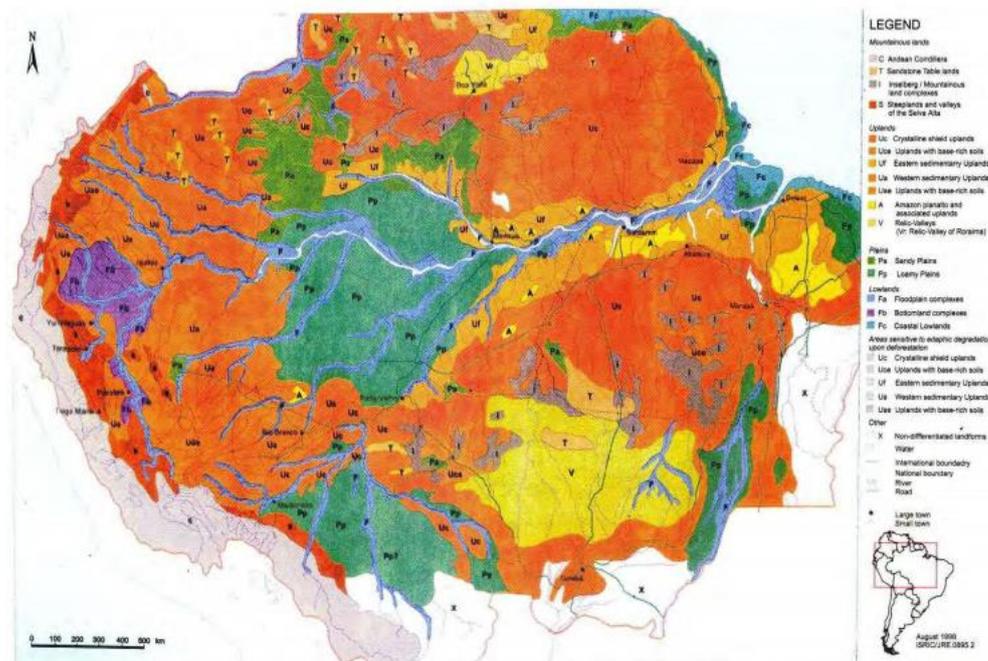


Figura 12 – Geologia da região Amazônica e sua influência na formação de solos
Fonte: Sombroek, (2000).

3.4 Solos Amazônicos

Segundo Lepsch (2002) é possível agrupar (ver figura 13) alguns principais grupos/classes de solos na Amazônia, de maneira sintética, de acordo com as suas características e conceituá-los de segundo o manual de classificação de solos da Embrapa (EMBRAPA, 2018):

3.4.1 Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-amarelos

São solos construídos por intenso material mineral, evoluídos, sofrem intenso processo de intemperismo por não serem resistentes, com baixa capacidade de troca de cátions da fração argila (geralmente abaixo de 17 cmolc kg⁻¹) sem correção do C, são considerados bem drenados, indicando por isso um grau relativo de gleização, são profundos (lato = profundo) suas cores mais escuras no horizonte A se contrasta com as do B que, mais intensas, distinguindo-se entre tons de amarelo, vermelho escuro e

cinzas, possuem altos teores de óxidos de ferro com origem na hematita e em seu horizonte C há mais opacidade. São solos de alta acidez e pouca saturação de bases, considerados distróficos e alumínicos, típicos de regiões de baixas latitudes equatoriais e tropicais.

3.4.2 Argissolo Vermelho- amarelo

São solos bem construídos mineralmente, com horizonte B textural, com saturação de bases baixa e de caráter alumínico, a percepção entre os horizontes A e B é evidente, às vezes sendo gradual. De profundidade relativa, variando em suas drenagens entre forte e fraca, suas cores mais comuns são o vermelho, amarelo, e o cinza. Mesmo sendo argissolos, sua textura pode ser arenosa no horizonte A, e média ou muito argilosa no horizonte B, podem variar em sua acidez, de forte a moderados.

3.4.3 Luvisolos

Compreendem os solos considerados não hidromórficos, com seu perfil B composto de muita argila com alta saturação de bases, bem abaixo do horizonte A, são pouco drenados e também, pouco profundos, sendo perceptível a mudança do horizonte A para o B, podendo apresentar um relativo grau de pedregosidade no seu perfil superficial, suas cores variam entre o vermelho, amarelo e o acinzentado, são considerados alcalinos ou mesmo ácidos, e seus teores de alumínio são baixos com argilas de alta atividade.

3.4.4 Plintossolos

São solos formados em condições de percolação da água e estão quase sempre expostos à muita umidade, já que são mal drenados, com excessiva plititização, apresentam horizonte B textural coincidente com o horizonte plíntico, as cores que predominam nesses solos são o laranja e o vermelho, (o que lembra a plintita rica em óxidos de ferro) considerados altamente ácidos, sua fração argila é baixa e sua saturação de bases também.

3.4.5 Espodossolos

Esses solos podem ser caracterizados por um horizonte B espódico, por baixo do horizonte eluvial E ou A, apresentando sempre uma sequência bem definida e

organizada (A, E, B e C) com perceptível deposição de suas camadas, suas cores variam do cinza ao quase branco, sendo que, o horizonte B pode ser cinza ou preto escuro, com textura arenosa, e de drenagem que sofre grande variação, são solos considerados fracos em sua fertilidade (nutrientes muito escassos), são considerados fortemente ácidos e com saturação de suas bases baixas – esses solos na Amazônia, possuem uma relação direta com espécies vegetais como a Campinarana.

3.4.6 Neossolos

São formados pela junção de material orgânico e minerais, sofreram pouca atividade pedogenética, e possuem uma resposta intempérica lenta, podendo ser explicado por aspectos do clima, relevo e do tempo, admitem horizontes com menos de 20 cm de espessura, podendo em sua maioria apresentarem diversos tipos de camadas superficiais, apresentam horizonte B com pouca dimensão.

3.4.7 Cambissolos

São solos com o horizonte B primário, sucessivamente se apresenta o A, e o C, devido as condições climáticas e a grande diversidade de materiais de origem, eles podem possuir uma grande variação no sentido de sua formação, podendo ser encontrados solos fortes e solos mal drenados, com cores geralmente Bruno-Amarelado e vermelho escuro, considerado de baixa e alta saturação de suas bases na fração argila, também se admite uma radical diferença na sua granulometria entre as camadas, principalmente do A para o B.

3.4.8 Gleissolos

São considerados solos hidromórficos por causa do seu alto grau de umidade, com forte presença de horizonte glei, são permanentemente encharcados com água, raramente drenados, sua gleização define suas cores, geralmente acinzentada, e também atende à cor verde e ao azul por causa da relação de solubilização do ferro, o que provoca as cores mais frias, no horizonte B a estrutura de seus blocos é prismática, são solos que podem apresentar alto teor de sais ou mesmo plintita, formados de sedimentos estratificados que podem ser submetidos a hidromorfia.

3.4.9 Nitossolos

São solos de forte cerosidade, de textura argilosa alta, maiores que 350 g kg⁻¹ de TFSA, possuem o horizonte B bem expresso, são relativamente ácidos, e sua argila possui atividade considerada baixa com caráter alumínico, às vezes com composição caulinitica, apresentando policromia bem acima da média.

Por fim, outro aspecto importante que pode ser constatado, surge com Sombroek (1966), onde há grande diversidade de grupos considerados menos expressivos, quando comparados aos grandes grupos anteriormente abordados, principalmente uma variedade de areias litossólicas, cauliniticas, Podzóis hidromórficos, Cinzentos, Terras roxas estruturadas e as conhecidas *Terras pretas de Índio*.

A seguir, um mapa com a delimitação das principais classes de solos na Amazônia:

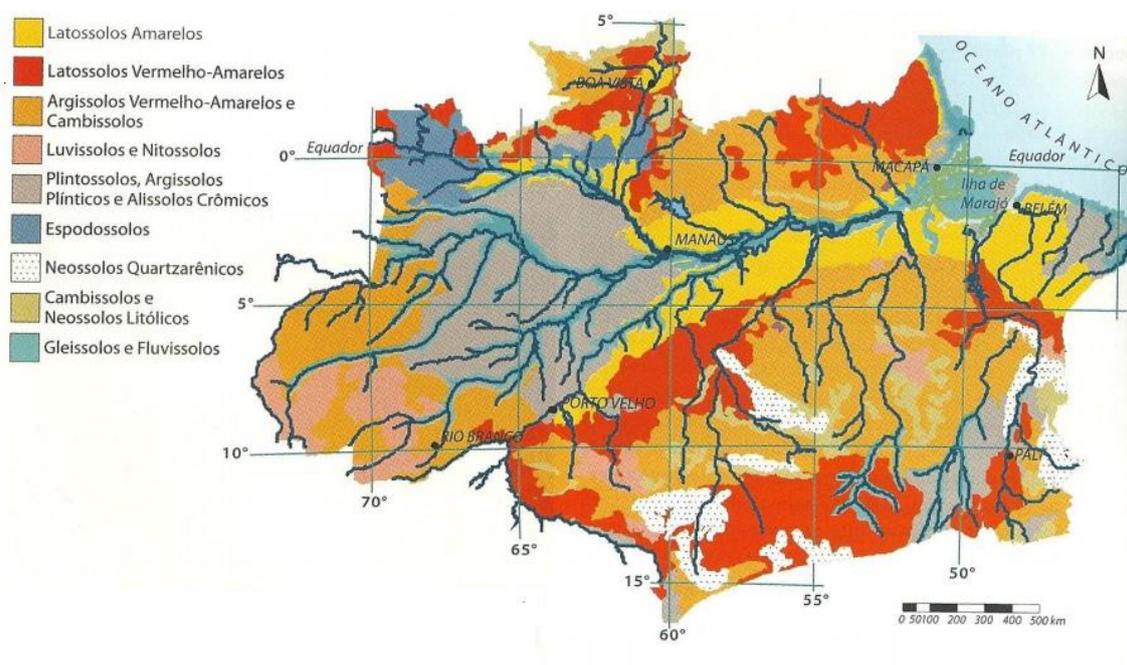


Figura 13 – Levantamento dos principais grandes grupos de solos Amazônicos
Fonte: Lepsch, 2002.

3.4.10 Antrossolos: As Terras pretas de Índio da Amazônia

Este solo específico da Amazônia tem chamado a atenção da comunidade científica internacional, as chamadas Terras pretas de índio. O estudo de *Terras Pretas de Índio ou Antropogênicas (TPI, TPA)* que para a Pedologia, são solos exclusivos do bioma Amazônico, foram alterados por completo em sua pré-história (KERN, 1996). Muitos cientistas pesquisadores têm se dedicado a tentar descobrir as origens do solo de Terra

Preta Amazônico, que ainda não estão claras, - o que se constata na literatura, são indícios e divergências no sentido de que esses solos teriam surgido de maneira irrefletida, a partir da interação dos indígenas com o ambiente (MESCOUTO et al., 2011).

As Terras pretas de Índio (TPI) são solos *antrópicos*, oriundos da interação humana direta com o ambiente, resultantes da história cultural da floresta, podendo ser localizados por toda Amazônia, com intensidade nas várzeas e em áreas mais elevadas em relação aos rios (Terra Firme/Latossolos). São solos com uma primeira camada muito escura, ricos em *Ca*, *Mg*, *P* e *C*, quando comparados a outros tipos (RODRIGUES et al., 2003). A ação antrópica no passado oportunizou acumular resíduos de variadas origens (ver figura 14) e também uma enorme quantidade de cerâmicos arqueológicos; materiais carregados de Carbono como cinzas e carvão, além da presença de elementos químicos como , *Zn*, *Cu*, *Sr* e *Ba* (MESCOUTO et al., 2011).

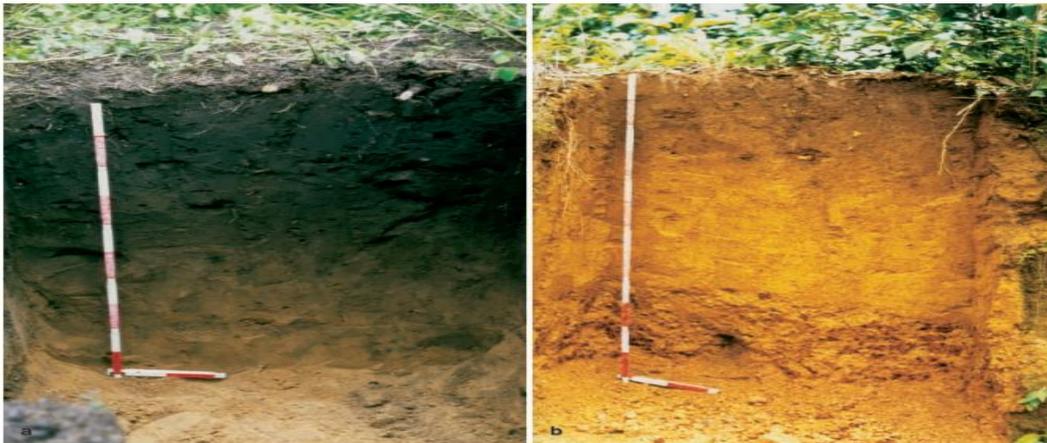


Figura 14 – perfis comparados respectivamente, (a) Terra Preta, (b) Oxisol.

Fonte: Glaser et al., (2001).

Assim, observando a gênese dos nutrientes destes solos, percebeu-se a facilitada fixação do N por esses ecossistemas, além de outros elementos que eram adicionados de maneira secundária, provavelmente por intervenção humana, essa ocupação refletia na produção inevitável de resíduos como: dejetos humanos (fezes) e de outros animais, que são ricos em fósforo e Nitrogênio; resíduos alimentares como ossos de mamíferos e espinhas de peixes, ricas em P e Ca; e vestígios das cinzas de queimadas que

possibilitou também acréscimo de Ca, Mg, K, P e de carvão vegetal, rico em Carbono (GLASER, 2007).

Desse modo, esses solos sofreram alterações e são caracterizados por possuírem enorme quantidade de cacos cerâmicos, (cerâmicas arqueológicas) a maioria desses fragmentos sendo alterados pelo intemperismo e a processos pedogenéticos, transmitindo ao horizonte mais superficial seus componentes químicos e seus minerais, onde a fração argila é o material coloidal constituído-se de partículas extremamente reduzidas, chamadas de argilominerais, silicatos hidratados, com presença de magnésio (Mg), alumínio (Al), ferro (Fe), o níquel (Ni) e o cromo (Cr), servindo inicialmente como matéria prima para cerâmica (RODRIGUES, 2004).

Assim, esses fragmentos ou “cacos” de cerâmicos, (ver figura 15) são os únicos materiais que podem ser comparados às rochas, ou, no caso específico, “exercem o mesmo papel”, - esses pedaços, dependendo da intensidade pedogenética e das condições ambientais, em muitos casos, já se desintegraram no solos, voltando (em grande proporção) a se constituir em *fração argila*, esse processo tem sido indicado como fundamental por pesquisadores, por sua capacidade de liberar nutrientes essenciais altamente fertilizadores no *solum*, como por exemplo o fósforo (VALENTE e COSTA, 2017), existindo uma relação direta de adsorção do elemento no tecido cerâmico através do cozimento doméstico dos alimentos nas panelas de barro (PESSOA JÚNIOR e SANTANA, 2016).

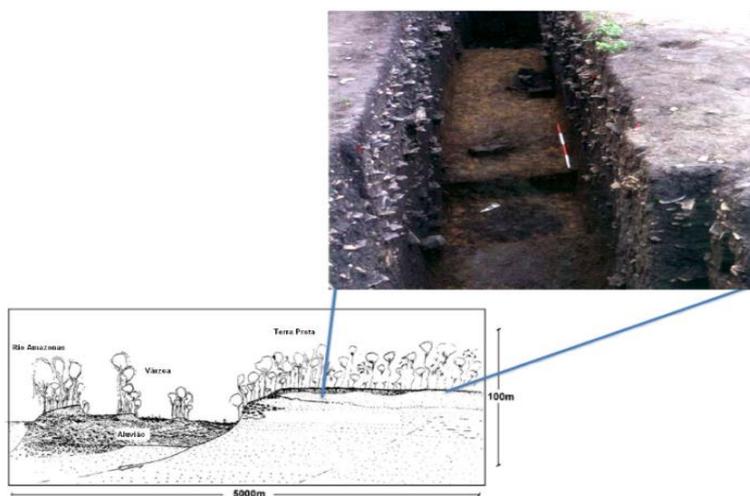


Figura 15 – fragmentos cerâmicos em perfil de TPI
Fonte: Lima et al., (2002).

Inúmeras são as dificuldades do Estado brasileiro e de sua administração pública para o monitoramento e mapeamento de sítios arqueológicos, principalmente para o IPHAN, que é o órgão com a difícil incumbência de realizar este trabalho. Outrossim, importa para esta pesquisa apontar mecanismos e constatações científicas que possam ajudar a facilitar o plano de manejo de solos no Vale do Jari, contribuindo com as comunidades locais, tão quanto apoiar, indicar e sugerir, possíveis áreas territoriais com fortes evidências, em virtude de possíveis assinaturas pedológicas, de serem “sítios arqueológicos” ainda não descobertos e não mapeados.

Em outras literaturas, muito embora esses estudos sejam recentes, é possível relacionar a alta concentração desse mineral em solos tropicais (geralmente pobres em fósforo) como um *fator indicador*, onde o fósforo é apontado por delimitar manchas ou “sítios” de solos antrópicos, (ver figura 16) por conta de sua capacidade de se ligar facilmente a óxidos de ferro e a componentes com alumínio no solo (ALHO et al., 2018).

Geralmente as frações argilas dos solos são constituídas de aluminossilicatos, com uma estrutura cristalina presente de óxido de alumínio (Al_2O_3) e dióxido de silício (SiO_2), observam-se como elementos universais constituintes de argilominerais e filossilicatos interagem com água e sílica, e quase sempre com ferro ou metais alcalinos (ou alcalinos-terrosos), podendo também ser descritos como silicatos de alumínio hidratados com a fórmula padronizada $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ (SEETHA, 2016).

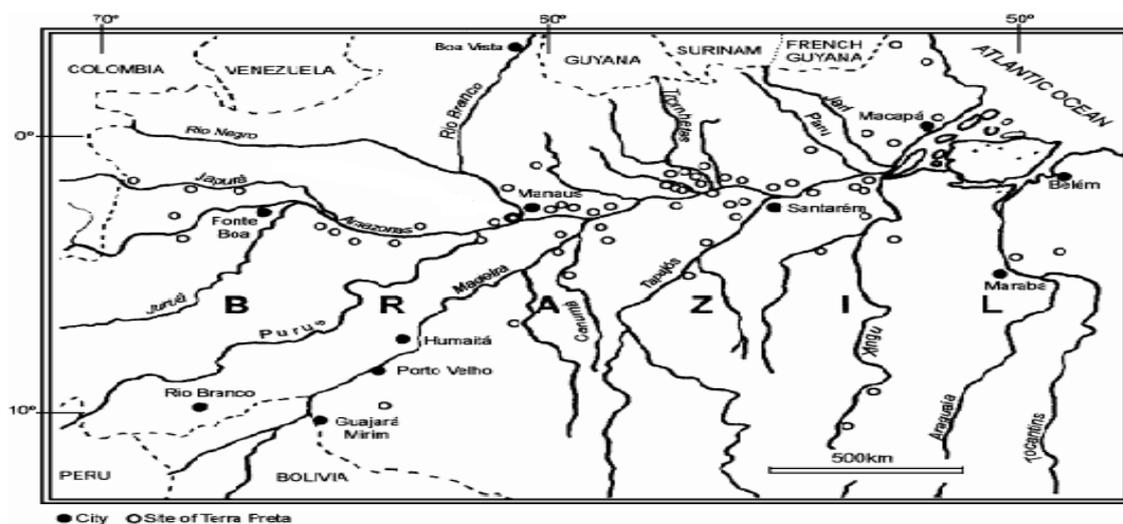


Figura 16 - Localização de sítios de Terra Preta de Índio.

Fonte: Lima et al., (2002).

3.5 Geologia dos solos Sul-Amapaenses: Vale do Jari.

Algumas poucas pesquisas têm sido realizadas no sentido da prospecção na área do vale do Jari, principalmente no que se refere à Geologia, Pedogênese, Litologia e Pedologia, a dificuldade do acesso compromete o fluxo de transportes na região, o que se agrava na maior parte do ano por conta das intensas chuvas.

Do ponto de vista da formação geológica da área estudada, o Vale do Jari é compreendido por possuir uma forte de sedimentação, mesmo que, com pouca consolidação, do período do Cenozoico, embora suas rochas sedimentares tenham alcançado maior estrutura no Paleozoico (MURRIETA & RUEDA, 1995). Adicionalmente afirma Sobrinho, (2017) que a geologia do vale, é marcada por substrato variado, formando um “mosaico” de afloramentos principais nas formações do Alter do Chão, Aluviões do quaternário, Jatapu, Barreirinhas e Ererê.

De acordo com a Companhia Florestal de Monte Dourado, (1989) as unidades litoestratigráficas no vale do Jari podem ser pelo menos:

3.5.1 Formação trombetas

Representada por sedimentos que inicialmente foram depositados em ambiente marinho, do período ordoviciano ao siluriano, com suas bases em rochas cristalinas pré-cambrianas, do ponto de vista da litologia, predominam arenitos finos, brancos e às vezes esverdeados e duros, adiciona-se ainda o fato de que especificamente nessa região ao sul do estado Amapá e ao norte do Pará, ocorre o contato entre a formação Trombetas e o Complexo Guianense, que é brusco e retilíneo, dando origem a uma grande escarpa em direção ao Noroeste, mais conhecida como paredão de Pedra, formada por arenitos (CFMD, 1989).

3.5.2 Formação Curuá

Surge geologicamente ao sul da formação Trombetas, é formada por sedimentos finos com influência das deposições oceânicas passadas do período Devoniano Superior até o carbonífero inferior, todavia o RADAM (1974) Acrescentou à litologia da região como Diabásico Penatecaua, por conta das rochas magmáticas indicarem o Jurássico-cretáceo, de certo, a área está marcada incisivamente por folhetos acinzentados bem finos,

laminados e com siltitos avermelhados, podendo ser encontradas formações com base em piritas, além disso, ainda se encontra corpos intrusivos de diabásico, que dão origem à pedogênese dos solos de melhor qualidade do ponto de vista da fertilidade, da região (CFMD, 1989).

3.5.3 Formação Barreiras

Nessa formação está definitivamente a maior deposição sedimentar da área estudada, são sedimentos que estão bem demarcados ao sul, do paleozoico, que vão até os aluviões mais novos, com influência direta do rio Amazonas, além de ocorrem em uma extensa variedade em natureza de sedimentos argilosos como fácies arenosas, fácies argilo-arenosas e fácies muito argilosas ocorrendo geralmente em tabuleiros, apresentando concentração de latossolo amarelo álico muito argiloso, todavia, em áreas rebaixadas pela erosão, (abaixo de 100 metros) surgem fácies argilo-arenosas, esses sedimentos aparecem com pequena espessura e cobrem rochas da formação Curuá, geralmente em locais de encontro entre as outras unidades (CFMD, 1989)

3.5.4 Aluviões

Ocupa a parte central da bacia sedimentar nas planícies nas margens do Amazonas, é a sedimentação mais recente, resultante da deposição de detritos transportados em suspensão, geralmente encontrados em áreas de Terra firme, os aluviões podem ser encontrados em proximidade às redes de drenagem (CFMD, 1989).

Em pesquisa recente de Sobrinho, (2017) com uma vasta e aprofundada investigação na região, apontou para novas contribuições à interpretação geológica e litológica sul-amapaense, haja vista a produção científica sobre a temática ser ainda muito escassa, o autor indica formações geológicas do período do Ordoviciano, Devoniano, Terciário e Quaternário, conforme tabela apresentada (ver figura 17) indicando as unidades litológicas com destaque para:

3.5.5. Período do quaternário

Depósitos de Canais Fluviais com sedimentação em pelíticos lamosos e areias finas;
Depósitos de planícies fluviais; com terraços fluviomarinhos, arenitos e seixos;

Depósitos de planícies fluviais (quaternário) com terraços fluviomarinhos, pelíticos lamosos com areias finas (SOBRINHO, 2017);

3.5.6 Período do terciário

Formação alter do Chão, com depósitos areno-argilosos e concreções lateríticas; Formação alter do Chão, com depósitos conglomeráticos e sequência de sedimentos arenosos (SOBRINHO, 2017);

3.5.7 Período Devoniano

Formação Curuá (devoniano) com folhetos de formação cinza-escura e siltitos vermelho esbranquiçados; Formação Ererê, em geral, siltitos de coloração cinza; Formação Macaecuru, em geral, arenitos de tons amarelados, siltitos e folhetos (SOBRINHO, 2017);

3.5.8 Período Ordoviciano

Formação Trombetas com arenitos esbranquiçados caulíníficos (SOBRINHO, 2017).

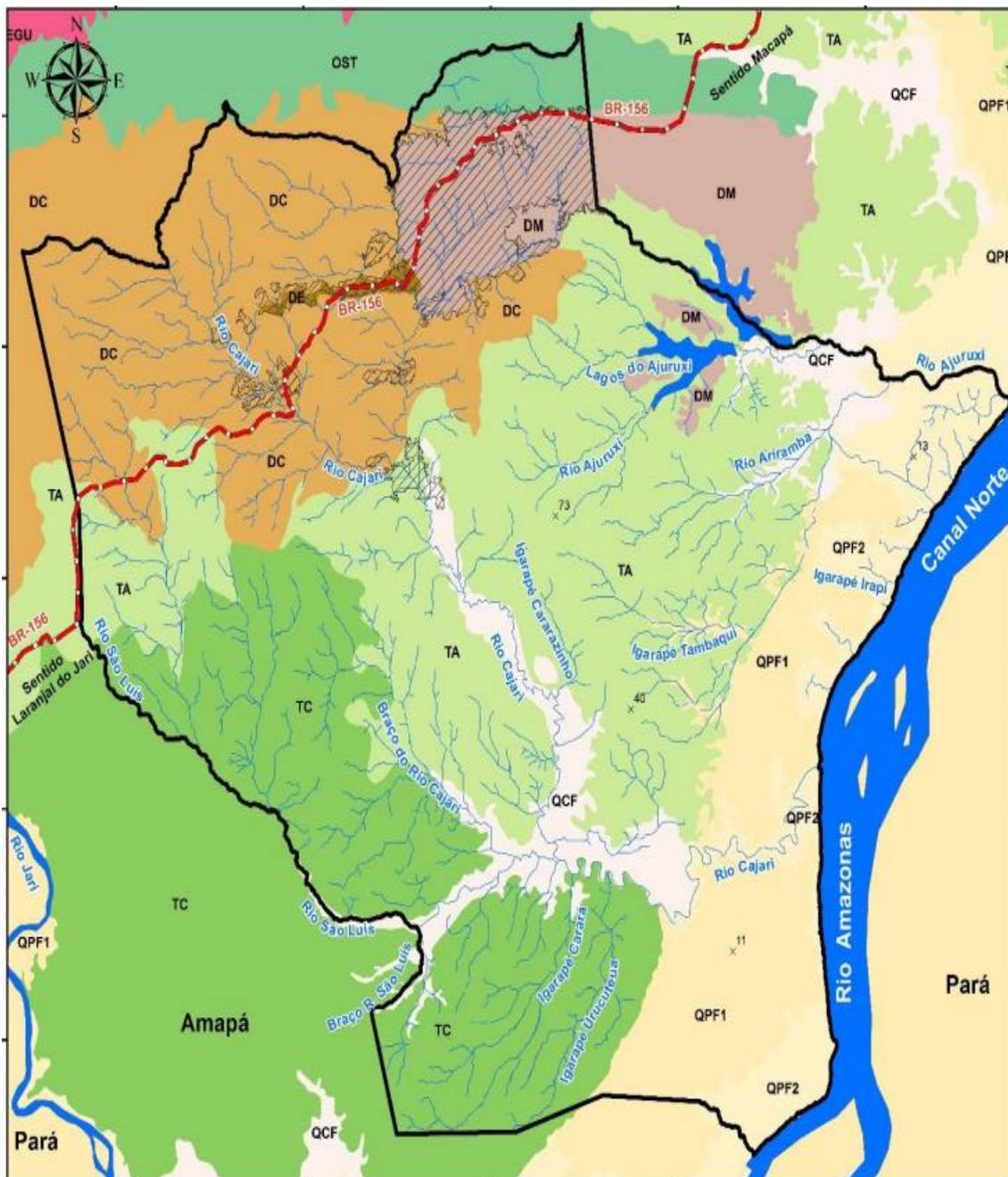


Figura 17 - Mapa das unidades Geológicas da Reserva Extrativista do Rio Cajari.
Fonte: Sobrinho, (2017).

A seguir, a descrição e classificação (ver figura 18) das Unidades Litológicas segundo Sobrinho (2017):

EON	ERA	PERÍODO	ANO	UNIDADE / LITOLOGIA
Fanerozóico	Cenozóico	Quaternário	0,01Ma	QCF Depósitos de Canais Fluviais: influência das marés (depós. de inter-marés, barras de canal e em pontal). Sedimentação: pelíticos (lamosos) a areias finas
				QPF1 Depósitos de Planície Fluvial 1: terraços fluviomarinhos. Arenitos, seixos e matacões (depós. aluvionares).
				QPF2 Depósitos de Planície Fluvial 2: terraços fluviomarinhos. Pelíticos (lamosos) a areias finas.
	Terciário	5,5 - 23Ma	TA Formação Alter do Chão: Depósitos Areno-Argilosos: sedimentos areno-argilosos. Sedimentação: areno-argilosos mosqueados, friáveis, capeados e/ou concreções lateríticas.	
			TC Formação Alter do Chão: Depósitos Conglomeráticos: seqüência de sedimentos arenosos. Sedimentação: arenosos, arenitos finos a microconglomeráticos, ferruginosos, argilitos micáceos ferruginosos, conglomerados caulínicos.	
	Paleozóico	Devoniano	360 - 420Ma	DC Formação Curuá: folhelhos de coloração cinza escura a preta e siltitos vermelho esbranquiçados. Sedimentação: siltitos vermelho esbranquiçados.
				DE Formação Ererê: siltitos de coloração cinza, secíticos, silificados intercalados na base por siltitos e folhelhos.
DM Formação Macaécuru: arenitos amarelados, finos a médios, intercalados na base por siltitos e folhelhos. Sedimentação: arenitos, siltitos e folhelhos.				
Ordoviciano	440 - 450Ma	OST Formação Trombetas: Arenitos esbranquiçados caulínicos, médios a grosseiros, por vezes friáveis e com níveis conglomeráticos, intercalados por siltitos. Sedimentação: arenitos e siltitos.		

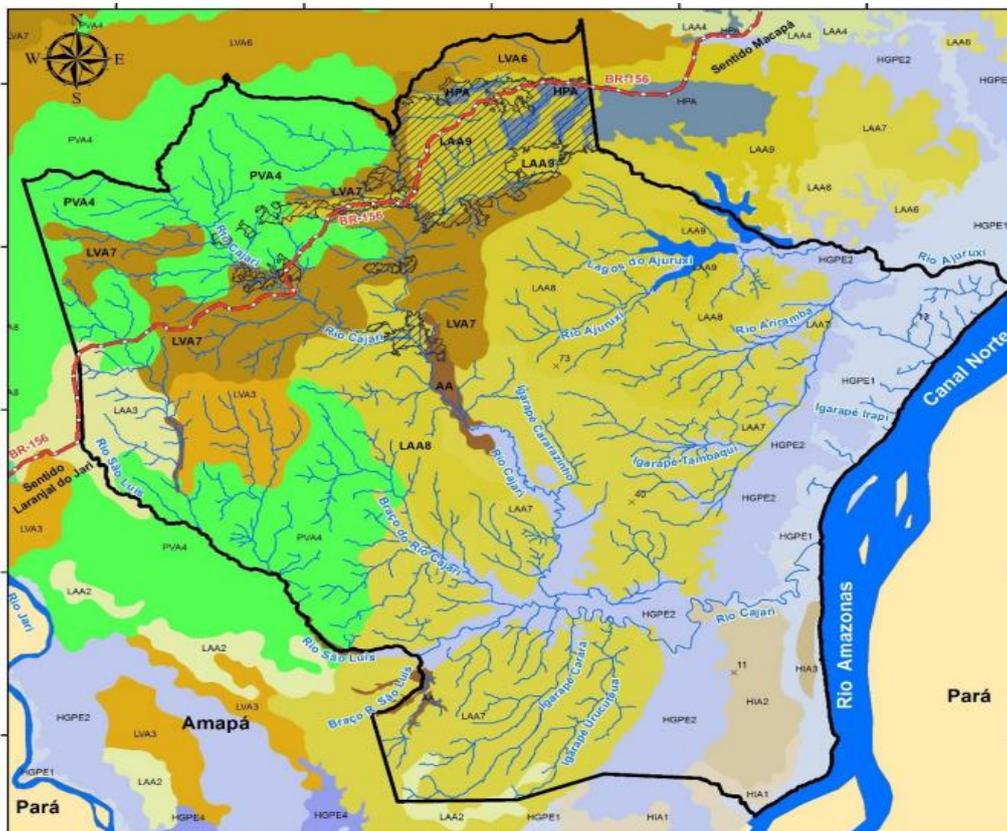
Figura 18 - Descrição das unidades Litológicas em legenda - Vale do Jari, Reserva Extrativista do Rio Cajari.

Fonte: Sobrinho, (2017).

3.5.9 Os solos do Vale do Jari

Os solos investigados, são indicados pela literatura como sendo de textura média e argilosa predominantemente ao considerar a fertilidade natural de toda área, constata-se que é baixa, uma região facilmente intemperizada, tendo em vista todas as características físicas e ambientais já explicadas anteriormente, com grupos principais de solos predominantes, a exemplo dos Latossolos Vermelho-amarelos; Latossolos Amarelos; Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico; Hidromórficos; Litólicos distróficos e Gleissolos Eutróficos e Distróficos (MURRIETA & RUEDA, 1995).

Em seguida, pode-se observar (ver figura 19) detalhadamente o mapeamento as Classes de solos predominantes no vale do Jari proposto por Sobrinho (2017).



- AA - Aluvial Eutrófico Ta A moderado + Aluvial Distrófico Tb A
- HPA - Podzol Hidromórfico Tb Álico A moderado
- LAA8 - Latossolo Amarelo Álico A moderado + Latossolo Vermelho Amarelo Álico A moderado + Latossolo Amarelo Álico A moderado
- LAA9 - Latossolo Amarelo Álico A
- LVA7 - Latossolo Vermelho Amarelo Álico A moderado + Podzólico Vermelho Amarelo Tb Álico moderado + Podzólico Vermelho Amarelo Tb Álico moderado
- PVA4 - Podzólico Vermelho Amarelo Tb Álico moderado + Latossolo Vermelho Amarelo Álico A moderado + Litólico Tb Álico A moderado

Figura 19 – Mapa e classes de solos predominantes no vale do Jari
Fonte: Sobrinho, (2017).

3.6 Mineralogia de solos amazônicos no Vale do Jari

Em outras regiões amazônicas já pesquisadas, a literatura indica grande heterogeneidade na composição física, química e biológica dos solos, a exemplo das várzeas do Solimões no Amazonas, com extensas áreas com teores muito elevados de Silte e de areia fina, nessas regiões foram identificados alta Capacidade de troca de cátions (CTC), principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e Al^{3+} , com a reação ácida menos intensa e níveis de cátions mais básicos, com alta atividade coloidal, destacando-se uma presença bastante diversa de minerais primários como micas, cloritas e feldspatos, esmectitas, caulinitas e vermiculitas, outros em menor concentração como lepidocrocita, hematita e gibbista (LIMA et al., 2006).

Ao contrário das várzeas, na Terra Firme não há influência direta fluvial, devido à heterogeneidade das formações geológicas que influenciam na formação do relevo, há regiões com sedimentos do Terciário, o material de origem, a dinâmica da drenagem, a influência das condições de clima e a intensa diversidade de microorganismos são características essenciais desses ambientes (LIMA et al., 2006). A Amazônia possui uma predominância de Latossolos e Argissolos, sendo os mais explorados por atividades agrícolas, são solos altamente intemperizados e com a fração argila constituída de intensa presença de minerais silicatados como Hidróxidos, óxidos (de Ferro, Alumínio, Manganês) e também Caulinita (CAMPOS et al., 2016).

Os solos da Amazônia são extremamente drenados, pois naturalmente há um fluxo de água muito grande, principalmente por conta das chuvas, com destaque para os Latossolos, Podzólicos e Terras roxas, e esses estão sob forte intemperismo químico, identificado nas suas frações coloidais inorgânicas, os minerais que constituem esses coloides acabam perdendo mais intensamente os metais alcalinos, e os alcalinos terrosos, isso significa que os teores de ferro (Fe) e alumínio (Al) tornam-se mais presentes nessas frações inorgânicas (MÖLLER, 1986).

Na Amazônia é predominante a limitação do fósforo disponível, principalmente por conta do alto ataque intempérico que esses solos sofrem, o teor baixo de P é insuficiente, inclusive para manutenção da agricultura familiar local, a pouca disponibilidade desse nutriente primordial é evidenciada em 90% desses ecossistemas terrestres, porém isso acaba sendo contraditório quando se revisa a literatura sobre solos

antrópicos, as pesquisas apontam que esses solos possuem altos níveis desse elemento (COSTA et al., 2009).

3.6.1 Granulometria e textura dos solos

As características de identificação do solo são consideradas as propriedades mais essenciais pra qualquer análise imediata, sua composição granulométrica é marcada pela distribuição em percentagem de peso total das partículas que constituem o solo, onde se tem que, para suas partículas maiores, o método mais utilizado é o da peneiração, - por outro lado, as partículas menores são submetidas ao método da sedimentação, que em uma classificação bem genérica, podem-se inferir dimensões granulométricas distintas, a saber, as areias, os siltes e as argilas (FERNANDES, 2006).

3.6.1.1 Areia

A respeito das principais fases granulométricas do solo, verifica-se como elementar, a areia, que é formada sempre a partir de uma matriz rochosa, um produto de processos de mecanização e intemperismo físico, é encontrada facilmente na natureza, sendo considerada uma substância coesiva e não plástica com estimativa de tamanho entre 60 e 2000 μm , constituída quase que em sua totalidade de sílica ($\text{SiO}_2 > 90\%$) em formato de Quartzo, sendo diretamente proporcional à relação entre o teor SiO_2 e a sua pureza (SOUZA et al., 2014).

3.6.1.2 Silte

De acordo com o que afirma Da Silva (2011), é possível fazer a determinação de uma *curva granulométrica* de um tipo específico de solo, priorizando a utilização de um sistema de *peneiramento*, considerando a variação do tamanho das partículas, desde solos com textura mais grossa que apresentem pedregulhos, além de um outro processo bastante utilizado que é a *sedimentação*, no caso de amostras com partículas mais finas como o *Silte* (com partículas que variam entre 0,005 mm e 0,5 mm) que geram solos de pouca plasticidade, à argila, abaixo de 0,074 mm.

3.6.1.3 Argila

A evolução da ciência do solo permitiu o conhecimento em profundidade dos minerais presentes em sua estrutura granulométrica, principalmente na fração coloidal, que é parte responsável pela capacidade de troca de cátions, sorção de seus compostos orgânicos e inorgânicos (MÖLLER, 1986).

Os argilominerais são silicatos hidratados de Mg, Fe e Al e suas estruturas cristalinas são camadas formadas de pequenas folhas de tetraedros SiO₄, organizados em forma hexagonal, são condensados com folhas octaédricas de hidróxidos e variados tipos de metais. Existem mais de 40 tipos de argilominerais na natureza, podendo serem chamados de filossilicatos, são constituídos essencialmente por cristais com dimensões *abaixo de 2 μm*, alguns argilominerais podem ser dimensionados na faixa de 1 a 100 nm, nessa dimensão de faixa recebe o nome de nanométrica (COELHO, 2007).

Quando um dos constituintes de uma determinada mistura se apresenta com dimensão entre 1 a 1000 nanômetros (1 nm = 10⁻⁹ m) tem-se a materialização dos colóides (JUNIOR & VARANDAS, 1999).

Na natureza, é possível encontrar muitos materiais com proporção coloidal, geralmente podem estar em soluções, como argilominerais derivados de rochas, que na água, percorrem o sistema de drenagem dos solos, ou outros derivados de matéria orgânica, entre eles o ácido húmico, sendo formados quimicamente e biologicamente no ambiente (JUNIOR & VARANDAS, 1999).

A sorção do fósforo que ocorre em solos tropicais é diretamente relacionada com os minerais coloidais, especialmente quando estes ecossistemas possuem alto teor de argila silicatada, condições de temperatura, a concentração dos íons presentes e o tempo de permanência do material no ambiente, são preponderantes pra medir os níveis de sorção do P, que no caso dos solos amazônicos encontram-se perfeitamente interagindo com frações coloidais inorgânicas filossilicatadas como a Hematita, Goethita, Caulinitas e oxihidróxidos (MÖLLER e KLANT, 1984).

3.6.2 A disponibilidade de Fósforo

Talvez um dos maiores debates existentes sobre a fertilidade de solos em regiões tropicais seja a disponibilidade do P, visto que nessas zonas, os solos são muito intemperizados e para o fósforo total, é unânime a sua indisponibilidade para a grande maioria dos ecossistemas terrestres existentes, o que reflete condições adversas para o desenvolvimento das plantas e cultivos de produção em escala regional, afetando a própria população que depende localmente de alguns produtos cultivados na própria região (GAMA, 2002). Assim, a problemática da fertilidade dos solos quase sempre incide na avaliação do P, ou na oferta natural dele, geralmente, sua quantidade não é considerada suficiente para o desenvolvimento da vegetação, muito embora o teor desse elemento no solo varie de 100 a 1.000 mg Kg⁻¹ a depender do tipo de análise feita e em que tipo de ecossistema estejam sendo realizadas as análises (BRADY & WEIL, 1996).

A escassez do P é comprovada na literatura, principalmente quanto à discussão do material de origem, e também quanto à sua reatividade, geralmente associada à quantidade dos teores de argilominerais e às relações de sorção, em pelo menos 90% desses ecossistemas a demanda de fósforo total é considerada drasticamente insuficiente em toda a classificação de solos amazônicos (BARBOSA, 2017).

É importante esclarecer que um dos principais conceitos deste trabalho é a ideia de *Adsorção*, processo que pode ser dividido didaticamente em dois momentos, o primeiro é quando ocorre a anexação do fósforo ao solo através do fenômeno da eletrostática; o segundo e não menos importante é quando o fosfato é adsorvido principalmente na superfície de óxidos de ferro (GAMA, 2002).

Na literatura consultada, constatou-se que sempre as camadas mais superficiais são mais ricas em fósforo orgânico, sendo que entre 0 – 5cm o elemento foi encontrado com grande concentração em amostragens analisadas (ZAIA et al., 2008). Além disso, outro aspecto relevante é a análise do potencial hidrogeniônico, um pH ácido, marcado principalmente pela constituição de argilominerais com cristalinos e amorfos de Fe e Al, é a característica que chama mais atenção em solos tropicais, tal deficiência se intensifica por conta dessa acidez e dos minerais formados em grupamentos Fe-OH e Al-OH, geralmente o fosfato sofre adsorção em decorrência de ligações químicas chamadas de covalentes (BROGGI et al., 2010).

Recentemente as pesquisas têm demonstrado um grande interesse pela estequiometria ecológica, que levou a um aprofundamento nas análises de C, (carbono) N (nitrogênio) e P (fósforo) nas coberturas vegetais, com o intuito de inferir a limitação e oferta de nutrientes em ecossistemas terrestres (OPOLOT et al., 2015).

A argila exerce influência na solubilidade de P nos solos (SIMÕES NETO et al., 2009), sendo encontrado na natureza de maneira orgânica ou inorgânica, são fontes naturais significativas de fósforo o intemperismo das rochas fosfáticas, a exemplo da apatita detrítica, - no caso do fósforo orgânico, este é alterado inúmeras vezes por conta de processos naturais de degradação que envolvem a água, sedimentos, carbono, inclusive o ácido húmico (MARINS et al., 2007). Assim, pode-se afirmar que a liberação de Fósforo orgânico (ver figura abaixo 21) e do Nitrogênio é proveniente da decomposição de matéria orgânica que é essencial para a vida e o desenvolvimento das plantas (SCHOWALTER, 2011). De outro lado a Ciência do Solo procura encontrar relações mais evidentes da gibsitita na fração coloidal, mas é a goethita o principal produto constatatadamente da argila a responder pela adsorção do Fósforo (SIMÕES NETO et al., 2009).

Outros pesquisadores indicam que as maiores adsorções, ocorreriam na verdade, em solos com a maior concentração de Fe total e isso de alguma forma acaba por desajustar a oferta nutritiva para a vegetação (MALUF, et al., 2015). Pode-se então afirmar que a qualidade química e cristalográfica do material constituinte da fração coloidal é extremamente relevante para relação de adsorção do fósforo, os conteúdos de Al_2O_3 e Fe_2O_3 contribuíram decisivamente para observação ao conceito de capacidade máxima de adsorção de fosfatos (CMAF) nos solos, sendo assim, a disponibilidade para as plantas fica a critério do nível em que o elemento é adsorvido pelas partículas minerais (ROLIM NETO et al., 2004).

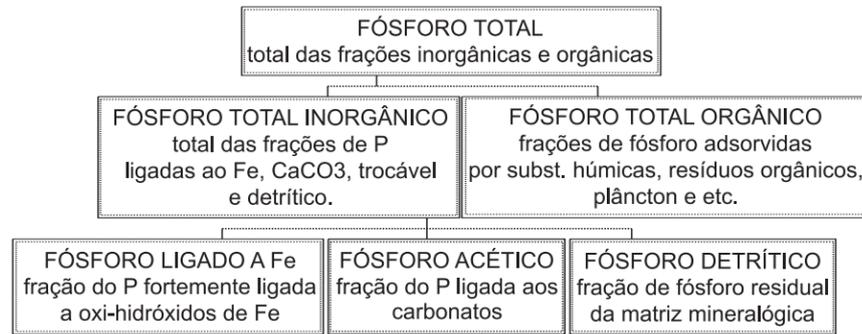


Figura 21 - Síntese do comportamento do fósforo nos solos
Marins et al., (2007).

3.6.3 Fósforo disponível e elementos químicos predominantes em solos florestais

O fósforo, geralmente é encontrado na natureza em matrizes rochosas chamadas de *rochas Fosfatadas ou fosfáticas* (ver figura 22) é pesquisado e estudado como um elemento essencialmente importante para a vida, se destaca por sua química ser bem definida, marcadamente não metálico, com número atômico 15 e uma massa atômica 30.973 (EMÍDIO, 2012). Normalmente, existe uma tendência para um determinado equilíbrio da presença do P em solos tropicais, que se adequa muito bem à estabilidade do pH, mesmo em solos ácidos, como é o caso da maioria dos solos florestais, onde (destacam-se latossolos) comumente são encontrados fosfatos na forma de H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} e também na forma de PO_4^{3-} , este último, precipitando muito facilmente ou sofrendo adsorção intensa por Al^{3+} e Fe^{3+} (EMÍDIO, 2012).

O fósforo como elemento indispensável à vida está presente primariamente como fosfatos naturais, que são geralmente as apatitas, e também na forma de Pentóxido de fósforo, P_2O_5 , fazendo-se presente no núcleo das células de todo organismo na forma de Trifosfato de Adenosina (ATP), (ULIANA, 2010), podendo ser também, solubilizado para o solo, nesse caso, a água exerce uma grande influência no processo da solução do solo, porque alcança a absorção das plantas e de outros animais, abrangendo toda a fauna e flora, através da hidratação e também da alimentação (LOUREIRO; MONTE; NASCIMENTO, 2008) quando encontrado na estrutura do corpo animal corresponde a quase 80% da massa, só perdendo para o Cálcio em termos de abundância, no caso do corpo humano (ULIANA, 2010).

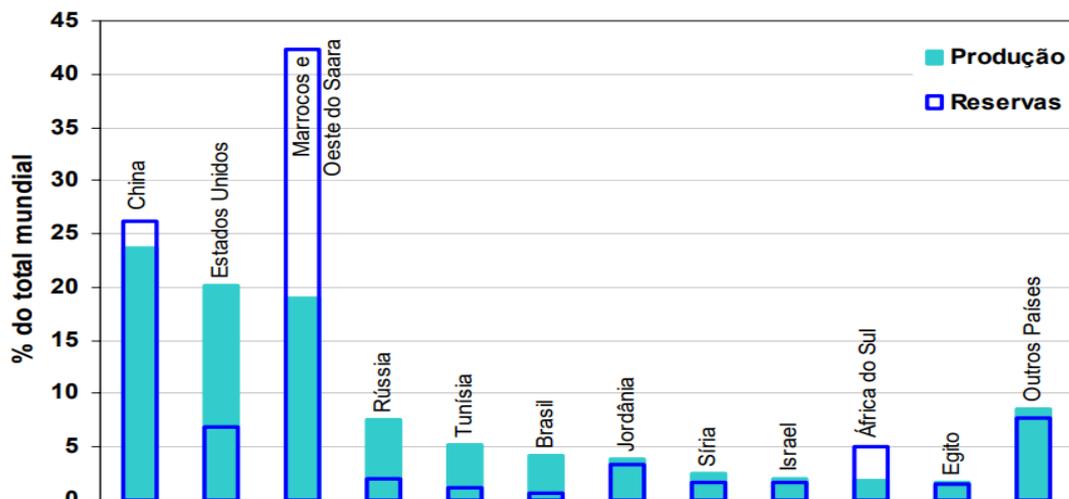


Figura 22 - Maiores detentores em produção e reserva de rochas fosfatadas ou fosfáticas do mundo.

Fonte: Uliana, (2010).

O químico alemão Henning Brandt, foi pioneiro em isolar as primeiras concentrações de fósforo, e fez isso, retirando da urina humana, em 1669, o que se relaciona com grande afinidade para esta pesquisa, já que há relação direta do P com as excretas (urina e fezes humanas) em solos antrópicos; um século depois, um pesquisador sueco, conhecido por Gahn faz a importante revelação de que nos ossos dos animais também haveriam relevantes concentrações desse mineral (LOUREIRO; MONTE; NASCIMENTO, 2008).

Assim, é possível estabelecer relações em que, as sociedades que viviam organizadas na floresta, poderiam estar influenciando no manejo desses solos, pois já praticavam, conheciam e dominavam as técnicas adequadas para tais usos, logo, a relação *fósforo/solos não naturais*, pode estar mais adequada à possibilidade de lançamento de resíduos nos solos dentro da floresta, principalmente aqueles voltados para subsistência e alimentação de comunidades indígenas, oriundos de caça e da pesca, descartados na forma do que nomeamos na contemporaneidade como lixo.

As relevâncias do fósforo para o mundo, hoje, são dadas principalmente por conta da importância da indústria de alimentos, agricultura de subsistência e mais recentemente

sobre a dinâmica ambiental e seus efeitos nos ecossistemas florestais, entre outras atividades; todavia, essa relevância e preocupação com o solo é tão antiga, que as pesquisas não conseguem estabelecer um período exato para quando o ser humano começa a se preocupar com a fertilidade e manejo da terra para cultivo, entretanto, a ciência arqueométrica tem apontado que os cartagineses (200 A.C) e também civilizações pré-colombianas (Incas, Maias e Astecas) aplicavam fezes de aves (guano) para corrigir os solos e assim os fertilizar (LOUREIRO; MONTE; NASCIMENTO, 2008).

Os ecossistemas florestas podem ser compreendidos aprofundadamente quando se consegue extrair informações de seus ciclos Geoquímicos, bioquímicos e biogeoquímicos, uma vez que esses sistemas florestais dependem diretamente de relações de ciclagem que ocorrem internamente, relacionando-se com todas as partes, a exemplo disso, as interações que ocorrem do meio biótico, para o meio abiótico e também o contrário, há nessas conexões um padrão ideal para que haja cooperação dos microorganismos, principalmente os que se desenvolvem a partir da matéria orgânica do solo, a produção e ciclagem dos nutrientes tanto na parte sólida, quanto na sua solução, beneficiam diretamente gigantescas regiões florestais e esse funcionamento ocorre em toda a biosfera (SELLE, 2007).

A matéria orgânica em ecossistemas terrestres, é todo o aglomerado de substâncias de natureza orgânica, a maior parte são substâncias humificadas, dentre elas, destacam-se as proteínas, os aminoácidos, os lipídios, a lignina, entre outras; sendo que participam diretamente de processos de síntese das substâncias não humificadas, que são principalmente os ácidos húmico, fúlvico e a humina (SELLE, 2007). Logo, a matéria orgânica é o elo de ligação entre as florestas e os solos, são dois sistemas que se completam perfeitamente e se combinam pra manutenção do equilíbrio da biota e refletem o panorama atual da compreensão científica sobre ecossistemas florestais tropicais, relações que ocorrem justificadamente por conta de suas atribuições biogeoquímicas (SELLE, 2007).

Nesse sentido, pode-se inferir que os ecossistemas florestais conseguiram desenvolver a capacidade e autonomia de construir sistemas interativos em benefício mútuo, uma vez que os nutrientes das camadas superficiais do solo (camada húmica) são ciclados,

geridos, e transportados para sua própria manutenção, assim, podendo-se afirmar que os solos florestais são extensões (partes/componentes) físicas bióticas e abióticas das coberturas florestas, legítimos substratos da totalidade da biodiversidade.

As florestas exercem um papel que afeta a vida de todos os seres, capturando carbono e efetivando sua fixação, mas isso depende do quanto esses ecossistemas são estáveis fisiologicamente, nutridos e bem desenvolvidos, todavia, essa estabilidade só ocorre quando há disponibilidade do fósforo e de outros nutrientes importantes, sem essa oferta, seu desenvolvimento fica impossível, já o fósforo possui papel decisivo nos processos de desenvolvimento celular, é absorvido na forma de H_2PO_4^- e detectado em maior parte do xilema, alterando positivamente a capacidade de produção de energia das plantas e dando início à ATP (MALAVOLTA, 1985).

O fósforo é o principal nutriente que possibilita o crescimento das raízes das plantas, que ficam expostas à parte física do solo, onde estão dispostos os nutrientes, principalmente na forma de fosfatos mineralizados, o tempo e a evolução do desenvolvimento, tanto da capacidade do comprimento, quanto da sua espessura permite a alteração da oferta dos nutrientes, já que as raízes se expandem (ver figura 23), passando posteriormente a não necessitar somente da exposição física e mineral dos fosfatos (sais minerais), mas também à própria solução dos solo, de onde as raízes tiram os nutrientes (ver figura 24) para o desenvolvimento dos tecidos vegetais e realizam as trocas de cátions (NOVAIS, et al., 1990).

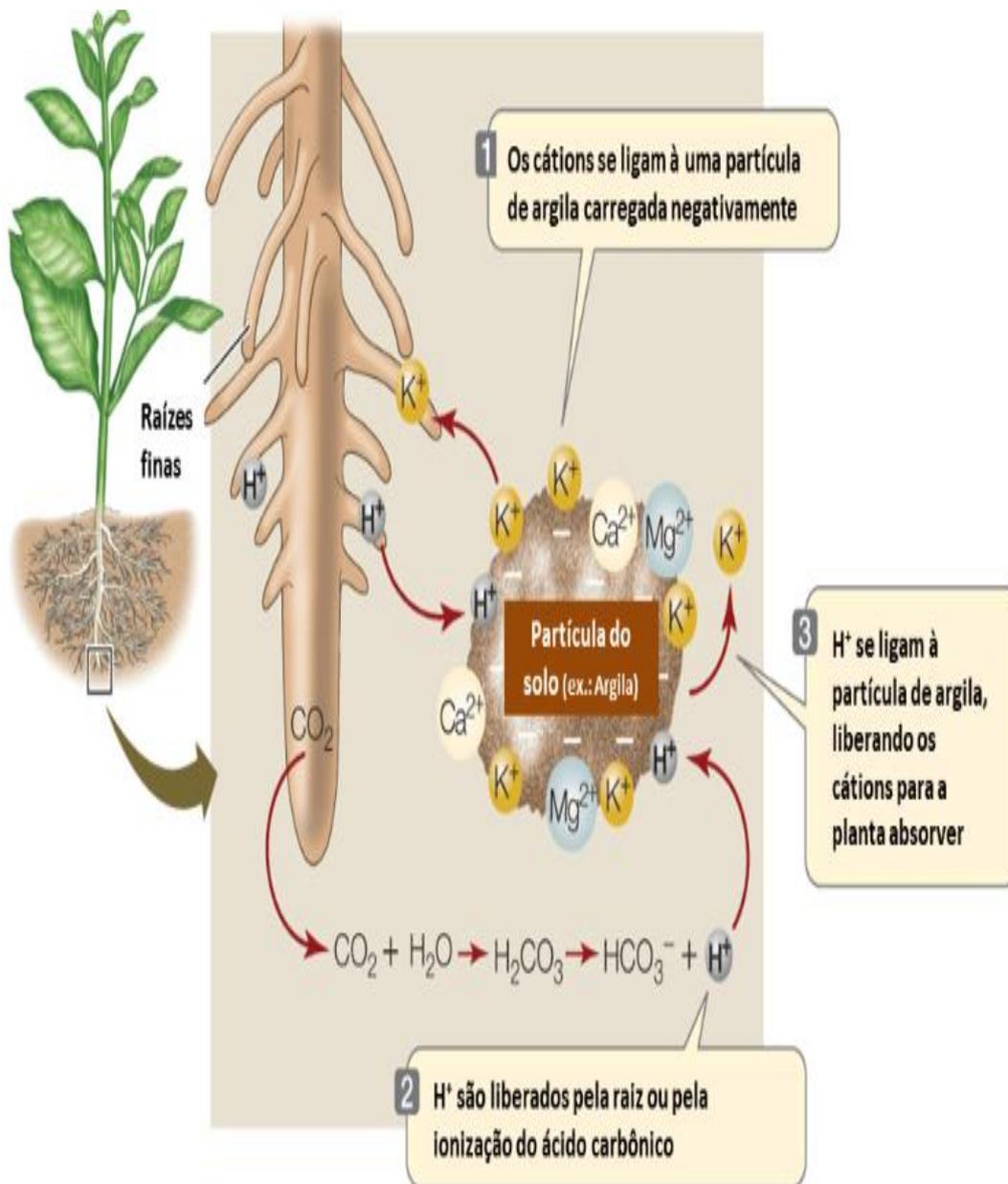


Figura 23 – Relação das raízes com a fração argila.
 Fonte: Aegro, (2018).

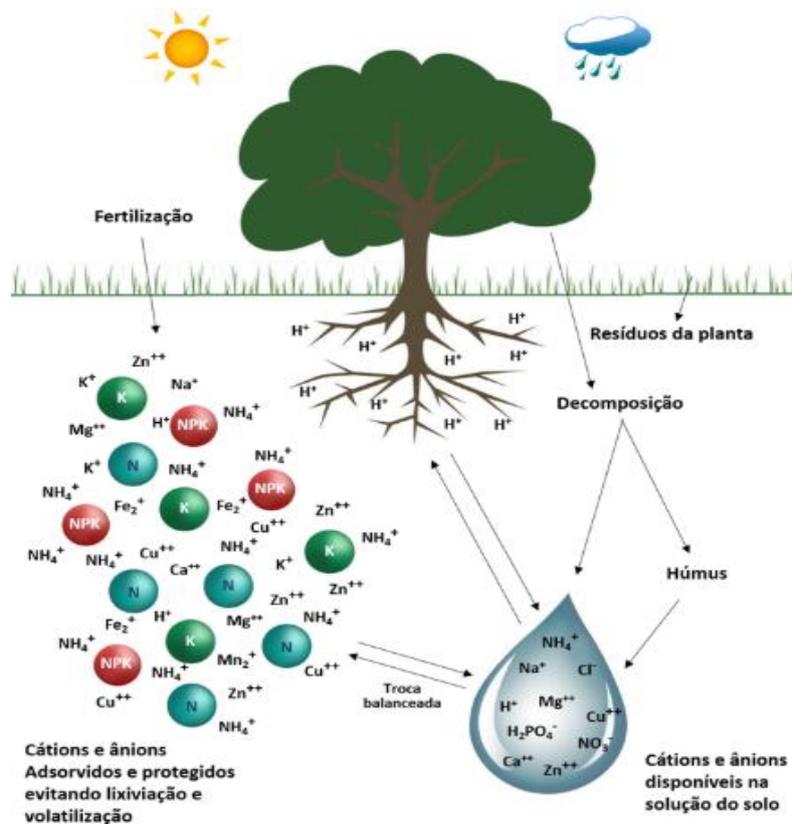


Figura 24 – Processo de troca de cátions: raízes/solo
 Fonte: T-Minas, (2018).

A disponibilidade do fósforo para as plantas ocorre com a mineralização do elemento na forma de fosfatos PO_4^{3-} na estrutura do solo, sendo que sua absorção sofre influência do nível de acidez (pH) que envolve o ambiente dessas relações, juntamente com as raízes, com os microorganismos (RAIJ, 1991).

Após a absorção do fósforo pelas plantas, o fósforo volta para o solo pelo processo de decomposição do acúmulo da matéria orgânica a partir da serrapilheira, uma vez que, esse nutriente, ao contrário do nitrogênio e do oxigênio, não passa por fases gasosas incisivas, sendo sua ciclagem majoritariamente na forma sedimentar (ver figura 25) e também, a partir dos microorganismos, assim, os nutrientes gerados pela decomposição do material orgânico interferem positivamente ou negativamente na resposta do

ecossistema florestal, dependendo das características e oferta dos minerais presentes no ambiente (BOCCUZZI, 2007).

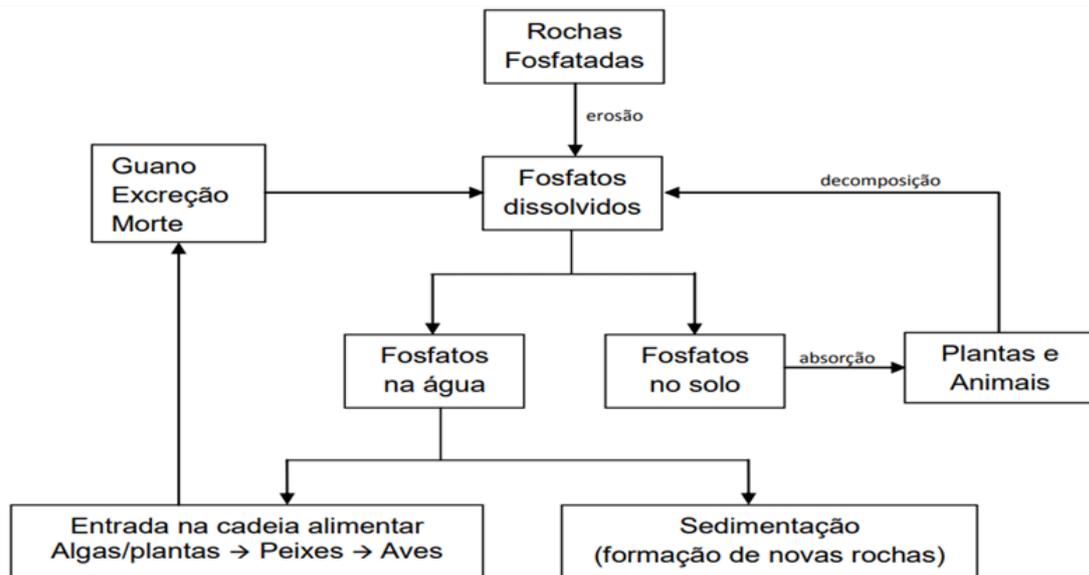


Figura 25 – Esquema de ciclagem do fósforo em ecossistemas Florestais Aduan et al., (2004).

Um outro aspecto importante é destacado por Selle (2007) a cerca das substâncias húmicas, já tratadas aqui como de suma importância para estequiometria ecológica dos ecossistemas terrestres, pois, ainda que sejam identificadas em quantidades inferiores à fração coloidal e seus minerais, essas substâncias cooperam intensamente na respiração, germinação e na relação das raízes com o solo, criando um ambiente favorável para uma capacidade de troca de cátions favorável para as plantas.

Os fenômenos físicos, químicos e biológicos que envolvem o crescimento das plantas, estão diretamente relacionados aos nutrientes mais importantes do solo, sendo considerados como principais e fundamentais para o processo de transformação da energia solar em alimento, em crescimento da sua estrutura fibrosa, bem como na formação de óleos e ceras em seus tecidos; o nitrogênio, o fósforo e o potássio (N, P e K), correspondem à química mais importante para evolução dos eventos relacionados à fertilidade de ecossistemas florestais, agindo de forma sequencial, como na transferência de informação genética, no desenvolvimento celular, no metabolismo e na fotossíntese (POTAFOS, 2005).

O processo de metabolismo do N e seu ciclo, também é importante para interpretar a disponibilidade dos nutrientes, uma vez que, quanto maior a presença de nitrogênio no solo, maior a tendência à disponibilidade ao P, tanto o nitrogênio quanto o fósforo possuem importância na constituição dos nucleotídeos que formam a estrutura dos ácidos DNA e RNA, além disso o N ainda faz parte da composição das proteínas e da clorofila que atua no processo de fotossíntese (ALMEIDA, 2005).

Assim, pode-se afirmar que o nitrogênio e o fósforo são de extrema relevância no fenômeno de síntese de proteínas e na construção de outros processos relevantes como a ativação de enzimas no desenvolvimento, estrutura e construção dos vegetais (MARSCHNER, 1995).

3.6.4 Solos não naturais e o Fósforo disponível

O consenso científico para a alta concentração de P em horizontes superficiais de solos considerados “*não naturais*” ou solos que já sofreram algum tipo de alteração, possivelmente de populações tradicionais da floresta, têm por característica marcante, solos agricultáveis, de boa fertilidade, sendo que em áreas de latossolos amarelos, os teores médios podem variar ou superar os 7.808 mg Kg^{-1} de P_2O_5 (LIMA, 2001).

Podem ser chamados de *Solos não naturais*, pela influência direta da floresta, haja vista que o estudo se refere somente às características das coberturas superficiais destes solos (0-10 cm – cobertura húmica) tendo alta possibilidade de um fracionamento elevado do fósforo orgânico (P_o), o que se diferenciaria do fósforo inorgânico (P_i) além de se classificar como impossível do ponto de vista geológico, pois nos pontos de coleta e sondagem das amostras, a revisão bibliográfica aponta para perfis mais secundários e profundos que são de solos mais ácidos e desenvolvidos, como Latossolos e Argissolos, geralmente, ecossistemas com textura média argilosa, identificados com muita argila, são considerados com baixa fertilidade, (com menos de $5,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de P) uma vez que quanto maior o teor argiloso desses ambientes, menor a disponibilidade desse elemento químico (BARBOSA, 2017).

O entendimento é unânime em toda a literatura consultada, há fortes indicações em que os altos teores de P e matéria orgânica, são indícios de direta influência, possivelmente antrópica, épocas pretéritas ou mesmo mais recentes, como já tido anteriormente,

embora o objetivo desta pesquisa não seja os sítios arqueológicos de Terras Pretas de índio, há uma forte tendência de que este trabalho sirva de grande utilidade como ferramenta para a investigação e sondagem no monitoramento de achados de novas áreas de *solos de TPI's* ainda não catalogadas, não por conta das assinaturas arqueométricas ou vestígios de culturas passadas, mas sim, pelo fato do fósforo disponível (Mehlich-1) ser uma *assinatura pedológica* desses ambientes, podendo atingir valores da ordem de 3.000 mg kg⁻¹ (LIMA, 2001), o que ocasionalmente condiz com o conceito de *Solos não naturais* aqui tratado.

De certo, os métodos de análise para disponibilidade do fósforo nos solos evoluíram bastante, é preciso ressaltar que hoje existem possibilidades variadas como Bray1 e Bray 2, resina trocadora de ânions, Olsen, P-rem, e Mehlich -1, sobre esse último, destaca-se como um modelo de extração ácida (Mehlich-1), principalmente por sua capacidade de dissolução dos minerais que formam a argila, capaz de averiguar a disponibilidade do fósforo (TREVIZAM, 2009).

O método de análise Mehlich-1 é amplamente utilizado em vários estados brasileiros, em diversos laboratórios de análises de solos, inclusive pela EMBRAPA-SOLOS, averiguando a disponibilidade de fósforo para as plantas, tal método foi criado com o fim de avaliar, além do fósforo (P), o potássio (K), que pode ser realizado por espectros de absorção molecular. (BORTOLON e GIANELLO, 2008).

O extrator Mehlich-1, ou Carolina do Norte, podendo ser encontrado na literatura também, como Duplo-ácido, é universalmente reconhecido como a união de ácidos bem fortes, mas com suas concentrações razoavelmente baixas (RAIJ, 2004). O Mehlich-1 tem sido amplamente difundido, graças ao seu baixo custo e agilidade no tempo, é perfeito para solos ácidos, em geral, funcionando bem com a maioria dos solos amazônicos, com solos com baixo teor de matéria orgânica (MYLAVARAPU et al., 2002).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da Área de Estudo

A área de estudo da presente pesquisa abrange boa parte da grande extensão do Vale do Jari, com a maioria das atividades de campo, realizadas com acesso pela rodovia federal BR-156, sentido sul. O Vale do rio Jari e a influência de seu curso, em sentido amplo, se situa ao Sul do Estado do Amapá e norte do Estado do Pará, a partir de suas margens, inclui o distrito do município de Almeirim, conhecido como *Monte Dourado* – PA que faz fronteira com o estado do Amapá e os Municípios de Laranjal do Jari e Vitória do Jari, incluindo toda a região da Reserva Extrativista Cajari.

Do ponto de vista da localização geográfica, da Reserva Extrativista do Rio Cajari, situa-se ocupando quase que totalmente o sul do Estado do Amapá, dentro das delimitações geográficas das influências do **Vale do Jari**, incluindo-se na região mais setentrional da Amazônia brasileira, sua extensão territorial é constituída de pelo menos 3 municípios que são Vitória do Jari, Laranjal do Jari e Mazagão, sendo delimitada uma área total de 532.397, 20 hectares (BRASIL, 1997).

Como a área territorial da reserva ocupa quase que totalmente a região sul do Amapá, (ver figura 26) é possível fazer uma descrição de seu clima, que é quente e úmido (Superúmido), sendo caracterizado por intensa pluviosidade e com chuvas anuais que atingem os 2.400 mm. Tais chuvas são mais intensas e constantes nos meses iniciais do ano (Janeiro, Fevereiro, Março e Abril) (MURRIETA & RUEDA, 1995). Porém, com precipitações menos intensas, meses menos chuvosos, acumulando valores inferiores à 50 mm, não se podendo afirmar que exista um mês de seca na região (BRITO e VEIGA, 2015)

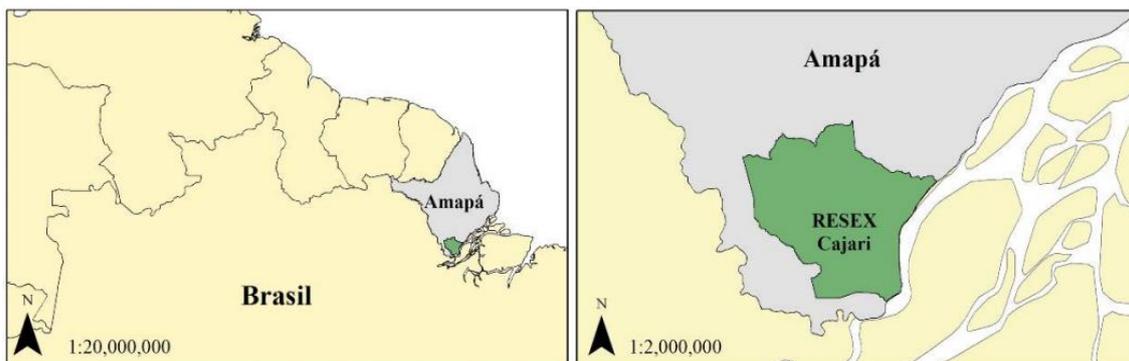


Figura 26 – Localização Geográfica da Reserva Extrativista do Rio Cajari.

Fonte: Paiva, (2009).

Os rios Cajari e Ajuruxi possuem maior destaque como bacias e redes hidrográficas, uma vez que a intensidade de chuvas abrange toda a área da reserva, uma vez que suas águas são drenadas também por igarapés, a exemplo o Tambaquí e outros canais vindos mais ao norte – até o baixo curso do Rio Cajari, toda uma super estrutura de drenagem se confunde com áreas de depósitos de sedimentos clásticos, dando origem a diques, áreas alagadas e Paranás, sendo que todas essas águas deslocam-se até a calha norte principal do Rio Amazonas (MURRIETA & RUEDA, 1995).

4.2 Sondagem e coleta das amostras

As amostras de solos foram sendo gradativamente coletadas em áreas pontualmente demarcadas e georreferenciadas, em parceria com EMBRAPA AMAPÁ. Todo o processo legal de solicitação de licenças para a fase de sondagem e extração das amostragens em campo, acompanhamento e petições documentais junto aos órgãos responsáveis, como o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, que forneceu autorização para a atual pesquisa, foi obtida e registrada no *Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISIBIO*, sob o número Número: 69748-1, consolidando-se de maneira positiva para a realização da coleta e transporte das amostras.

O deslocamento até as unidades da Reserva Extrativista Rio Cajari e outras localidades do Vale do Jari, só foi possível graças ao apoio Técnico da EMBRAPA Amapá, realizados através da Rodovia Federal BR-156 ao longo do primeiro ano de curso, seguindo a rigor o cronograma estabelecido na fase de pré-qualificação do Projeto de

pesquisa. As localidades e pontos de coleta (ver figura 27) selecionados foram o Retiro do Miguel (ponto 1 = AM1); a Localidade Roça da Panela (ponto 2 = AM2); Ponto isolado da Resex Cajari (ponto 3 = AM3); a Roça do Cláudio (ponto 4 = AM4); o Retiro do Neguinho em Jarilândia (ponto 5 = AM5) e Terrenos nos entornos do IFAP em Laranjal do Jari (ponto 6 = AM6), conforme pode ser visualizado na Figura abaixo.

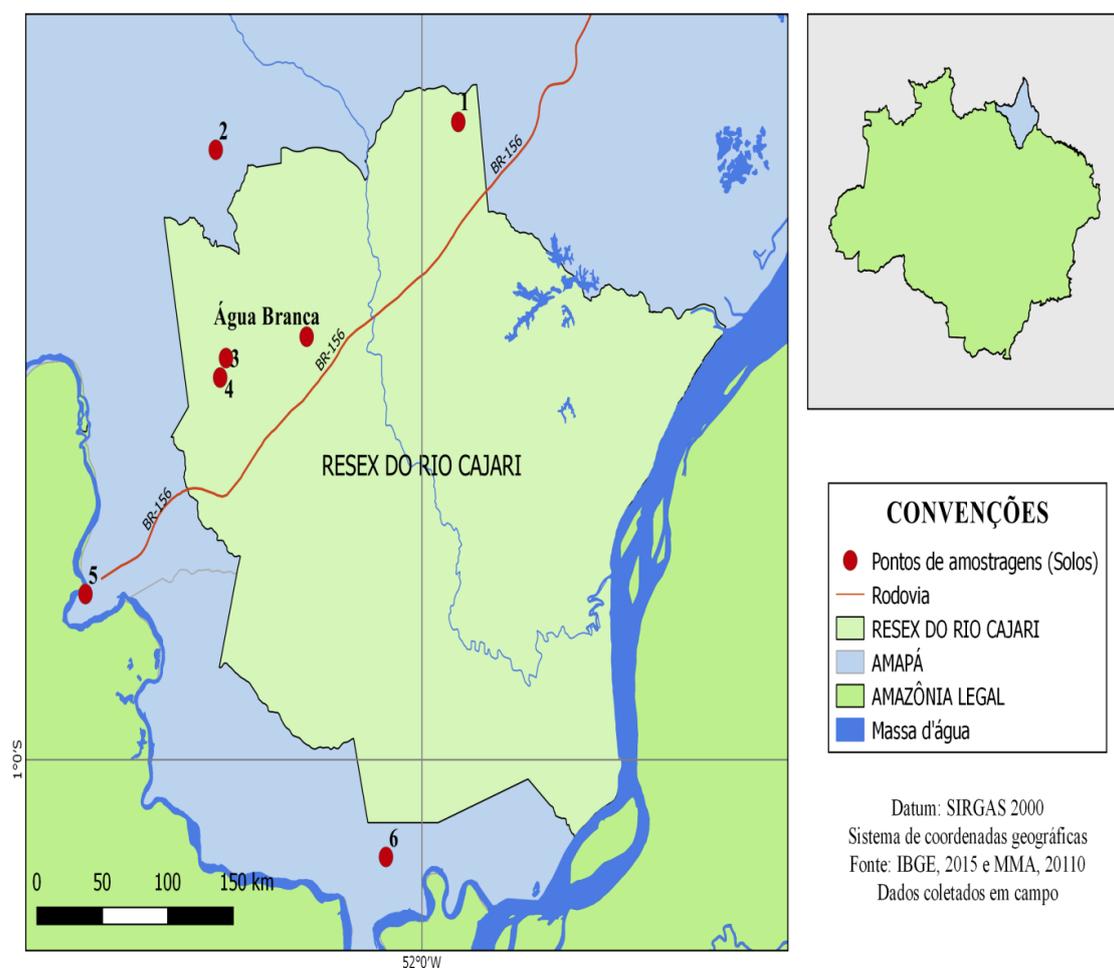


Figura 27 – Pontos de coletas de solos modificados por fatores não naturais em diferentes locais no vale do Jari.

Fonte: O autor.

O desenvolvimento dos métodos e procedimentos de análise, mesmo os equipamentos para o acesso às amostras de solos, com o fim de avaliação de fertilidade são bem rápidos e objetivos. Nas sondagens das amostras em campo, as coletas foram padronizadas pela EMBRAPA-AP, sendo utilizado um trado holandês com caçamba de 10 cm, em aço inox. Para o condicionamento do material extraído, foram utilizadas pequenas sacolas plásticas com capacidade máxima de 2 kg, separadas e organizadas em malotes para o transporte. Todas as sacolas foram devidamente identificadas e encaminhadas aos laboratórios

4.3 Etapas em Laboratório e granulometria das amostras.

A análise de rotina para fins de avaliação da fertilidade do solo foi realizada no Laboratório de Solos da Embrapa Amapá, seguindo os métodos descritos no manual de análises dos laboratórios da Embrapa (2015). A seguir, para fins de nivelamento, será realizada uma breve descrição desses métodos relacionados aos principais atributos (fósforo disponível e textura) discutidos no trabalho.

4.4 Fósforo disponível

O fósforo disponível (P) Mehlich-1 foi quantificado por espectrofotômetro, utilizando-se a leitura de cor produzida pela redução da relação entre o Molibdato de amônio com o ácido ascórbico, extraído na solução de $\text{HCl } 0,05 \text{ mol}^{-1} \text{ L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ (EMBRAPA, 1997). O procedimento de extração foi o de solução de Mehlich-1, utilizado na solução com relação de *solo:solução* de 1:10 com o tempo para agitação de 5 minutos, utilizando-se de um agitador horizontal, num período de 16 horas (TEDESCO et al., 1995).

4.5 Textura: Areia, Silte e Argila

A granulometria tem como objetivo principal verificar a quantidade, distribuição e circulação do material que compõe o solo, inclusive minerais que não são perfeitamente visíveis a olho nu, como no caso dos colóides (argila). Para a separação da Areia total, foi utilizado um funil e uma peneira de malha 0,053 mm, que foi apoiada em um suporte. Um Funil e uma Peneira foram colocados sobre a proveta com um cilindro de sedimentação, ao retirar a garrafa do agitador, foram transferidas as amostras para a

peneira tomando todo o cuidado para não se perder nada das amostras, em seguida foram lavadas com água deionizada com uma pressão razoável em coluna de água de 10kPa, a areia total foi retirada da peneira e transferida para um recipiente para iniciar o processo de secagem em estufa a 105 °C, durante o período de um dia, mantido em dessecador e pesado em balança Semianalítica (TEIXEIRA et al., 2017).

Para a determinação do silte e da argila foi utilizado método da Pipeta, que se baseia no tempo em que se observa a sedimentação das partículas que constituem o solo, observando principalmente o tempo de fixação da dispersão do material em solução. Foi adicionado 10 ml de uma solução de hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹ num cilindro de sedimentação com um litro de água deionizada. As medidas de matérias mais grosseiras (Silte e areia fina) foram submetidas ao método da tamisação e resguardadas em Estufa para posterior pesagem de suas porcentagens. Para a Argila, pipetou-se um pequeno volume do material colhido na suspensão determinando podendo assim explicar o seu teor, que é devidamente separada para secagem, também em estufa. Foram extraídos de cada amostra 25 ml das soluções da pipeta e transferidas para um béquer seco, sendo levado para estufa com a temperatura ajustada à 105 °C durante o curso de um dia completo (TEIXEIRA et al., 2017).

4.6 Análises mineralógicas

4.6.1 Difração de Raios X (DRX)

Este trabalho segue uma tendência no universo interdisciplinar científico, contribuindo especialmente com a Pedologia, Manejo e Fertilidade em Ciência dos solos, com a Ciência dos Materiais, especialmente a Física e a Química,- Existem técnicas físicas variadas que permitem desvendar informações tecnológicas ambientais ocultas, - potencialmente úteis, os métodos físico-químicos analisam a composição, estrutura, e mesmo as moléculas dos materiais, a exemplo da Difração de Raio X (RIZZUTO, 2015).

A tecnologia de raios X, é uma técnica de interação que usa a radiação eletromagnética juntamente com a matéria ordenada, ocorre quando o comprimento de onda incide na mesma proporção do espaçamento interatômico do material que está em análise, fenômeno chamado de ordem de angstrom, essa incidência de raios X sobre

determinado átomo, causa a dispersão da radiação em todas as direções, sendo que, a interferência construtiva dos raios dispersos com origem em vários átomos, é o que caracteriza a difração, a exemplo de um cristal, pode o ordenamento e periodicidade de átomos em sequência serem visualizados num conjunto de planos, nomeados de planos cristalográficos, geralmente associados aos índices de Miller (SCAPIN, 2003)

A técnica física mais clássica e de análise imediata utilizada em larga escala nos laboratórios de pedologia é a difração ou difratometria de Raios-X, por causa da sua sensibilidade para amostras policristalinas e também à identificação das fases dos minerais, uma que vez tal técnica tem se mostrado eficaz para a análise de solos tropicais, amplamente difundidos pela literatura, como sendo constituídos de materiais ricos em óxidos de Ferro e de Alumínio (FERREIRA et al., 2003).

A argila foi separada no laboratório de Solos Embrapa, foi tratada em almofariz de ágata para alcançar consistência adequada e logo após foram acondicionadas e encaminhadas para a identificação por Difração de Raios – X (DRX). A fração argila tem sua composição magnética separada através de um imã simples, após identificação dos argilominerais magnéticos, eles foram submetidos à difração em um difratômetro de Raios-X (DXR) modelo **Empyrean** da PANalytical, tubos de raios-X cerâmico de anodo de Co ($K_{\alpha 1} = 1,789010 \text{ \AA}$), foco fino longo, filtro K_{β} de Fe, detector PIXCEL3D-Medpix3 1x1, no modo *scanning*, com voltagem de 40 kV, corrente de 35mA, tamanho do passo $0,01^{\circ}$ em 2θ , varredura de 4° a 100° em 2θ , tempo/passo de 20 s, fenda divergente: $1/4^{\circ}$ e anti-espalhamento: $1/2^{\circ}$, máscara: 10 mm, para serem analisados. As análises mineralógicas de difração de raio-X (DRX) foram tratadas nos laboratórios do Departamento de Física Aplicada da Universidade Federal de Sergipe.

4.6.2 Microscópio eletrônico de varredura (MEV) com espectrômetro de energia EDS acoplado

Apesar dos objetivos específicos desta pesquisa não corresponderem à análise morfológica dos componentes do solo, foi de imprescindível relevância submeter os materiais coletados ao MEV-EDS, que possibilitou observar a concentração total dos elementos químicos em pontos específicos em suas seções mais finas. Foi utilizado um MEV Philips XL20 acoplado a um espectrômetro de energia EDS com sua calibração ajustada com uma aceleração de 20kV, o que garantiu o estudo da química dos pontos

analisados, onde para cada amostra, foram realizadas três análises para cada ponto específico selecionado. A Microscopia eletrônica de varredura acoplada a um espectrômetro de energia EDS (MEV-SED) foi realizada no Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Pará.

4.6.3 Análise de dados

Foi realizada uma análise descritiva para cada atributo das análises realizadas nas amostras de terra, verificando os valores médios, máximos e mínimos observados. Para analisar as relações entre os teores de nutrientes disponíveis, e as relações do fósforo disponível com atributos da granulometria e mineralogia das respectivas amostras, foram realizadas análises de regressão linear simples.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Atributos da análise de rotina utilizada para avaliação da fertilidade

Nas tabelas 1 e 2 apresentadas a seguir, pode-se observar os valores de matéria orgânica, dos macronutrientes disponíveis e trocáveis e de atributos ligados à acidez das amostras de terra, assim como as variações nas frações granulométricas que compõe a textura dessas amostras. Verifica-se para cinco dos seis sítios avaliados, o predomínio de elevada fertilidade e do caráter eutrófico (Tabela 1) dos solos caracterizado pela SB > 50%, assim como da textura média (Tabela 2).

Tabela 1 – Macronutrientes disponíveis, matéria orgânica e atributos da acidez de amostras de terra coletadas na camada de 0 a 10 cm de solos modificados por fatores não naturais em diferentes locais no vale do Jari.

Id.	pH	M.O. (g/kg)	P (mg/dm ³)	K (cmolc/dm ³)	Ca + Mg (cmolc/dm ³)	Ca (cmolc/dm ³)	Al (cmolc/dm ³)	H + Al (cmolc/dm ³)	SB (cmolc/dm ³)	CTC pH7 (cmolc/dm ³)	S. de bases (%)
AM1	6,8	38,3	125	0,19	12,6	10,9	0	2,3	12,8	15,1	85
AM2	6,1	16,4	9	0,09	4,3	4,4	0	2,3	4,4	6,7	66
AM3	6	16,06	52	0,12	5,5	4,7	0,2	2,31	5,62	7,93	71
AM4	5,9	18,1	39	0,09	6,5	6,6	0	1,2	6,6	7,8	85
AM5	5,8	89,99	232	0,11	20,5	18,1	0	5,7	20,6	26,3	78
AM6	4,8	9,5	4	0,03	1	0,9	0,2	1,2	1	2,2	45

AM1 - Retiro do Miguel; AM2 - Roça da Panela; AM3-Resex Cajari; AM4 - Roça do Cláudio; AM5 - Retiro do Neguinho/Jarilândia; AM6 - Terreno entorno do IFAP/Laranjal do Jari

Fonte: Elaborado pelo autor. .

Tabela 2 – Granulometria frações argila, areia e silte coletados na camada de 0 a 10 cm de solos modificados por fatores não naturais em diferentes locais no vale do Jari.

Amostras	Profundidade	Argila (g/kg)	Areia Grossa (g/kg)	Areia Fina (g/kg)	Areia Total (g/kg)	Silte (g/kg)	Classificação SBCS	Classificação Embrapa
AM1	0-10	317	148	121	269	414	Franco-argilossiltosa	Textura média
AM2	0-10	149	655	135	790	61	Franco-arenosa	Textura média
AM3	0-10	76	588	192	780	144	Franco-arenosa	Textura média
AM4	0-10	133	730	95	825	42	Franco-arenosa	Textura média
AM5	0-10	185	150	50	200	615	Franco-siltosa	Textura média
AM6	0-10	29	880	55	935	36	Areia	Textura arenosa

AM1 - Retiro do Miguel; AM2 - Roça da Panela; AM3-Resex Cajari; AM4 - Roça do Cláudio; AM5 - Retiro do Neguinho/Jarilândia; AM6 - Terreno entorno do IFAP/Laranjal do Jari

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Descrição dos atributos da fertilidade dos solos

O processamento das amostras em campo, foi realizado em uma profundidade de 0 a 10 cm, com coletas em diferentes pontos, conforme já tratado anteriormente. As amostras foram submetidas às análises de macronutrientes disponíveis com seus principais atributos, como a Matéria orgânica (MO); o fósforo disponível (P em mg/dm³); Potássio (K em cmolc/dm³); Ca + Mg (em cmolc/dm³); o Cálcio (Ca em cmolc/dm³); Alumínio (em cmolc/dm³); H+Al (em cmolc/dm³); a saturação das bases (SB em cmolc/dm³); a capacidade de troca de cátions (CTC pH7 em cmolc/dm³ e também a porcentagem da saturação de bases de acordo com EMBRAPA (2017).

5.2.1 pH

Diante dos resultados obtidos em parceria com o laboratório de solos da EMBRAPA-AP, quanto aos atributos químicos dos solos, principalmente quanto ao *seu pH* (pH H₂O < 4,5), constatou-se que cinco das seis amostras analisada, apresentaram pH acima de 5 (solos com pH próximo da neutralidade), respectivamente AM1(pH 6,8); AM2 (pH 6,1); AM3 (pH 6); AM4 (pH 5,9); AM5 (pH 5,8) e AM6 (pH 4,8). Apenas a amostra 6 (terreno vizinho aos entornos do IFAp), foi a única amostra com o pH abaixo de 5, o que indica que esse local possui uma leve acidez ativa. Em todos os outros locais não há indicativo de que possa haver problemas com acidez do solo, assim como também pode ser constatado que os valores de pH estão próximos de 6, que é um valor considerada ideal para otimizar a absorção da maioria dos nutrientes e evitar problemas de indisponibilidade pelo excesso de acidez ou alcalinidade da solução do solo (FERNANDES, 2006).

5.2.2 Al e acidez potencial

Além disso, do ponto de vista da *concentração de alumínio Al* (em cmolc/dm³), os valores apontam em todas as amostras o valor igual a 0 (zero), com exceção de AM3 (0,2) e AM6 (0,2) que apresentaram valores completamente insuficientes ou irrelevantes de Al (ver tabela 1). A *acidez potencial* pode ser medida pela acidez trocável e não trocável e é dada sempre pelos símbolos H +

Al, que se estabelecem com a interação do pH com uma solução tamponada que vai sendo influenciada por atributos físico-químicos e também por influência de minerais (SOBRAL, 2015). De acordo com a tabela de macronutrientes, os dados demonstraram a estimativa em AM1 e AM2 com 2,3 de $H+Al$ $cmol_c/dm^3$, AM3 com 2,31 $cmol_c/dm^3$; AM4 e AM6 com 1,2 $cmol_c/dm^3$ e AM5 com 5,7 $cmol_c/dm^3$. A soma desses dois elementos H + Al gera a acidez potencial que é consequência direta da concentração total de íons de hidrogênio e alumínio na matriz do solo. A explicação para solos ácidos nas regiões sob condições tropicais relaciona-se por conta da alta precipitação pluviométrica, uma vez que os elementos alcalinos, principalmente Ca^{2+} e o Mg^{2+} são lixiviados pelas águas, que contem CO_2 , gerando assim a substituição na estrutura coloidal por íons H^+ (RONQUIM, 2010).

A acidez potencial depende também da matéria orgânica, como pode ser observado na amostra 5, que apresentou valores muito elevados e correlacionados desses dois atributos. No entanto, o aspecto mais pernicioso da acidez do solo é a acidez trocável representada pela concentração do cátion Al^{3+} que fica na solução, e pode causar vários problemas como a deformação de raízes. Nesse sentido, todos os sítios estudados indicam que as modificações não naturais ocorridas nos solos analisados favoreceram a fertilidade e a nutrição das plantas, na medida em que impediram a ocorrência de alumínio trocável na solução, como normalmente é observado em solos amazônicos (Melém Júnior et al., 2008). Nesse trabalho, menos de 10% das 1343 amostras de solo natural coletadas no Estado do Amapá apresentaram baixos valores de alumínio ($< 8,4$ $cmol_c$ dm^{-3}). A grande maioria delas apresentou acidez elevada e baixa disponibilidade de fósforo.

5.2.3 Fósforo disponível

Quanto ao *fósforo em solos não naturais*, aparece com alta concentração e também pode ser identificado na forma de fosfatos onde é reconhecido pela ciência atual dos ecossistemas terrestres como um indicador químico mais relevante para detecção de solos diretamente influenciados (alterados) por interferência humana (LIMA, 2010). Na análise de macronutrientes, o fósforo aparece em valores elevados, com destaque para as amostras AM5 (232

mg/dm³) e AM1(125 mg/dm³), o que não é comum na pedologia tropical e equatorial, já que são zonas altamente intemperizadas pela ação das chuvas e pela concorrência da sua disponibilidade com a vegetação. Houve uma diferença relevante entre os locais de coleta e, conseqüentemente, uma relação íntima com a mineralogia e granulometria dos diferentes pontos onde foram realizadas as coletas. Foi possível compreender que as razões mais importantes para alteração da disponibilidade de fósforo é o aspecto da mineralogia da fração argila, e os conteúdos de colóides amorfos (LUCHINI, 2008).

5.2.4 Matéria orgânica

A *Matéria orgânica* MO, faz referência à totalidade de matéria viva ou morta, com diferentes funções no ecossistema terrestre e com uma diversidade de constituintes físicos, químicos e biológicos, a exemplo da fração liteira. Também fazem parte substâncias *não húmicas* como compostos orgânicos da natureza, como os aminoácidos, gorduras, resinas, carboidratos e ceras. Portanto, é formada por todos os compostos bioquímicos que são produzidos por organismos vivos, incluindo as plantas (MADARI, 2009).

Assim, ponto de vista da *matéria orgânica* (MO), as amostras apontam para características de solos não naturais, com uma forte tendência de serem solos antrópicos, por apresentar maior constituição nos teores de Carbono orgânico, Cálcio e Magnésio e baixo teor de alumínio trocável, atributos importantes para a fertilidade desses ecossistemas. Nota-se que a capacidade de adsorção dos nutrientes como Cálcio + Magnésio e saturação por bases e a natural redução da toxicidade do Alumínio, são processos incomuns em solos tropicais e que estão intimamente relacionados com a Matéria orgânica (MADARI, 2009).

As duas amostras que se destacam com razoável discrepância das outras, são a AM5 e AM1, que apresentaram os maiores valores de matéria orgânica humificada, assim como maior disponibilidade de fósforo, de cálcio e CTC. Constata-se que nesses locais a disposição de material orgânico, químico e biológico foi e é bastante presente, uma vez que essa relação pode ser feita diretamente com a *capacidade de troca de Cátions*. Isso indica que as modificações que ocorreram nesses solos, naturalmente inférteis, que

aumentaram sua fertilidade e melhoraram sua qualidade, podem ser associadas à introdução e manejo de material orgânico nesses sítios.

5.2.5 Capacidade de troca de Cátions

A *relação entre a CTC e MO* é insubstituível, pois um atributo complementa o outro, a CTC é uma fundamental ferramenta para caracterizar aspectos físico-químicos no solo, ela é responsável por indicar a quantidade de íons positivos que um solo pode ter em determinadas condições de troca, é um atributo muito útil, já que em estudos de fertilidade é de extrema importância para caracterização e interpretação informações (RAIJ, 1969). A CTC pode ser analisada quando for considerado todos os cátions trocáveis do solo, a exemplo, os principais $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ (RONQUIM, 2010). Na análise dos macronutrientes para CTC pH=7, as amostras apontaram em AM1, 15,1 cmolc/dm³; em AM2, 6,7 cmolc/dm³; em AM3, 7,93 cmolc/dm³; em AM4 7,8 cmolc/dm³; em AM5, 26,3 cmolc/dm³ e em AM6 2,2 cmolc/dm³, sendo perceptível a relação entre as AM5 e AM1 da MO em seus indicativos proporcionais.

5.2.6 Saturação por bases

A *saturação por bases “V%”*, é a quantidade de bases que existem dentro da CTC, o cálcio, magnésio, o potássio e outros sais minerais, são macronutrientes essenciais para a fertilidade do solo e podem ser tomados como “bons” para o seu desenvolvimento. Nesse sentido, pode-se compreender então, segundo Ronquim (2010), que a Saturação por bases (V%) é a relação de soma entre as bases trocáveis que geralmente se traduz por uma porcentagem da CTC, podendo ser expressa pela seguinte conclusão:

$$V(\%) = 100 * SB \div CTC$$

Toma-se nesse sentido, como um nível “ideal” de indicadores entre 50% a 70%, que são níveis adequados para avaliar a fertilidade de um solo, tendo como parâmetro os dados das amostras de camada superficial de 0 à 10 cm, a V% demonstrou que AM1 apresentou 85%; AM2 = 66%; AM3 = 71%; AM4 = 85% (Roça do Claudio, nas proximidades da BR-156); AM5 = 78%; e AM6

apresentou o menor percentual 45%, sendo a única amostra a ser indicada abaixo dos 50%. Isso mostra que apenas em uma amostra não foi encontrado o nível adequado de nutrientes favoráveis à fertilidade, validando a máxima dos *solos tropicais e equatoriais naturais* serem pobres em nutrientes, ao contrário de AM1 (retiro do Miguel) e AM4 (Roça do Claudio) apresentaram níveis elevados, ressaltando a hipótese de solos não-naturais serem solos que já sofreram algum tipo de alteração ou interferência, apresentando exatamente os mesmos níveis e uma alta nutrição e fertilidade incompatíveis com o processo natural de formação de solos em zonas tropicais.

5.2.7 Soma de Bases

Nesse mesmo sentido, Ronquim (2010) afirma que *a soma de bases* SB trocáveis indica a adição dos teores de cátions permutáveis, com exceção de H^+ e Al^{3+} ($SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$). As amostras tratadas com EMBRAPA-AP (2019) indicaram uma regularidade entre os dados, tendo AM1 = 12,8 $cmolc/dm^3$; AM2 = 4,4; AM3 = 5,62 $cmolc/dm^3$; AM4 = 6,6 $cmolc/dm^3$; AM5 = 20,6 $cmolc/dm^3$; apresentando porém, uma brusca queda na AM6 com 1 $cmolc/dm^3$;

5.2.8 Potássio

Para os *teores de potássio* as análises irão indicar se existem minerais primários e se o intemperismo é intenso, quando o teor desse elemento é mais baixo constatam-se solos mais intemperizados, como se constata em AM1 com 0,19 $cmolc/dm^3$, AM2 e AM4 com 0,09 $cmolc/dm^3$ AM3 com 0,12 $cmolc/dm^3$; AM5 com 0,11 $cmolc/dm^3$ e AM6 com 0,03 $cmolc/dm^3$.

5.2.9 Cálcio

Entre os macronutrientes, *o cálcio* apresenta-se regularmente em baixas concentrações em solos ácidos, típico da América do Sul, esse nutriente participa de funções estruturais nas plantas e, como uma espécie de mensageiro citoplasmático (SALVADOR; CARVALHO; LUCCHESI, 2011). Porém os níveis de Cálcio mostraram-se regulares nas camadas de 0 a 10 cm em

AM1=10,9 cmol_c/dm³; AM2=4,4 cmol_c/dm³; AM3=4,7 cmol_c/dm³; AM4=6,6 cmol_c/dm³; AM5=18,1cmol_c/dm³ e AM6=0,9 cmol_c/dm³.

5.3 Granulometria

A Granulometria nas frações principais de argila, areia e silte, demonstram uma notável variação entre as amostras nas camadas de 0 a 10 cm (ver figura 28), principalmente entre o silte e a argila, apresentando diferenças consideráveis entre as amostras

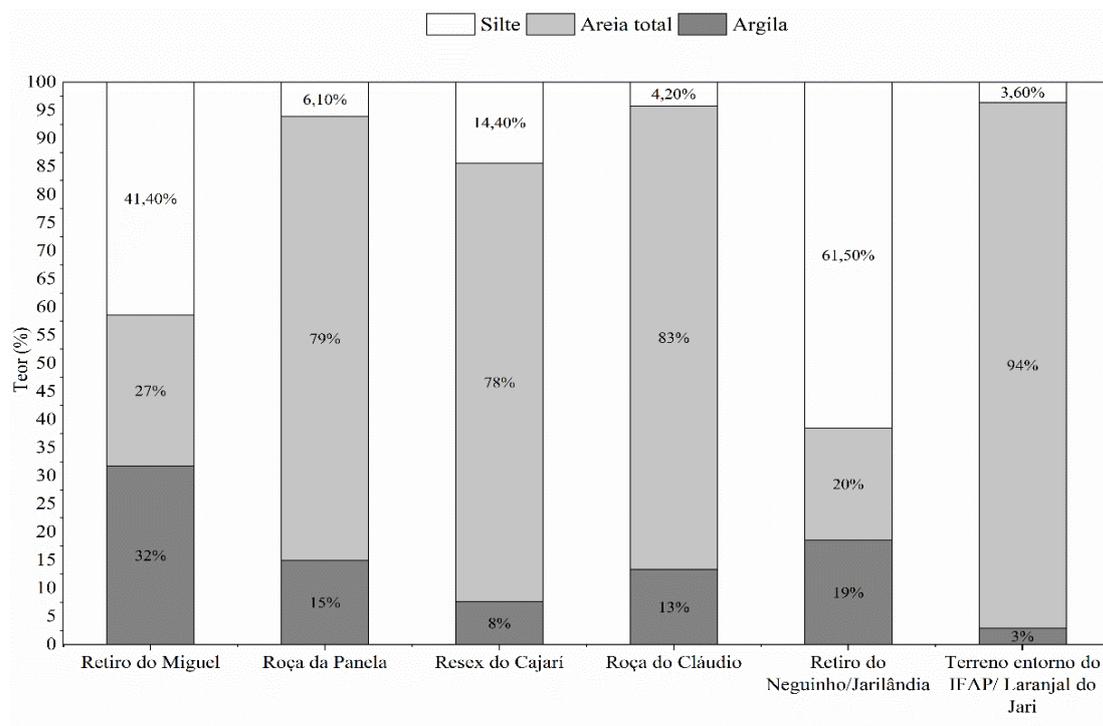


Figura 28 – Granulometria de amostras de terra coletadas em solos do vale do Jari modificados por fatores não naturais, na camada superficial de 0 – 10 cm. Fonte: o autor.

No retiro do Miguel, (AM1) a fração argila do solo é mais elevada em relação a qualquer outra amostra, com uma fração de 317 g/kg correspondendo a 32% da fração mineral do solo, demonstrando ser o solo mais quimicamente ativo, a areia total com uma fração um pouco inferior, chegando a 269 g/kg, correspondendo à um percentual de 27% da amostra, indicando ser o solo que

mais sofreu ação do intemperismo e com maior capacidade coloidal. Além disso, essa amostragem também apresenta a maior fração silte, com cerca de 414 g/kg correspondendo à 41,40% da totalidade da amostra, com classificação embasada pela SBCS como uma unidade Franco-argilossiltosa, e indicada por Embrapa (2019) com textura média.

Na localidade às margens da BR-156, chamada por “Roça da panela” (AM2) evidenciou-se a terceira maior fração de areia total, ficando atrás somente das amostras AM4 e AM6, com cerca de areia total 790 g/kg, sendo assim, um solo com alta porosidade já que somente essa fração ocupa um percentual 79% da amostra, a unidade também possui 149 g/kg de fração argila (15% do total), além de 61 g/kg de silte (6,10% do total) com classificação da SBCS = franco-arenosa e pela Embrapa (2019) com textura média.

No amostra AM3, denominado de “RESEX CAJARI”, a fração argila atingiu 76 g/kg correspondendo a 8% do total; a fração silte registrou 144 g/kg com 14,40% - e a areia total 780 g/kg, sendo 78% do total percentual da amostra, inferior somente para AM2, AM4 e AM6, a amostra indica que esses solos são muito porosos, com classificação SBCS franco arenosa e classificação da Embrapa com textura média.

A amostra para a localidade “Roça do Claudio” (AM4), apresentou a fração argila com 133 g/kg correspondendo à 13% do total da amostra, para areia total, apresentou 825 g/kg (83%) sendo inferior nesse critério somente para a amostra AM6, e portanto, sendo um solo bastante arenoso, apresentou para fração silte 42 g/kg com 4,20% do total da unidade de amostra. A classificação SBCS é franco-arenosa e a classificação Embrapa (2019) apontou textura média do solo.

No Retiro do Neguinho, em Jarilândia, (AM5) a fração argila é a segunda maior em todas as amostras, sendo inferior somente à AM1, com 185 g/kg e um percentual de 19%, para a fração areia total, a amostra indicou 200 g/kg, sendo assim a menor unidade à apresentar a menor fração de areia total entre todas, com um percentual de 20%, no sentido oposto, é a amostra com a maior

fração silte com 615 g/kg e 61% do total da amostra, a classificação da SBCS é franco-siltosa e a classificação Embrapa (2019) é com textura média do solo.

Em um terreno aos entornos do prédio do IFAP (AM6), a fração areia total é indicada como a maior entre todas as unidades de análises granulométricas com 935 g/kg (cerca de 94%) do conteúdo da amostra, contatando-se como o solo mais arenoso de todos analisados, os valores para as outras unidades granulométricas são pequenos, como visto na fração argila com apenas 29 g/kg (3% do total da amostra) a menor fração de todas, e a fração silte apresentando apenas 36 g/kg (3,60% do total da amostragem). A classificação da SBCS é areia – arenoso e a classificação Embrapa (2019) é com textura média do solo.

As amostras AM1 e AM5 são as que apresentaram os maiores valores de argila e silte e menores valores (< 30%) de areia, fração mais grosseira que não contribui para a manutenção da fertilidade e dos colóides. Essas amostras também apresentaram maior fertilidade, indicando que a maior concentração dos colóides minerais, assim como a proteção dos colóides orgânicos pela argila, são fundamentais para a capacidade de retenção dos nutrientes e manutenção da fertilidade elevada nesses sítios.

5.4 MEV-EDS

As técnicas físicas e análises químicas possuem um papel fundamental na avaliação da disponibilidade de fracionamento do P, para o estudo dos componentes minerais de seções mais finas, o uso de microscopia eletrônica de Varredura com Microsonda de dispersão de Raios-X acoplado (EDS) garantem um elevado acesso de informações e ganho de dados (LIMA et al., 2010).

5.4.1 Teor de argila e Fósforo disponível

Resultados importantes mediante o uso desta técnica podem ser conferidos na discussão a seguir, quando a microanálise química das amostragens, foram preparados gráficos de regressão linear simples, sendo discutidas as relações mais relevantes e evidentes deste estudo, observando sempre a disponibilidade

do fósforo P, com o cruzamento de outros elementos químicos presentes nos constituintes dos solos, como por exemplo: Os colóides (argila que é a fração total dos minerais do solo), o Ferro (Fe), o Manganês (Mn), o Titânio (Ti), o Silício e o Zircônio (Zr), todos com o $r^2 > 0,30$.

Com os resultados obtidos para o Fósforo disponível (y) e teor de argila (x), observou-se uma correlação direta e positiva entre seus respectivos teores, como pode ser visto logo abaixo (figura 29).

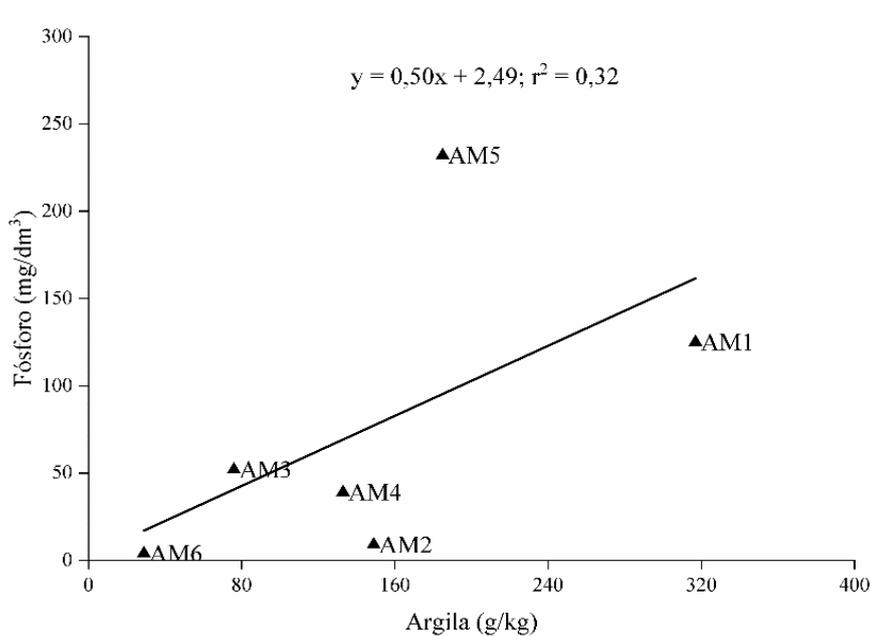


Figura 29 – Fósforo e teor de argila

Fonte: o autor

A tendência positiva e ascendente indica que nos sítios avaliados e modificados por fatores não naturais, quanto maior o teor de argila, maior é a quantidade de fósforo disponível. A maior concentração de colóides argilominerais, assim como a proteção de colóides orgânicos pela argila, podem explicar a capacidade de retenção dos nutrientes e manutenção da fertilidade elevada nesses sítios. No entanto, no caso do fósforo, o que se espera é uma relação negativa com os argilominerais que ocorrem em solos muito intemperizados, devido ao processo de adsorção específica, por meio de ligações covalentes, que dificultam o processo de troca e liberação de nutrientes aniônicos de componentes mineralógicos da fração argila. Normalmente, quanto mais

intemperizado é o solo, mais óxidos, como a goethita, são formados e maior será a capacidade de adsorção do fósforo, e menor o P disponível, considerando apenas essa variação qualitativa.

Tal resultado para a relação *teor de fósforo/argila*, se justifica em função da constatação na literatura, sendo muito comum em regiões tropicais florestais, o fósforo sofrer influência do *caráter dreno* dos solos, leva-se isto em perspectiva quando esses ecossistemas apresentam disponibilidade que favorece as plantas ou quando o solo compete com elas, retendo o fósforo, isso acontece porque o processo de intemperismo altera sua característica principal (ser uma fonte de disponibilidade), para uma função de drenagem desse elemento, transformando-se mais eletropositivamente, é o que se observa no fenômeno da adsorção, cuja capacidade de reter ânions como os fosfatos é marcante (ROLIM NETO et al., 2004).

Normalmente, nos Latossolos da Amazônia, o teor de fósforo disponível é muito baixo devido à forte adsorção desse nutriente nos argilominerais, gerando, portanto, uma relação negativa para solos muito argilosos, o que não ocorre em todas as amostras. No entanto, nesses *solos não naturais* analisados, essa relação positiva encontrada, pode ser um indicativo de que os colóides orgânicos podem ser os principais responsáveis pela elevada disponibilidade de fósforo. Pode estar havendo liberação de fósforo dos possíveis resíduos orgânicos antrópicos acumulados ao longo do tempo, como vestígios de ossos, fezes e urina, entre outros materiais que possivelmente eram descartados como lixo nos solos (REBELLATO, 2007).

Além disso, é possível que exista a influência do material das argilas introduzidas nos sítios na forma de fragmentos cerâmicos enriquecidos com fósforo, muitos em intenso intemperismo, se desintegrando, influenciando a fração coloidal do solo. Esses fragmentos contêm em sua maioria, elementos de assinatura fosfórica, fato dos cacos terem sido enriquecidos pelo fósforo no processo de cozimento dos alimentos, no uso doméstico de antigas comunidades da floresta (PESSOA JUNIOR e SANTANA, 2016; VALENTE e COSTA, 2017).

5.4.1.1 Relação do P disponível com a mineralogia e os tipos de argilominerais

As análises realizadas pela técnica da microscopia eletrônica de Varredura com microsonda de dispersão de Raios-X acoplado (MEV-EDS) possibilitou a visualização (ver figura 30) das fases mais finas e agregadas dos minerais, muito embora o objeto de discussão desta pesquisa não seja a morfologia dos solos, o mapa microquímico de EDS “(a)” de horizonte *não natural*; Retiro do Miguel (AM1) além da fotomicrografia apresenta o “Spectrum 1” (b) em destaque, que se refere ao ponto específico da análise, pode ser observado a seguir:

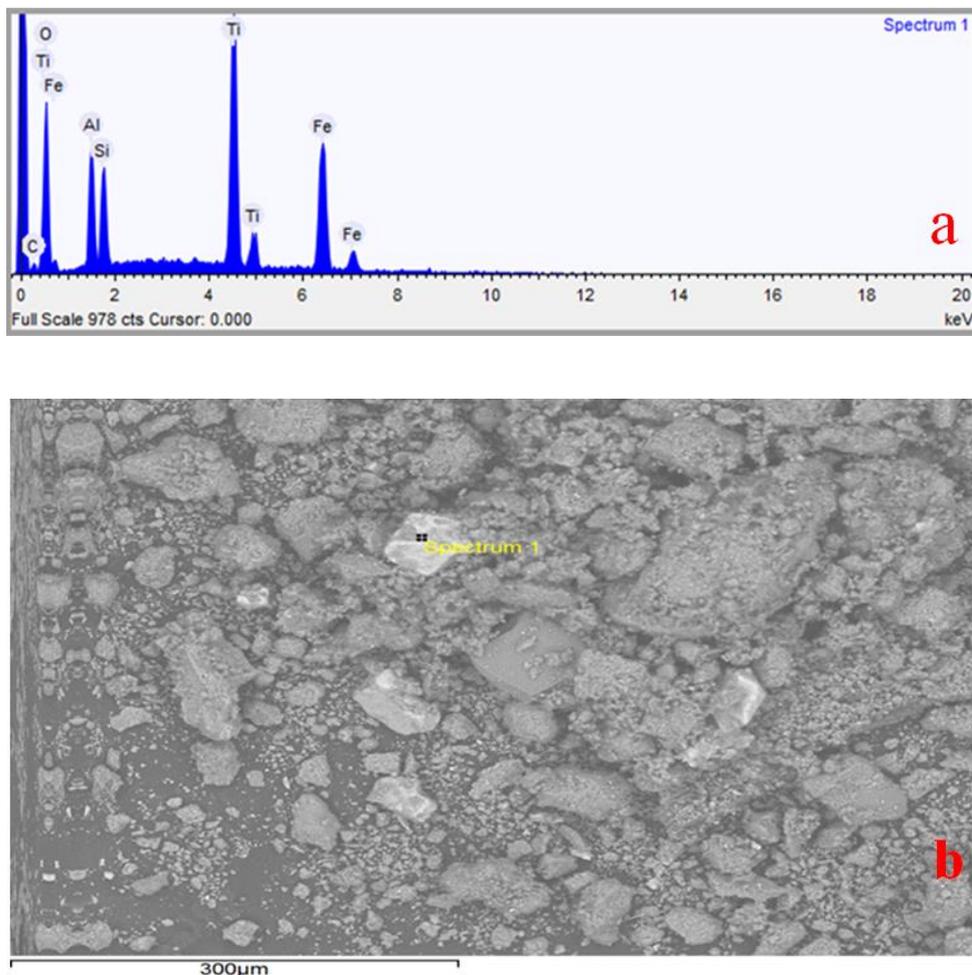


Figura – 30 Em destaque: a) mapa microquímico analítico de EDS; b) Fotomicrografia de MEV/EDS do Retiro do Miguel - AM1.

Fonte: o autor.

A Fotomicrografia de Microscopia eletrônica (MEV/EDS), como produto da micromorfologia para interpretar processos pedogenéticos não naturais, indicou uma semelhança entre as amostras, através de análise qualitativa dos difratogramas de DRX, determinou-se que os minerais predominantes na fração argila dos solos com picos intensos e característicos de Caulinita (0,732 nm), Halloysita (0,720nm) e Quartzo (0,334nm). O caráter caulínítico foi predominante em todas as amostras analisadas, com picos intensos e característicos de caulinita (0,732 nm). A caulinita é um filossilicato derivado do caulim, considerado um silicato de alumínio, um argilomineral que possui uma composição de 39,50% de Al_2O_3 , 46,54% de SiO_2 e 13,96% de H_2O (LUZ et al., 2008).

5.4.2 Relações do P disponível com os teores totais dos elementos constituintes da estrutura do solo

5.4.2.1 Fósforo e teor Ferro (Fe)

A posição das amostras no gráfico de dispersão apresenta um desarranjo, embora mostre uma tendência positiva já que o r^2 está acima de 0,32, padrão que foi assumido como resultado aceitável nesse caso, era esperada uma relação negativa entre os teores de fósforo e os de ferro, como pode ser visto a seguir (figura 31):

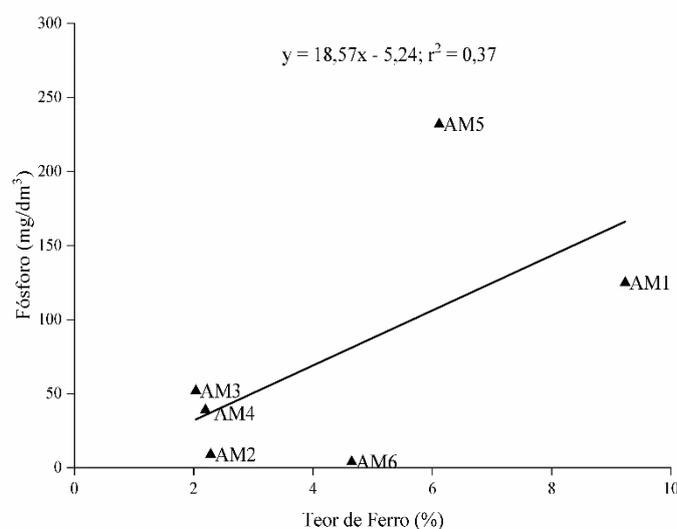


Figura 31- Fósforo e teor de Ferro

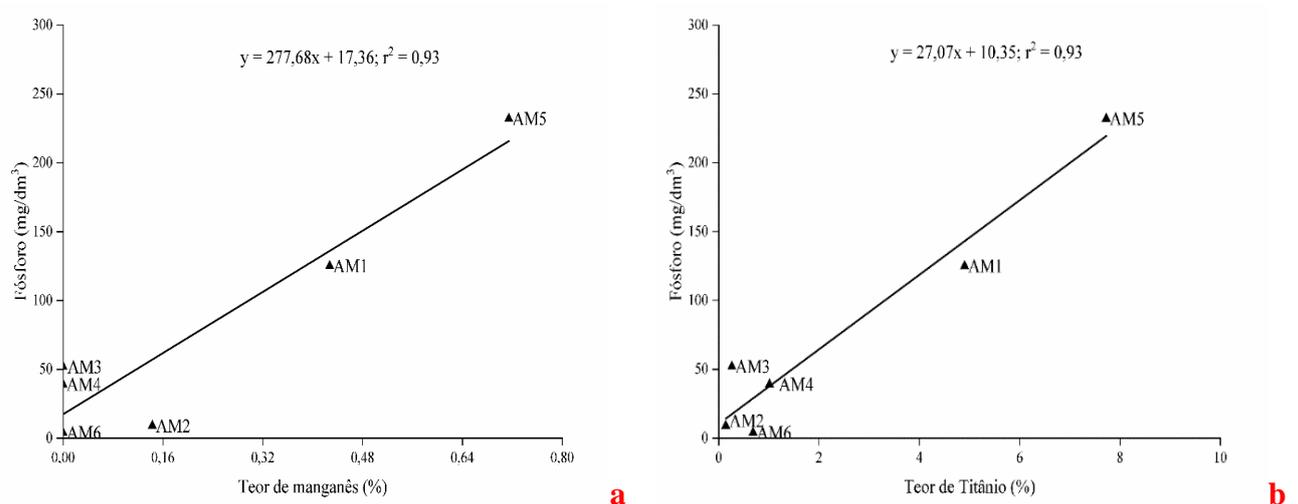
Fonte: o autor.

Os fosfatos (fósforo) são adsorvidos geralmente nas formas de H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} através de ligações covalentes, que retiram as hidroxilas OH^- , formando ligações simples com o Fe e com o Al, presentes no processo de adsorção que ocorre nos óxidos de ferro (ATKINSON, et al. 1974).

O modelo teórico de reta, não contempla todas as amostras no gráfico, em AM1 e AM5, é permitido afirmar nesse caso, por conta dos altíssimos teores de fósforo nessas coletas (ver tabela 1); no Sítio do Miguel (AM1), a medida do fósforo disponível chega a 125 mg/dm^3 , é o segunda maior amostragem com maior nível de disponibilidade; e o Retiro do neguinho em Jarilândia (AM5), demonstra o maior nível de concentração, com 232 mg/dm^3 , provando que os processos de adsorção nesses pontos não estão ocorrendo de forma intensa, logo, pode-se afirmar que quase não há presença de óxidos de ferro ou minerais que esteja interferindo efetivamente na ciclagem do elemento. O $r^2 = 0,37$ indica uma relação moderada de 37% em ascensão, sugerindo para essa relação, forte adsorção na coleta da Resex Cajari (AM3) e na roça do Claudio (AM4), previsão de forte mineralogia para óxidos de ferro na roça da panela (AM2) e no terreno aos entornos do IFAP (AM6).

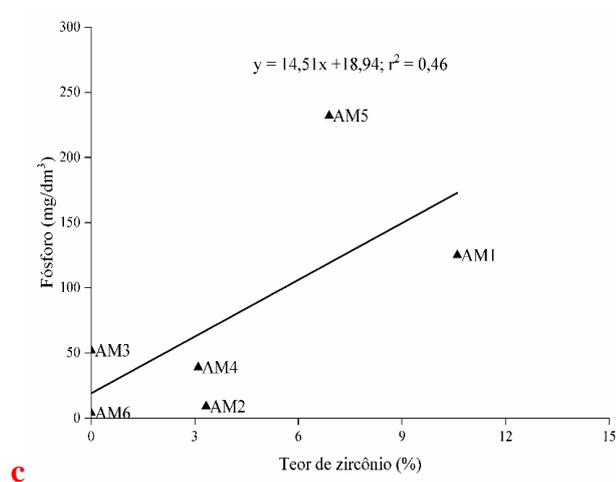
5.4.2.2 Fósforo e teores de manganês, titânio e zircônio

Ao observar respectivamente os valores para “a”, “b” e “c” (figura 32) constatou-se que os melhores ajustes estão para os gráficos de Manganês e Titânio, com o r^2 bem próximo de 1 ($r^2 = 0,93$), o que indica uma correlação quase perfeita, uma vez que se adotou apenas pelas relações a partir de 0,32; já com o Zircônio surge uma projeção de 0,46 no coeficiente de determinação, o que se considerou moderado, logo, são todos elementos metálicos e apresentaram forte relação positiva com o P disponível, como podem ser vistos a seguir:



Fósforo e Manganês (Mn)

Fósforo e Titânio (Ti)



Fósforo e Zircônio (Zr)

Figura 32- Relações dos teores de fósforo disponível com teores totais de elementos metálicos: a) Manganês (Mg); b) Titânio (Ti) e c) Zircônio (Zr), em amostras de terra de solos modificados por fatores não naturais no vale do Jari.

Fonte: o autor.

Essa relação positiva com todos os elementos metálicos, deve-se aos maiores teores desses elementos nas amostras AM1 e AM5, que também apresentaram

maiores valores de fósforo disponível e de matéria orgânica. Isso, associado ao fato de que essas amostras também apresentam maiores valores de argilominerais como caulinita e goethita (ver tabela 03), que deveriam adsorver o fósforo e diminuir a disponibilidade; é um indicativo de que pode estar ocorrendo quelação dos metais com colóides orgânicos.

Ao relacionar o teor de fósforo com o de manganês (gráfico “a”, figura 32) se observa uma ascensão e quase perfeita relação na coleta do Retiro do Neguinho, em Jarilândia (AM5 - 232 mg/dm³) onde se pode constatar uma visualização do no modelo teórico adequada, quanto mais se concentra o teor de P, mais aumenta a quantidade de Mn no solo; isso pode estar relacionado à capacidade de solubilidade e a intensa disposição de radiação solar na região (clima equatorial) que influencia diretamente na disponibilidade do elemento metálico, já que suas concentrações são mais intensas em perfis superficiais (MIYAZAWA et al., 1993).

A relação com a argila para essa amostra foi fundamental, uma vez que podem estar ocorrendo relações entre zonas amorfas (matéria orgânica coloidal) cuja associação com o Mn, seria de imprescindível valor de fornecimento de micronutrientes para as plantas (OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2006), já que é onde ocorrem as trocas entre argilominerais; se constatou como a segunda maior fração coloidal deste estudo, com cerca de 19% de argila (ver tabela 1) e a maior presença de silte, entre todas as amostras, com 61,50%, (ver figura 28) o que sugere a influência direta da solução, da relação com a drenagem e os níveis de pluviosidade da região, de acordo com os resultados de granulométricos encontrados (MIYAZAWA et al., 1993).

Na sequência, segue com os mesmos fenômenos que ocorrem em AM1 (Retiro do Miguel) porém, com menos intensidade em relação à AM5, haja vista, os valores do teor para Mn serem de 0,42% e para o fósforo disponível, 125 mg/dm³, inferiores somente para o Retiro do Neguinho, o que se demonstra claramente no gráfico “a”. O retiro do Miguel se destacou por ser entre todas as amostragens, do ponto de vista de sua granulometria, tendo todas as suas

frações mais equilibradas e divididas entre si, apresentando sua composição argilosa com teor de 32%, ainda assim, superior à AM5.

As outras amostras, AM2, AM3, AM4 e AM6, que apresentaram os menores valores de fósforo e dos elementos metálicos, são exatamente as amostras nas quais foram observados os maiores valores de areia (tabela 1) e de quartzo (ver tabela 03). Isso demonstra que essas relações não devem ser associadas aos minerais primários originários ou menos intemperizados da fase sólida mais grosseira do solo, reforçando a importância dos colóides húmicos orgânicos.

Para o Titânio, os resultados também mantiveram uma boa resposta no gráfico de dispersão, demonstrando existir intensa correlação entre as variáveis P e Ti. O Titânio pode surgir no ambiente a partir de formas minerais de anatase (TiO_2 - dióxido de titânio) e illmenita (FeTiO_3) sendo percebido em grandes quantidades, porém dispersas. O titânio é um elemento que, pode ter uma resposta diferenciada nos testes com difratometria de raios-X, não aparecendo com tanta facilidade quanto na técnica de MEV-EDS, podendo estar na forma de materiais amorfos- A literatura aponta que o elemento não é bem absorvido pelas plantas e possui baixa solubilidade em pH entre 4,0 à 8,0, logo, não se considera também um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, apesar de contribuir nos processos de germinação, síntese de proteínas e absorção de nutrientes (BACILIERI, 2015).

Uma das substâncias mais utilizadas na indústria como pigmento branco é o dióxido de titânio (TiO_2), pois não é considerado tóxico e seu custo de obtenção na natureza é considerado baixo, sendo muito bem aproveitado na produção de tintas (G. T. SALEIRO et al., 2010).

A fonte do elemento metálico Zircônio é encontrada na Zirconita, baddeleyíta e no caldasito, são considerados minerais com dureza elevada, índice de refração alto, resistente às reações ácidas, é amplamente utilizado na indústria de fundição e cerâmicas refratárias, em revestimentos de reatores nucleares, como ingrediente especial em ligas de aço mais resistentes (BERTOLINO et al., 2008).

5.4.2.3 Fósforo e teor de Silício (Si)

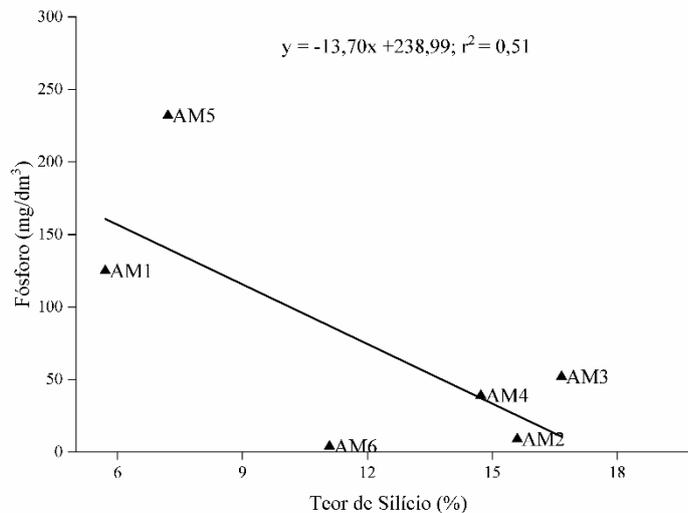


Figura 33- Fósforo e teor de Silício

Fonte: o autor.

A inclinação descendente da reta indica uma relação negativa, no entanto com $r^2 = 0,51$ moderado, o que indica que o eixo x (Si) explica 51% dos valores de y (P) exercendo alguma influência no caso das amostras com maiores teores de Si e também de quartzo mineral, muito provavelmente em relação, somente neste caso, para possível intemperização de matrizes de rochas fosfatadas. No caso das duas amostras com menores concentrações de silício e maiores teores de fósforo, nas quais verificou-se maior importância dos argilominerais muito intemperizados e da fração orgânica, percebe-se que os fatores antrópicos que agiram sobre os solos naturais, atuaram no sentido de intensificar seu intemperismo, mas de maneira a aumentar a disponibilidade de nutrientes, diminuir a acidez e melhorar sua fertilidade.

Depois do oxigênio, apenas um mineral é mais abundante na pedosfera, se caracterizando como essencial na formação da estrutura de quase todos os argilominerais, o óxido de silício (SiO_2), todavia, a intensidade do processo de intemperismo em solos tropicais favorece a forma de Quartzo, e outras formas que não influenciam diretamente no desenvolvimento das plantas (BARBOSA FILHO et al., 2001; MAUAD et al. 2003).

O Si normalmente fica junto com o Al, formando os silicatos de alumínio; com o intemperismo os óxidos de Al (gibbsitas), que adsorvem menos Fe do que a goethita (óxido de Fe).

5.5 MINERALOGIA DA FRAÇÃO DE SOLO (DRX)

Os difratogramas das frações de argilas extraídas das amostras de solos coletadas nos diferentes locais de estudo encontram-se no Apêndice. Tais análises qualitativas dos difratogramas foram realizadas através do software X'Pert Highscore (PANalytical). Observa-se nesses resultados que os minerais predominantes nas frações de argilas das amostras de terras alteradas por fatores não naturais, foram: Quartzo- α , Goethita, Quartzo- β , Goosecreekita, Halloysita, Caulinita, Kassita, Soldalita, Gibbsita e Grossista. Os caracteres caulinitico, halloysítico e silicoso foram predominantes em praticamente todas as amostras analisadas, com picos intensos e característicos de Caulinita (0,732 nm), Halloysita (0,720nm) e Quartzo (0,334nm).

Para melhor entender esse resultado preliminar, aplicou-se refinamento Rietveld aos difratogramas de todas as amostras a fim de quantificar cada uma das fases cristalinas indexadas. Os resultados dos refinamentos, expressando as porcentagens mineralógicas de cada amostra, estão apresentados na Tabela 03, como pode ser visto a seguir

Tabela 03: Resultado da quantificação mineral das amostras de terra coletadas em solos do vale do Jari modificados por fatores não naturais, na camada superficial de 0 – 10 cm, por Refinamento Rietveld.

Minerais	Amostras					
	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6
Quartzo- α	30,3%	68,9%	73,2%	67,9%	23,1%	94,5%
Quartzo- β	2,4%	0,6%	0,4%	0,6%	1,6%	-
Goosecreekita	-	8,5%	7,2%	8,8%	17,9%	-
Halloysita	20,5%	8,7%	5,6%	8,9%	24,5%	2,4%
Goethita	6,4%	0,1%	-	1,2%	-	-
Magnetita	0,4%	-	-	-	-	-
Caulinita	33,1%	8,4%	3,8%	9,9%	24,7%	3,0%
Kassita	-	0,5%	4,2%	0,1%	0,2%	-
Soldalita	-	1,9%	1,2%	1,4%	2,0%	-
Gibbsita	0,2%	1,0%	3,4%	-	3,0%	-

Grossista	6,7%	1,3%	1,1%	1,2%	2,8%	-
-----------	------	------	------	------	------	---

AM1 - Retiro do Miguel; AM2 - Roça da Panela; AM3-Resex Cajari; AM4 - Roça do Cláudio;
AM5 - Retiro do Neguinho/Jarilândia; AM6 - Terreno entorno do IFAP/Laranjal do Jari

Fonte: elaborado pelo autor.

O refinamento indicou que os percentuais dos teores obtidos para as fases majoritárias apresentam as seguintes características:

- (a) Quartzo: mineral encontrado em maior quantidade nas amostras, cujo percentual varia de 30 a 94%;
- (b) Caulinita: apresentou um percentual significativo variando de 3% a 33%;
- (c) Halloysita: mineral de argila aluminossilicato que representa de 2% a 20% do conteúdo das amostras.

Por fim, os resultados do refinamento mostraram que a AM6, oriunda da coleta realizada nos entornos do terro do prédio do IFAP, é relativamente homogêneo em termos de fase mineralógica, pois apesar da oscilação entre os mínimos e máximos percentuais principalmente da fase gibbsita, essa, encontra-se praticamente na mesma média para ambas as amostragens.

CONCLUSÃO

Os resultados de atributos da análise de rotina utilizada para avaliação da fertilidade demonstraram o predomínio de solos férteis para todas as amostras estudadas, com exceção apenas, da coleta AM6 (terreno nos entornos do IFAP) com a menor disponibilidade de fósforo, todos com a granulometria bastante homogênea, sendo constituídos com grande fração de areia total, e portanto, intensamente intemperizados, e com boa drenagem. As amostragens é possível que os colóides orgânicos sejam os principais responsáveis pela elevada disponibilidade de fósforo em todas as amostras de terras alteradas por fatores não naturais.

As frações coloidais argilominerais de solos estudados apresentaram assinatura fosfórica que podem ter sido enriquecidas pelo processo de pedogênese, quando da possível reintegração de cacos cerâmicos (panelas de barro) terem sido enriquecidos pelo fósforo no processo de cozimento de alimentos de comunidades antigas.

A concentração dos colóides argilominerais, juntamente com os colóides orgânicos, explicam a capacidade de retenção dos nutrientes, favorecendo a fertilidade dos solos alterados estudados, todavia, se destacou uma relação negativa do fósforo com as frações de argilominerais em destaque, nas amostras analisadas, visto que quanto mais intemperizado for um solo, mais óxidos de goethita serão formados e assim, maior será a capacidade de adsorção do elemento.

A partir dos resultados de MEV-EDS, foi possível interpretar a presença dos elementos químicos pelo mapa microquímico analítico de EDS e conseguir

interpretar as relações das fases mais finas dos minerais em comparativo com o DRX, que apresentou semelhança entre as amostras, sendo predominantes na fração argila dos solos, que foram a Caulinita (0,732 nm), Halloysita (0,720nm) e Quartzo (0,334nm).

A Amazônia é um ambiente rico em respostas para inúmeros problemas que cientistas e pesquisadores ainda buscam encontrar, tal pesquisa na área de solos, a nível tecnológico e econômico, favorece e beneficia a sociedade brasileira, no sentido de amparar agroecologia dos solos, uma vez que o Brasil é um dos países que mais praticam técnicas de manejo de suas terras cultiváveis, e de correção do solo, e grandes instituições renomadas na área de agronomia e geoquímica de ecossistemas terrestres como a Universidade Federal do Pará (UFPA), e da EMBRAPA-AP, participaram como parceiras desta pesquisa.

No aspecto cultural e patrimonial, sabe-se que existe grande possibilidade dessas áreas estudadas serem sítios de Terras pretas de índio, contribuindo para a investigação e confirmação posterior dessas hipóteses. Além disso, A Reserva Extrativista Rio Cajari, fica dentro da área do grande vale do Jari, e possui inúmeras comunidades ribeirinhas e tradicionais da floresta, nesse sentido, a presente pesquisa favorece um plano de manejo efetivo dos solos para uma posterior construção mais consolidada do mesmo contribuindo com essas famílias.

Há poucos trabalhos realizados no estado do Amapá, na região da Amazônia setentrional, que contemplem uma descrição minuciosa e específica dos colóides orgânicos amorfos, possíveis responsáveis pela interação com o fósforo, onde se configurou um limite para este estudo, deixando muita curiosidade e servindo como sugestão para futuros pesquisadores investirem tempo nesse conceito. Além disso, as várias assinaturas pedológicas da região, como o Ti, Zr e o Fe, denotam maior aprofundamento de discussão.

O estudo de solos como interface de um geossistema, possibilita a compreensão de múltiplos saberes, que vão além dos aspectos meramente

físicos, químicos; contemplam um universo de interações, de relações de energias, de relações culturais, históricas, geográficas, de como a vida interage no Planeta, que se volta totalmente para o universo. Os saberes interdisciplinares, multidisciplinares vão sempre muito mais além.

APÊNDICE A– DIFRATOGRAMAS DE DRX

Resultados do refinamento pelo método de Rietveld do padrão de difração das amostras estudadas.

APÊNDICE B – AUTORIZAÇÃO PARA COLETA DE SOLOS

Número: 69748-1	Data da Emissão: 09/07/2019 18:10:13	Data da Revalidação*: 09/07/2020
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

SISBIO	
Nome: Alcides Froes Dias Júnior	CPF: 000.450.862-90

Título do Projeto: Estudos de solos sob castanheiras na Resex do rio Cajari

Nome da Instituição: Fundação Universidade Federal do Amapá

CNPJ: 34.868.257/0001-81

Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta de solo	05/2019	05/2024

Equipe

#	Nome	Função	CPF	Nacionalidade
1	Eder Souto Batista	Responsável por atividades	783.140.892-49	Brasileira
2	Claudeci fernandes da Trindade	Auxiliar Técnico	388.517.412-04	Brasileira
3	FELIPE FELIX COSTA	Colaborador de pesquisa	862.628.232-04	Brasileira
4	INILSON DOS SANTOS FERREIRA	Orientador de Pesquisa	996.516.615-34	Brasileira
5	Helyelson Paredes Moura	Responsável por atividades	270.414.252-15	Brasileira
6	MARCELINO CARNEIRO GUEDES	Orientador	938.355.586-68	Brasileira

Observações e ressalvas

1	Esta autorização NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena (FUNAI), da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador de área dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso.
2	Em caso de pesquisa em UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, o pesquisador titular desta autorização deverá contactar a administração da unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infraestrutura da unidade.
3	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo ICMBio, nos termos da legislação brasileira em vigor.
4	Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Instrução Normativa ICMBio n° 03/2014 ou na Instrução Normativa ICMBio n° 10/2010, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.

REFERÊNCIAS

ADUAN, R. E.; VILELA, M. D. F.; DOS REIS JR., F. B. **Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta**. Planaltina - EMBRAPA CERRADOS. DF. 2004.

AEGRO. Entenda porque você precisa saber sobre a ctc do seu solo. Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/ctc-do-solo/>>. Acesso em: 29/12/2019.

ALHO, C. F. B. V.; ROSAB, A. S.; MARTINS, G. C.; HIEMSTRA, T.; KUYPERA, T. W.; TEIXEIRA, W. G. Spatial variation of carbon and nutrients stocks in Amazonian Dark Earth. **Geoderma**, v. 337, p. 322-332, 2019.

ALMEIDA, E. D. **Nitrogênio e fósforo no solo de uma floresta de transição Amazônia**. Cerrado. Cuiabá, 2005. 77 f. Dissertação (Mestrado) - UFMT, Instituto de Ciências Exatas e da terra, Cuiabá, 2005.

ALMEIDA, J. J. Do Extrativismo ao Cemitério das Castanheiras: In: ENCONTRO ESTADUAL DE HISTÓRIA DE ANPUH-SP, 22., 2014, Santos, **Anais...** Santos, ANPUH, 2014, p. 1-3.

ANDRADE, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. E; OLIVEIRA, E. L. Efeito da matéria orgânica na solubilidade do manganês. **Arquivos Brasileiros de Biologia e Tecnologia**, v. 45, p.17-20, 2002.

APARÍCIO, W. C. S. **Estrutura da Vegetação em diferentes ambientes na Resex do Rio Cajari: interações solo-floresta e relações com a produção de castanha**. 2011. 100f. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

ATKINSON, R. J.; PARFITT, R. L.; SMART, R. S. C. Infrared study of phosphate adsorption on goethite. **Journal of the Chemical Society Faraday Transactions**, London, v. 70, p. 1472-1479, 1974.

BACILIERI, F. S. **Titânio via foliar no metabolismo, absorção de nutrientes e produtividade de batata**. 2015. 76f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e adubação do arroz**. Piracicaba. 1º ed. Amapá: Embrapa, 1987. 120p.

BARBOSA, T. M. B. **Mineralogia e disponibilidade de fósforo em solos de terra firme da Amazônia Central**. 2017. 84f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

BOCCUZZI, G. **Nitrogênio e fósforo na interface atmosfera-vegetação arbórea-solo de remanescentes da Floresta Atlântica expostos a fatores de estresse ambiental**. 2007. 125f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Botânica/Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2007.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Interpretação de resultados analíticos de fósforo pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich3 em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2751- 2756, 2008.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elements of the Nature and Properties of Soils**, 2nd edn, New Jersey: Pearson-Prentice Hall, 2004. 768p.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**, 11th ed, New Jersey: Prentice Hall, 1996. 727p.

BRASIL. **Projeto RADAM**, Folha SA-22 Belém; Geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra, Rio de Janeiro: DNPM, 1974.

_____. Portaria nº 449/87-P de 08/10/1987 IBDF/MA, 1987.

BRITO, A. L.; VEIGA, J. A. P. Um estudo observacional sobre a frequência, intensidade e climatologia de eventos extremos de chuva na Amazônia. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 163 – 169, 2015.

BROGGI, F.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; OLIVEIRA, A. C. Avaliação da disponibilidade, adsorção e níveis críticos de fósforo em diferentes solos. **Revista Ceres**, v. 57, p. 247-52, 2010.

CATANI, R. A.; BATAGLIA, O. C. **Formas de ocorrência de fósforo no solo Latossólico Roxo**. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, v. 25, p. 99-119, 1968.

COMPANHIA FLORESTAL MONTE DOURADO. **Solos do Jari, Levantamento de média intensidade dos solos sob Floresta Cultivada na área da Companhia Florestal Monte dourado Jari**, Monte Dourado, (Almeirim – PA) – Rio de Janeiro, 1989.

CHEN, C. R.; CONDRON, L. M.; DAVIS, M. R.; SHERLOCK, R. R. Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand, **Forest Ecology and Management**, v.177, p. 539-557, 2003.

COELHO, A. C. V.; SOUZA, S. P.; SANTOS, H. S. Argilas especiais: o que são, caracterização e propriedades. **Química Nova (Online)**, v. 30, p. 146-152, 2007.

COSTA, J. A.; KERN, D. C.; COSTA, M. L.; RODRIGUES, T. E.; KÄMPF, N.; LEHMANN, J.; FRAZÃO, F. J. L. **Geoquímica das Terras Pretas Amazônicas**. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. 167p.

CROMBERG, M.; PEREIRA, M. G.; CARAMÉZ, R. B. **The Jari/Amapá REED Project, Brazil**. In: SILLS, E. O. et al. (Eds.). REED+ on the ground: a case book of subnational initiatives across the globe. Bogor: CIFOR, 2014. 86p.

DE CARVALHO, A. C. A. **Economia dos produtos florestais não-madeireiros no estado do Amapá: sustentabilidade e desenvolvimento endógeno**. 2010. 174f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

EMÍDIO, V. J. G. **A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e águas residuais e soluções para o seu tratamento**. 2012. 118f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Algarve, Brasília, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 3ª ed. Centro Nacional de Pesquisas de Solos, Brasília: EMBRAPA, 2018. 27p.

_____. **Manual de métodos de análise de solo**. 2nd ed. EMBRAPA-CNPQ, Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432p.

FERREIRA, B. A.; FABRIS, J. D.; SANTANA, D. P.; CURI, N. Óxidos de ferro das frações areia e silte de um Nitossolo desenvolvido de basalto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 405-413, 2003.

GAMA, M. A. P. **Dinâmica do fósforo em solo submetido a sistemas de preparo alternativo ao corte e queima no nordeste paranaense**. 2012. 96f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-ESALQ, Piracicaba, 2002.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The 'terra preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, p. 37–41, 2001.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of Central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the 21st century? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 362, p. 187–196, 2007.

GREISSING, A. A região do Jarí, do extrativismo ao agronegócio: as contradições do desenvolvimento econômico na Amazônia florestal no exemplo do Projeto Jarí. *REU*, v. 36, p. 46-75, 2010.

HUGGETT, R. J. Soil chrono sequences, soil development, and soil evolution: a critical review, *Catena*, v. 32, p. 155-167, 1998.

JOHNSON, D. L.; WATSON-STEGNER, D. Evolution model of pedogenesis. *Soil Science*, v. 143, p. 349–366, 1987.

JUNIOR, M. J.; VARANDAS, L. C. O mundo dos coloides. *Química Nova na Escola*, v. 1, p. 9-13, 1999.

KERN, D. C. **Geoquímica e pedogeoquímica de dados arqueológicos com terra preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-Pará)**. 1996. 124 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MONTE, M. B. M.; NASCIMENTO, M. **Agro minerais - Fosfato. Rochas e Minerais Industriais**, 2ª ed., Rio de Janeiro: CETEM / MCT, 2008. 143p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**, 2ª ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 216p.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V.; GILKES, R. J.; KER, J. C. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia, *Geoderma*, v. 110, p. 2-3, 2002.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KÄMPF, N.; COSTA, M. L.; SOUZA, K. W. **Características Química e Mineralógica e a Distribuição de Fontes de Fósforo em Terra Preta de índio da Amazônia**. In: TEIXEIRA W. G., D. C. Kern, B. MADARI, H. N. LIMA, and W. I. Woods (eds.). *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso Deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, p. 212–224, 2010.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia**. 2001. 191f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

LUCHINI, I.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; SANTOS, D. H. Fósforo disponível em solos ácidos e corrigidos com aplicação de fosfatos solúvel, reativo e natural. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 11, p. 82-94, 2012.

LUIZÃO, F. J.; TAPIA-CORAL, S.; GALLARDO-ORDINOLA, J.; SILVA, G. C.; LUIZÃO, R. C. C.; TRUJILLO-CABRERA, L.; WANDELLI, E. F. C. M. **Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia**. In: GAMA-RODRIGUES, A,C, da; BARROS, N,F, de; GAMA-RODRIGUES, E,F, da; FREITAS, M,S,M,; VIANA, A,P,; JASMIN, J,A,; MARCIANO, C,R,; CARNEIRO, J,G, de A, (Ed.), *Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável*, Campos dos Goytacazes: Universidade do Norte Fluminense, p. 88-100, 2006.

LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 59, p. 31-34, 2007.

LUZ, A. B.; CAMPOS, A. R.; CARVALHO, E. A., BERTOLINO, L. C.; SCORZELLI, R.B. **Argila Caulim. In Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**. LUZ, A. B. (Ed.); LINS, F.A.F. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 256p.

LUZ, A. B. (Ed.); LINS, F. A. F. (Ed). **Rochas & minerais Industriais: usos e especificações**. 2.Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 990p.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. **Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo**. In: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W. (Ed.). *As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: Cap. 13, p.172-188, 2009.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral**. In: FERRI, M. G. (Ed.). *Fisiologia vegeta 1*. São Paulo: EPU, 1985. 97p.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. F. O. Disponibilidade e recuperação de nutrientes de resíduos culturais em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p.1690-1702, 2015.

MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J.; ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira. **Química Nova**, v. 30, p. 1208-1214, 2007.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2.ed. New York: Academic Press., 1995. 889p.

MATOS FERNANDES, M. **Mecânica dos Solos – Conceitos e Princípios Fundamentais**, 1ª edição, Portugal, 2006.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORREA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 867-873, 2003b.

MELÉM JÚNIOR, N. J.; FONSECA, I. C. B.; BRITO, O. R.; DECAËNS, T.; CARNEIRO, M. M.; MATOS, M. F. A.; GUEDES, M. C.; QUEIROZ, J. A. L.; BARROSO, K. O. Principal components analysis for evaluation of analytical results from Amapá soil fertility. *Ciências Agrárias*, v. 29, p. 499-506, 2008.

MESCOUTO, C. S.; LEMOS, V. P.; DANTAS FILHO, H. A.; COSTA, M. L.; KERN, D. C.; FERNANDES, K.G. Distribution and availability of copper, iron, manganese and zinc in the archaeological black earth profile from the Amazon Region. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 22, p. 1484-1492, 2011.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. E.; MARTIN NETO, L. Provável mecanismo de liberação do manganês no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 28, p.725-731, 1993.

MÖLLER, M. R. F.; KLANT, E. **Sorção de fósforo por coloides inorgânicos extraídos de dois solos da Amazônia**. Belém: EMBRAPA – CPATU, 1984.

MÖLLER, M. R. F. Mineralogia de argilas de solos da região Amazônica brasileira. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belém, **Anais...** Belém, Embrapa-CPATU, 1986. p. 214-223.

MURRIETA, J. R.; RUEDA, R. P. **Reservas Extrativistas**, Cambridge: UICN, 1995.

MYLAVARAPU, R.; SANCHEZ, J.; NGUYEN, J.; BARTOS, J. Evaluation of Mehlich-1 and Mehlich-3 extraction procedures for plant nutrients in acid mineral soils of Florida. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 33, p. 807-820, 2002.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. **Nutrição Mineral do eucalipto**. In: Barros, N. F.; Novais, R. F. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. 99p.

OLIVEIRA, A. B.; NASCIMENTO, C. W. A. Formas de manganês e ferro em solos de referência de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 99-110, 2006.

OPOLOT, E.; YU, Y. Y.; FINKE, P. A. Modeling soil genesis at pedon and landscape scales: achievements and problems. *Quaternary International*, v. 376, p. 1-2, p. 34-46, 2015.

POTAFOS Publicações POTAFOS, Arquivo do Agrônomo nº 10 – Nutri-fatos, 24 p. 2005. Disponível em: < www.ppi.ppic.org. > Acesso em: 28 de dezembro de 2019.

PAIVA, P. M. V. **A coleta intensiva e a agricultura itinerante são ameaças para os castanhais da Reserva Extrativista do rio Cajari?** 2009. 86f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2009.

PESSOA JUNIOR, E. S. F.; SANTANA, G. P. Uma abordagem sobre fósforo em Terra Preta **Arqueológica. Scientia Amazonia**, v. 6, p. 61-70, 2017.

QUESADA, C.; LLOYD, J.; ANDERSON, L.; FYLLAS, N.; SCHWARZ, M.; CZIMCZIK C. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. **Biogeosciences**, v. 8, p. 1415 – 1440, 2011.

RABELO, B. et. al. **Laranjal do Jarí: Realidades que devem ser conhecidas**. Macapá: GEA/SETEC/IEPA, 2004.

RAIJ, B. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral dos solos. **Bragantia**, v. 2, p. 85-112, 1969.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo**. São Paulo: CERES/POTAFOS, 1991. 34p.

RAIJ, B. **Fósforo no solo e interação com outros elementos**. In: Yamada, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004.

REBELLATO, L. Interpretando a variabilidade cerâmica e as assinaturas químicas e físicas do solo no sítio arqueológico Hatahara. 2007. 87f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

RODRIGUES, M. G. F.; SILVA, M. L. P.; SILVA, M. G. C. Caracterização da argila bentonítica para utilização na remoção de chumbo de efluentes sintéticos, **Cerâmica**, v. 50, p.190-196, 2004.

RONQUIM, C. S. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa, 2010. 10p.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 953-964, 2004.

RODRIGUEZ, V. M. P. **Historia y Dispersión de los Frutales Nativos del Neotrópico**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2002.

SALEIRO, G. T.; CARDOSO, S. L.; TOLEDO, R.; HOLANDA, J. N. F. Avaliação das fases cristalinas de dióxido de titânio suportado em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 56, p. 162-167, 2010.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 9, p. 27-32, 2011.

SCHOWALTER, T. D. **Insect Ecology**, 2nd edn, San Diego: Academic Press, 2000. 451p.

SEETHA, D.; VELRAJ, G. Characterization and chemometric analysis of ancient pot shards trenched from Arpakkam Tamil Nadu, India. **Journal of Applied Research**, v. 14, p. 345-356, 2016.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 30-31, 2007.

SIMÕES, M. S. (org.). Sociedades indígenas na Amazônia e a ecologia. IN: VI ENCONTRO IFNOPAP: ENTRE O RIO E A FLORESTA – “SOB O SIGNO DO XINGU”, 6., 2003, Belém, **Anais...** Belém, UFPA/IFNOPAP, 2003, p. 207-232.

SILVA, C. C. **Comportamento de solos siltosos quando Reforçados com Fibras e melhorados com aditivos químicos e orgânicos**. 2011. 64f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 2011.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; ROCHA, A. T. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 840-848, 2009.

SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. C. V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J. L. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solo. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros: 2015. 13 p. (Documentos, 206).

SOMBROEK, W. G. Amazon land forms and soils in relation to biological diversity. **Acta Amazonica**, v. 30, p. 81-100, 2000.

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

SOBRINHO, T. R. G. **Estrutura, funcionamento e evolução das paisagens cobertas por savanas na Reserva Extrativista do Rio Carajá/AP, Amazônia oriental, Brasil**. 2017. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SOUZA, M. T. T. et al. Caracterização de areias de quartzo do estado de Mato Grosso do Sul para aplicações industriais. **Cerâmica**, v. 60, p. 569–574, 2014.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise do solo**, 3 ed., Brasília: Embrapa, 2017.

T-MINAS T-COND: Condicionadores e regeneradores de solos. Florianópolis, Santa Catarina, 2018. Disponível em: <<https://www.t-minas.com.br/condicionadores-de-solo-t-cond/>>. Acesso em: 28 de dezembro de 2019.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. Cap. 8 p.128-239. **Da rocha ao Solo –Intemperismo e pedogênese**. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F. Decifrando a Terra. 2ª ed. São Paulo: IBEP Editora Nacional-Conrad, 2009. 620p.

TREVIZAM, A. T. **Efeito do superfosfato triplo na disponibilidade do cádmio para algumas culturas em um solo contaminado**. 2009. 74F. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ULIANA, D. Caracterização tecnológica do minério de fosfato do complexo alcalino de salitre, MG - área Fósforil. 2010. 80f. Dissertação (Mestrado) - Politécnic Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

VALENTE, G. J. S. S.; COSTA, M. L. Fertility and desorption capacity of Anthrosols (Archaeological Dark Earth - ADE) in the Amazon: the role of the ceramic fragments (sherds). **Applied Clay Science**, v. 138, p. 131-138, 2017.

YANG, X.; POST, W. N. Phosphorus transformations as a function of pedogenesis: a synthesis of soil phosphorus data using Hedley fractionation method. **Biogeosciences**, v. 8, p. 2907-2916, 2011.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem no norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1191–1197, 2008b.