

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**CARACTERÍSTICAS DE ATRIBUTOS DO SOLO EM
AMBIENTES DA REGIÃO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS**

Renato Eleoterio de Aquino

Engenheiro Agrônomo

2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**CARACTERÍSTICAS DE ATRIBUTOS DO SOLO EM
AMBIENTES DA REGIÃO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS**

Renato Eleoterio de Aquino

Orientador: Prof. Dr. José Marques Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Milton César Costa Campos

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)

2014

A657c Aquino, Renato Eleoterio de
Características de atributos do solo em ambientes da
região sul do Amazonas / Renato Eleoterio de Aquino. --
Jaboticabal, 2014
xiii, 94 f. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
2014

Orientador: José Marques Júnior
Co-orientador: Milton Cesar Costa Campos
Banca examinadora: Marcílio Vieira Martins Filho,
Rafael Montanari
Bibliografia

1. Ambiente amazônico. 2. Óxidos de ferro. 3. Terra
preta arqueológica. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.47



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CARACTERÍSTICAS DE ATRIBUTOS DO SOLO EM AMBIENTES DA REGIÃO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS

AUTOR: RENATO ELEOTÉRIO DE AQUINO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. MILTON CESAR COSTA CAMPOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. MARCILIO VIEIRA MARTINS FILHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Data da realização: 24 de fevereiro de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RENATO ELEOTERIO DE AQUINO- Filho de Raimundo Maia de Aquino e de Raquel Eleoterio de Aquino, nascido em 23 de novembro de 1986 no município de Manicoré no Estado do Amazonas. Em agosto de 2006 ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal do Amazonas- Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente- Humaitá- AM. Foi bolsista de PIBIC/CNPq entre 2010 e 2012. Em março de 2012 ingressou no curso de mestrado, concluindo em fevereiro de 2014 e ingressando no doutoramento no mês de março do referido ano, ambos no programa de Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” no Campus de Jaboticabal-SP.

*“Por isso não tema, pois estou com você;
não tenha medo, pois sou o seu Deus.
Eu o fortalecerei e o ajudarei;
eu o segurarei
com a minha mão direita vitoriosa.”
(Isaías 41:10)*

DEDICO

A meus pais Raimundo e Raquel e minha avó Idemila, que sempre me ampararam, me amaram, me incentivaram, me fortaleceram e não me deixaram só nos momentos mais difíceis de serem superados.

OFEREÇO

A meus irmãos Rafael, Renata, Rogério, Rafaela, Artemis, Alessandro e meu amado sobrinho Samuel. Obrigado pelo amor, confiança, paciência, incentivo e por acreditarem que eu posso ir mais além.

AGRADECIMENTOS

A Deus, obrigado pela oportunidade da vida, pela realização deste trabalho e por ser a minha força quando não a tenho para continuar.

A minha família, obrigado pelo apoio incondicional dado em todos os momentos, sem este apoio não seria possível chegar até aqui.

A Universidade Estadual Paulista, campus de Jaboticabal, programa de Agronomia (Ciência do Solo), pela oportunidade.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas- FAPEAM pelo financiamento da bolsa de estudo no decorrer do curso.

Ao professor doutor José Marques Júnior pela oportunidade de trabalho, orientação e ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Milton Cesar Costa Campos, pelas orientações, estímulos, ensinamentos, apoio pessoal e amizade.

Aos professores Carolina Fernandes e José Frederico Centurion pela participação e contribuições no exame geral de qualificação.

Aos Professores Marcílio Vieira e Rafael Montanari pela participação e contribuições na banca de avaliação na defesa do trabalho.

Aos companheiros do Grupo CSME pelo apoio, ensinamentos e presteza.

Aos companheiros do Grupo SAA de Humaitá no Amazonas, pelo apoio sempre que necessário.

A Angélica S. R. Souza Bahia pela contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos que me acompanharam desde a graduação Tiago Souza, Ivanildo Amorim, Nestor Serudo, Julimar Fonseca, Jordana Flores, Carla Rafaelle e Marcelo Dayron, obrigado pela amizade, apoio, risadas e desabafos.

Aos amigos de minha cidade natal pela torcida, em especial a minha cunhada Nayana Cris Ferreira.

Aos amigos que conheci em Jaboticabal Saulo Strazeio, Suelen Alves, Gabriel Damasceno, Iolanda Reis, Rony Barbosa, Paula Oliveira, Laudecir Lemos, Rafael Gasparin, Mauricio Gatti e Marília Gabriela. Muito obrigado por todo apoio e pelas grandes histórias construídas.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	XIII
LISTA DE FIGURAS	XIV
CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 REVISÃO DE LITERATURA	4
1.2.1 Caracterização da região sul do Amazonas.....	4
1.2.2 Gênese das Terras Pretas Arqueológicas.....	5
1.2.3 Caracterização dos atributos do solo nas Terras Pretas Arqueológicas	8
1.2.4 Impactos provocados por transformações em ambientes Florestais	12
1.2.5 Funções de pedotransferencia na avaliação dos atributos do solo: espectroscopia de reflectância difusa	14
1.2.6 Geoestatística e multivariada na avaliação dos atributos do solo	16
1.3 REFERÊNCIAS.....	18
CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DA COR E ÓXIDOS DE FERRO DA FRAÇÃO ARGILA EM TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS NO MUNICÍPIO DE APUÍ NO SUL DO AMAZONAS	29
2.1 INTRODUÇÃO	30
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	32
2.2.1 Localização e caracterização da área	32
2.2.2 Análises laboratoriais	33
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
2.3.1 Atributos Físicos.....	36
2.3.2 Atributos químicos.....	37
2.3.3 Mineralogia dos óxidos de ferro	41
2.3.4 Medidas de cores e determinação da hematita e goethita por DRX e ERD.....	46
2.4 CONCLUSÕES	49
2.5 REFERÊNCIAS.....	49
CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS EM AMBIENTES ANTROPIZADOS NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS	57

3.1 INTRODUÇÃO	58
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	59
3.2.1. Caracterização da área e plano de amostragem	59
3.2.2. Análise dos atributos do solo	61
3.2.3. Análise dos dados	62
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
3.3.1. Estatística descritiva e teste de médias.....	63
3.3.3 Análise geoestatística	68
3.3.3 Análise estatística multivariada	72
3.4 CONCLUSÕES	75
3.5 REFERÊNCIAS.....	75

CARACTERÍSTICAS DE ATRIBUTOS DO SOLO EM AMBIENTES DA REGIÃO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS

RESUMO- Considerando a carência de informações referentes aos diversos ambientes amazônicos, o estudo dos atributos do solo e seu comportamento diante das ações antrópicas sofridas durante o manejo são muito importantes na região sul do Amazonas. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi à caracterização de atributos do solo em ambientes na região sul do estado do Amazonas. Neste estudo foram realizadas coletas de solos em seis trincheiras de diferentes locais e manejos em solos de Terra Preta Arqueológica (TPA) onde foi feita a sua caracterização e classificação. Em seguida, foram montadas cinco malhas na região sul do Amazonas sendo elas compostas de floresta, TPA, agrofloresta, mandioca e cana-de-açúcar. Foram feitas medidas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo, onde foram caracterizadas pontualmente e também realizadas análises físicas e químicas do solo. Foram realizados teste de média, análises estatísticas descritivas, geoestatística e análise multivariada nos dados obtidos. Verificou-se nos atributos físicos e químicos comportamento similar nos perfis estudados. Concluiu-se que a hematita e goethita determinados por difração de raio-x e espectroscopia de reflectância difusa além de não apresentarem variações importantes entre os solos estudados, apresenta características similares aos solos não antropizados brasileiros. A cor medida por espectroscopia de reflectância difusa mostrou-se eficiente para indicar variações entre as TPAs estudadas, provando ser uma técnica inovadora, eficiente e promissora para a quantificação indireta dos atributos do solo de forma simples e de baixo custo. A caracterização dos atributos físicos, químicos e biológicos em ambientes antropizados, na região sul do Amazonas, mostrou que os ambientes mandioca e cana-de-açúcar são os que mais se aproximam do ambiente natural Floresta. Assim, os manejos que mais contribuíram para o aumento da variabilidade dos atributos em relação à variabilidade natural da floresta foram TPA e agrofloresta.

Palavras-chave- ambiente amazônico, óxidos de ferro, terra preta arqueológica

FEATURES OF ATTRIBUTES OF SOIL ENVIRONMENTS IN THE SOUTHERN REGION OF THE STATE OF AMAZON

ABSTRACT- Considering the lack of information regarding the different Amazonian environments, the study of soil properties and their behavior in the face of human actions incurred during handling are very important in southern Amazonas. In this sense, the objective of this study is the characterization of soil environments in the southern state of Amazon. In this study soil samples were taken in six different locations of trenches and managements in archaeological black earth soils (ABE) where it has been the characterization and classification. Then were assembled five stitches in southern Amazon them being composed of forest, ABE, agroforestry, cassava and sugar cane. Measurements of CO₂, temperature and soil moisture, which were characterized punctually and also performed physical and chemical soil analyzes were made. Mean test, descriptive statistical analyzes, geostatistics and multivariate analyzes were performed on data obtained. It was concluded that hematite and goethite determined by x-ray diffraction and diffuse reflectance spectroscopy in addition to not having significant variations between the soils, shows similar uncontaminated soil anthropogenic Brazilian characteristics. The measured color by diffuse reflectance spectroscopy has been successful to indicate variations between ABE studied, proving to be a novel, effective and promising for indirect quantification of soil properties in a simple and low cost technique. The characterization of physical, chemical and biological attributes in anthropogenic environments in the southern Amazon region, showed that cassava environments and cane sugar are those that come closest to the natural environment Forest. Thus, managements that most contributed to the increased variability of attributes in relation to natural variability of forest and agroforestry were ABE.

Keywords- amazon environment, iron oxides, archaeological black earth

Lista de Tabelas

Capítulo 2

Tabela 1. Identificação dos perfis, coordenadas, localização, ocupação, posição, município.....	33
Tabela 2. Atributos físicos em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí no Amazonas.....	37
Tabela 3. Atributos químicos em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí no Amazonas.....	39
Tabela 4 Teores dos óxidos do ataque sulfúrico (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3), óxidos livre extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato (Fe_d) e óxidos de baixa cristalinidade extraídos com oxalato ácido de amônio (Fe_o) e a relação entre eles em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí no Amazonas.....	42
Tabela 5 Atributos cristalográficos dos óxidos de ferro em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí no Amazonas.....	44
Tabela 6 Medidas de cor por carta de Munsell e Espectroscopia de Reflectância Difusa (ERD) em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí no Amazonas.....	47

Capítulo 3

Tabela 1. Estatística descritiva e teste de média dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo na profundidade de 0,0-0,20 m, em diferentes ambientes na região sul do Amazonas.....	63
Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo na profundidade de 0-0,20 m, em diferentes ambientes na região sul do Amazonas.....	68

Lista de Figuras

Capítulo 2

Figura 1. Mapa com localização dos perfis de solos no município de Apuí no Estado do Amazonas.....32

Figura 2 Modelos de regressão linear da Hematita (Hm) e Goethita (Gt) pelo método de difração de raio x (DRX) e espectroscopia de reflectância difusa (ERD) em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí no Amazonas.....48

Capítulo 3

Figura 1. Mapa de localização e esquema de amostragem do solo nas áreas estudadas na região sul do Amazonas.....59

Figura 2. Proporção da variação no conjunto de dados explicada pelo componente principal (CP) e contribuição de cada variável para explicação da variância total pelo método “scree plot” de atributos físicos, químicos e biológicos do solo na profundidade de 0-0,20 m, em diferentes ambientes na região sul do Amazonas.....71

Figura 3. Gráfico Biplot dos componentes principais CP1 e CP2 da análise de componentes principais dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo na profundidade de 0-0,20 m, em diferentes ambientes na região sul do Amazonas.....72

CAPÍTULO 1. Considerações Gerais

1.1 INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a ocupação da Amazônia tem conduzido a um aumento do desmatamento nessa região. Embora não se possa atribuir a um único fator as causas do desmatamento, por ser este um fenômeno de natureza bastante complexa, sua principal causa ainda é a pecuária extensiva de baixa produtividade (MARGULIS, 2003; ALENCAR et al., 2004). O impacto decorrente do desmatamento é, obviamente, a perda dos ecossistemas naturais pela conversão das áreas em pastagens onde se seguem as alterações no funcionamento dos ecossistemas, os impactos sobre a fertilidade dos solos, alterações do ciclo hidrológico, aparecimento de pragas e doenças, comprometimento da biodiversidade, emissão de gases do efeito estufa, custos econômicos com perdas florestais provenientes das queimadas e incêndios florestais (DIAZ et al., 2002; FEARNSSIDE, 2002; BECKER, 2005).

A região sul do Amazonas está inserida no chamado “Arco do Desmatamento,” faixa que se estende do Maranhão até Rondônia (COHEN et al., 2007). Esta região apresenta diferença das demais regiões do Estado devido à maior facilidade de logística e transporte, o que a torna uma região mais visada por exploradores que pretendem utilizar as áreas com floresta em áreas de pastagem ou para o corte e a queima da floresta para cultivos, para a abertura de estradas ilegais, as quais expõem extensas áreas de floresta intacta à exploração madeireira predatória e à grilagem de terras (ALENCAR et al., 2004; COHEN et al., 2007).

Nesta região, encontram-se muitos sítios de Terras Pretas Arqueológicas (TPAs), alguns profundamente alterados por práticas agropecuárias. Sombroek et al. (2002) estimam a ocorrência de sítios de TPAs a cada 5 km ao longo de igarapés na região sul do Amazonas. Estes solos são oriundos de atividades humanas e ocorrem em sítios ou assentamentos, de origem ainda não bem esclarecida, na paisagem amazônica. Estes ambientes caracterizam-se por sua fertilidade natural em relação aos ambientes não antropizados na região Amazônica, resultantes da prolongada ocupação humana ocorrida há milhares de anos (KERN, 1996).

Entretanto, o uso desse solo sem a devida reposição de nutrientes e sem a adoção de práticas de manejo adequadas pode provocar transformações que podem

trazer mudanças mais drásticas. Apesar de sua importância para o desenvolvimento agrícola da região, elas também são fundamentais para o conhecimento da pré-história da Amazônia. É importante o entendimento destes processos, pois irá permitir um melhor planejamento para este local, a fim de monitorar e mapear áreas mais suscetíveis a problemas ambientais.

No entanto, é sabido que as mudanças na cobertura vegetal e as transformações do ambiente alteram a dinâmica natural dos atributos do solo. Segundo Centurion et al. (2001), à medida que os ecossistemas vão sendo substituídos por outras atividades, ocorre a degradação ambiental, principalmente em função do uso e manejo inadequados dos solos. Dessa maneira, o conhecimento dos atributos indicadores da qualidade do solo, nos ambientes explorados na região sul do Amazonas, é fundamental, tanto para a capacidade de produção das culturas, como também nas funções ambientais importantes que desempenham.

Trabalhos na região sul do Amazonas utilizando a geoestatística identificaram estrutura de variabilidade espacial em atributos físicos do solo (CAMPOS et al., 2012a; CAMPOS et al., 2013a,b,c; OLIVEIRA et al., 2013) e encontraram variabilidade espacial em atributos físicos em ambientes de floresta, cana-de-açúcar, mandioca e agrofloresta. Já Oliveira, (2013), estudando ambientes de floresta, TPA e pastagem, observou, nos atributos físicos, químicos e suscetibilidade magnética, estrutura de variabilidade espacial e maior afinidade dos atributos do solo ao ambiente com TPA, evidenciado pela análise estatística multivariada. Trabalhos de caracterização e classificação feitos por Campos et al. (2011), Campos et al. (2012b) e Santos et al. (2013) observaram que solos com horizontes antrópicos amostrados na região são de caráter eutrófico, com teores altos a muito altos de fósforo disponível.

Técnicas como a geoestatística, que está baseada na teoria das variáveis regionalizadas (VIEIRA, 2000), têm como objetivo o estudo da variabilidade de atributos do solo no espaço. De acordo com Brito et al. (2009), a caracterização da variabilidade espacial da emissão de CO₂, por meio da geoestatística, fornece importantes informações sobre sua distribuição espacial, ajudando a compreender a dinâmica do CO₂ entre o solo e a atmosfera, uma vez que as propriedades envolvidas nos processos de produção e transporte de CO₂ também possuem

variabilidade espacial. A análise multivariada é um tipo de análise que tem como vantagem a redução dimensional do problema e a facilidade de interpretação dos resultados obtidos de um banco de dados. Panosso et al. (2012) utilizaram a análise de componente principal para analisar atributos relacionados à respiração do solo e perceberam que este tipo de análise indicou as relações entre as propriedades físicas e químicas do solo com o fluxo de CO₂ do solo em área com cana-de-açúcar.

Ainda são muito incipientes os trabalhos em áreas com TPAs, assim como não existem estudos em ambientes naturais (floresta) e ambientes alterados (manejo com mandioca, agrofloresta e cana-de-açúcar) na região sul do Amazonas que focam as características físicas, químicas, biológicas e mineralógicas dos atributos do solo quando este está relacionado ao impacto ou alteração que pode ocorrer nestes ambientes com algum manejo específico. Diante disso, o objetivo geral deste estudo foi a caracterização de atributos do solo em ambientes da região sul do Estado do Amazonas.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Caracterização da região sul do Amazonas

A região do Médio Rio Madeira ocupa 12% da área total do Estado do Amazonas, com aproximadamente 177.526,80 km², abrangendo os municípios de Humaitá, Manicoré, Apuí e Novo Aripuanã. Nesta região, predominam os sedimentos da Formação Solimões (Plioceno superior/Pleistoceno inferior), compostos predominantemente por arenitos quartzosos amarelo-avermelhados e secundariamente arcoseanos, com siltitos e argilitos intercalados, finamente laminados a maciços, com espessura entre 200 e 800 m, e os sedimentos fluviais holocênicos. A unidade morfoestrutural é o Planalto Rebaixado da Amazônia (Ocidental) (BRASIL, 1978).

De forma genérica, essa região apresenta três diferentes fisiografias: Várzea/Terra Firme; Campo/Floresta e áreas de relevo movimentado. Segundo Rodrigues e Oliveira (1997), as áreas de várzeas referem-se às margens dos rios de “águas barrentas” e que sofrem inundação sazonal, enquanto as áreas de terra firme não sofrem inundação e são formadas por sedimentos do Terciário. Por outro lado, segundo Braun e Ramos (1959), as áreas de campo/floresta são caracterizadas por unidades de campo, separadas umas das outras por zonas florestadas, ou mesmo por zonas de cerrado, cujos contatos nem sempre são gradativos que compreendem as áreas dos “Campos de Pucíari – Humaitá” e incluem várias formações campestres, onde a vegetação que prevalece é a gramíneo-lenhosa baixa, que se alterna, às vezes, com pequenas árvores isoladas e galerias florestais ao longo dos rios (BRAUN; RAMOS, 1959). De acordo com Freitas et al. (2002), esses campos formam alguns mosaicos com as florestas circundantes. A vegetação rasteira, constituída principalmente por gramíneas, distribui-se em forma de moitas espaçadas de 40 a 60 cm umas das outras (CAMPOS, 2009).

De maneira geral, a variação dos solos reflete, em grande parte, as características do material de origem, sendo, também, influenciada por outros fatores, como as condições bioclimáticas e o relevo. Na região amazônica, essas condições não são diferentes, sendo incrementadas por outros fatores, tais como nível elevado do lençol freático, inundações periódicas e arraste de sedimentos pelas águas, que limitam a evolução pedogenética (LIMA, 2001), ocasionando,

assim, a presença de solos jovens e, em alguns casos, sedimentos em processo incipiente de pedogênese.

Autores como Martins et al. (2006) estabeleceram que a ocorrência de solos com maior profundidade efetiva, melhor drenagem e maior volume de armazenamento de água estão relacionados com maior inclinação do horizonte plúntico no sentido do igarapé, que aumenta o fluxo de água nesta direção e favorece o aparecimento da vegetação de Floresta. Em condições opostas a estas, a pior drenagem favorece o aparecimento da vegetação de campo natural. Ainda concluiu que solos pedogeneticamente mais velhos, obviamente mais profundos, ocorrem sob vegetação de florestas, enquanto solos menos desenvolvidos e, por sua vez, mais rasos ocorrem sob vegetação de campo natural.

1.2.2 Gênese das Terras Pretas Arqueológicas

As Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) são um exemplo de manifestação cultural que ocorreu na região Amazônica, nos tempos pré-colombianos. Apresenta como uma de suas principais características o aparecimento de solos escuros com fragmentos cerâmicos (NOVOTNY et al., 2009), sendo conhecida por diversos nomes, tais como, Terra Preta Antropogênica, Terra Preta Arqueológica, Terras Pretas de Índio ou somente Terra Preta (SOMBROEK, 1966; SMITH, 1980).

A descoberta das áreas de TPAs pelo homem não índio deu-se no século XIX (WOODS, 1995), mas somente há aproximadamente 40 anos foram iniciadas as pesquisas científicas com relação a sua origem e suas propriedades físico-químicas, assim como sua distribuição geográfica (SOMBROEK, 1966).

Até meados do século XX, muitos estudiosos entendiam que a origem das TPAs teria sido por eventos geológicos. A primeira teoria dessa linha de pensamento defende que estes solos foram originados por erupções vulcânicas dos Andes (SMITH, 1980), em que as cinzas se teriam precipitado nas áreas dos planaltos, amontoadas, formando o perfil antrópico de diferentes tamanhos e espessuras no perfil. A segunda teoria descreve a origem da TPA como tendo sido formada através da sedimentação em lagos, com os solos sendo formados a partir de um grande lago terciário que se formou quando os Andes emergiram. Com o escoamento do lago, lagoas apareceram nas depressões que, lentamente, foram enchendo-se com restos de plantas e animais (FALESI, 1974). Atualmente, aceita-se a teoria de que

as TPAs se formaram por atividade humana relacionada a assentamentos e práticas agrícolas de indígenas pré-colombianos (RANZANI et al., 1970; SMITH, 1980; EDEN et al., 1984; PABST, 1985; ANDRADE, 1986; CORREA, 1987; MORA et al., 1991; KERN, 1988 e 1996; NEVES et al., 2003).

De acordo com Glaser (2007), são três os principais processos responsáveis pela formação das TPAs: a) formação do carvão - refere-se à formação do carbono pirogênico, com composição e estrutura molecular complexa (grupos aromáticos), bastante reativo e que contribui com a fertilidade do solo; b) incorporação de nutrientes - neste processo, os nutrientes são incorporados ao solo por diferentes fontes, por exemplo, excrementos humanos e animais, cinzas, resíduos de combustão incompleta e carvão, biomassa de plantas aquáticas e terrestres; c) ação dos microrganismos - responsáveis pela ciclagem de nutrientes, agindo tanto na decomposição da matéria orgânica como na imobilização de nutrientes do solo, evitando as perdas por lixiviação.

O descarte de resíduos orgânicos pelos povos que habitavam a Amazônia foi de grande influência no aumento da matéria orgânica na TPA (WOOD; MCCANN, 2001). Produtos de origem vegetal, como, por exemplo, a mandioca, o açaí, a bacaba e outros, e de origem animal, como ossos, carapaças de tatu, jabuti, caranguejo, conchas, etc., produzem grande quantidade de matéria orgânica que não é consumida, permanecendo no local (KERN, 1988), sendo estes resíduos orgânicos responsáveis diretos pelo aumento dos teores de alguns elementos químicos na TPA.

Datações de radiocarbono em sítios de TPAs indicam que foram formados há 1.500 anos antes do contato europeu (EDEN et al., 1984; ANDRADE, 1986; PETERSEN et al., 2001); entretanto, há relato de TPAs com datações em torno de 4.800 anos antes do contato europeu (MILLER, 1999). Segundo Neves et al. (2003), a maioria das manchas de TPAs na Amazônia tem entre 500 e 2.500 anos de idade. Por outro lado, os sítios de TPAs da fase Massangana, estudados por Miller (1999) na região do Rio Jamari (bacia do Rio Madeira), possuem ocupações pré-cerâmica datadas entre 4.800 e 2.600 anos.

Esse antigo processo humano de formação do solo foi interrompido no início do período histórico com o avanço dos colonizadores europeus e o rápido

desaparecimento (por enfermidades, escravização, dispersão e matanças) da população indígena (MORAN, 1990). Por constituírem evidência de assentamentos permanentes ou semipermanentes pré-históricos, extensos e populosos, provavelmente associados com lavouras permanentes ou semipermanentes, as TPAs registram a dinâmica da ocupação humana no pré-histórico tardio.

Quanto à localização das TPAs, estas podem ser encontradas desde as bases inclinadas das montanhas das cordilheiras dos Andes até a ilha de Marajó, no oceano Atlântico, inserida em uma variedade de solos e paisagens, em dimensões que podem variar de menos de um hectare até alguns quilômetros quadrados (WOOD; MCCANN, 1999; SOMBROEK, 2003). Estas maiores extensões de TPAs apoiam a concepção de grandes sítios de assentamentos pré-históricos ocupados por longo tempo (KÄMPF; KERN, 2005). Alguns trabalhos estimam que o número de índios no final do século XV seria de 6,8 milhões (SMITH, 1980). Sombroek et al. (2003) estimam que as TPAs cubram 0,1-0,3% ou 6.000-18.000 km² do total da Bacia Amazônica; no entanto, a extensão geográfica total permanece desconhecida (ERICKSON, 2003). Levantamentos detalhados da ocorrência de TPAs são restritos a pequenas áreas, e muitas lacunas observadas em alguns mapas devem-se à escassez de dados de campo.

Um grande número de manchas é registrado ao longo do Rio Amazonas e alguns de seus grandes tributários de água branca (Madeira, Purus, Solimões), mas as TPAs ocorrem também em menor quantidade em rios de água preta e clara (Negro, Tapajós, Caxiuanã) e em áreas de interflúvio, próximas a igarapés. A região da Amazônia Central concentra o maior número de manchas conhecidas (DENEVAN, 1996; HECKENBERGER et al., 1999) e no sudoeste do Amazonas, e no nordeste de Rondônia, Sombroek et al. (2002) estimaram a ocorrência de sítios de TPAs a cada 5 km ao longo dos igarapés.

Quanto ao tipo de solo, os sítios de TPAs ocorrem em sua maioria em Latossolos, Argissolos e Cambissolos, podendo ocorrer sobre Neossolos e Espodossolos (SMITH, 1980; TEIXEIRA et al., 2010). Para outros autores, como Lima et al. (2002), ocorrem em Latossolos e Argissolos, situados fora do alcance das enchentes periódicas dos cursos d'água, na denominada "terra firme", na região Amazônica, e por cobrirem cerca de 70% da Bacia Amazônica. Esta variação nos

tipos de solos indica que o solo não foi fator determinante para o estabelecimento dos grupos pré-históricos (CUNHA, 2005; KAMPF; KERN, 2005).

Em trabalhos de Smith (1980) com TPAs, foi destacada a presença de horizonte A antrópico que varia a sua espessura de 36 a 73 cm; no entanto, podem ser encontrados solos com horizontes mais profundos do que o mencionado, podendo variar de 10 a 200 cm de espessura. Campos et al. (2011) encontraram espessura do horizonte antrópico de 37 a 50 cm no médio Rio Madeira. De acordo com Kern et al. (2003) áreas de TPAs de grande extensão e profundas pressupõem assentamento pré-histórico ocupado por longos períodos de tempo, enquanto que sítios menores e menos profundos podem indicar períodos de ocupação mais curtos.

Muitos dos horizontes antrópicos das TPAs apresentam também grande quantidade de artefatos cerâmicos arqueológicos. A elevada concentração destes artefatos cerâmicos, em alguns locais das TPAs, condicionam características físicas e hídricas específicas nestes locais. Campos et al. (2011) encontraram em todos os horizontes antropogênicos em estudo na região sul do Amazonas, material lítico e fragmentos cerâmicos em quantidades que variaram de 11,8 a 310 g kg⁻¹. Já Santos et al. (2011) encontraram quantidades que variaram de 0,00 a 260,7 g kg⁻¹ na região de Apuí, no Amazonas.

1.2.3 Caracterização dos atributos do solo nas Terras Pretas Arqueológicas

Atualmente, o estudo sobre as TPAs tem-se intensificado em função das boas características apresentadas por estes solos, como alta concentração de nutrientes (fósforo, cálcio, magnésio) e grande quantidade de matéria orgânica estável (LIMA et al., 2002; GLASER et al., 2002; LEHMANN et al., 2003).

As TPAs são classes de solos que apresentam como características marcantes a coloração escura, textura mais arenosa, mais bem estruturada e a presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo (KAMPF; KERN, 2005; GLASER; BIRK, 2012).

A granulometria das TPAs revela predomínio da fração areia nos horizontes antrópicos e transicional. Esse fato foi observado por Lima (2001), em TPAs de Iranduba, no Amazonas, cujos valores da fração areia, silte e argila, no horizonte A (0-30 cm de profundidade), foram de ordem de 520; 130 e 350 g kg⁻¹, respectivamente, atribuindo ao solo a classificação de francoargiloarenoso,

enquanto nos horizontes de transição e B os teores de areia diminuem à medida que as camadas se aprofundam. Esse fato foi observado por Campos et al.(2011) ao encontrarem dominância da fração areia, em particular da areia grossa no horizonte antrópico, em todos os perfis estudados de TPAs no sul do Amazonas, onde se verificou nítida variação da textura em função da posição de ocorrência das TPAs no relevo com contribuição de pequenos fragmentos líticos e cerâmicos.

Seus horizontes antropogênicos são bem drenados, com boa disponibilidade de água. Além disso, exibem condições de aeração, porosidade e condutividade hidráulica adequada para promover a infiltração de água e favorecer as trocas gasosas (NEVES JÚNIOR, 2008). A densidade do solo, normalmente, é encontrada com valores baixos para os horizontes antropogênicos, havendo aumento em profundidade desses valores nos horizontes subsuperficiais. Segundo Teixeira et al. (2010), os valores de densidade do solo correlacionam-se melhor com a distribuição granulométrica das partículas do que com os teores de matéria orgânica.

Na maioria dos solos da Amazônia, a argila dispersa em água possui valores mais elevados com o aumento da profundidade. Lima et al. (2002) afirmam que, em TPAs, apesar das condições climáticas favoráveis à destruição dos agregados do solo, o estado de organização da estrutura é tão fortemente desenvolvido que não propicia este comportamento. Além disso, a elevada atividade biológica e o teor de matéria orgânica, especialmente os ácidos húmico e fúlvico, favorecem a maior agregação.

A TPA caracteriza-se ainda por possui teores elevados de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu) e carbono orgânico (CO), bem como valores mais altos de pH. Este fato é atribuído à grande quantidade de resíduos orgânicos depositados durante o processo de formação dos solos antropogênicos (SMITH, 1980). Os valores de pH em água variam entre 4,32 e 6,61 e os de cloreto de potássio (KCl) de 3,77 a 6,01 (FALCÃO et al., 2003). Já Silva et al. (2011) encontraram valores de pH variando de 5,1 a 6,4 em cinco solos de sítios arqueológicos no Amazonas, enquanto Barros et al. (2012) encontraram pH em KCl inferior ao pH em água, havendo o predomínio de carga superficial líquida negativa.

Os teores de Ca, em sua maioria, são mais elevados que Mg, K e sódio (Na), pela sua maior disponibilidade advinda dos materiais introduzidos nas áreas de descarte e por sua maior afinidade com as superfícies de troca do solo. No horizonte antrópico das TPAs, podem-se encontrar teores de Ca trocável acima de $10,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e magnésio trocável acima de $3,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (SOMBROEK, 1966; FALESI, 1972; FALCÃO et al., 2003; KERN, 2003; SOMBROEK, 2003). Os valores desses cátions, obtidos a partir da decomposição da matéria orgânica (KERN, 1996), resultam em elevado pH do solo, alta capacidade de troca de cátions e saturação de bases.

Diversos trabalhos de caracterização química das TPAs têm mostrado que o K não está presente em altas concentrações, da mesma forma como ocorre com os valores encontrados para P, Ca e Mg. Desta forma, Vieira (1988) encontrou um teor médio de K trocável, na profundidade de 0-63 cm de $0,046 \text{ mg kg}^{-1}$. Falcão e Borges (2006) também encontraram valores reduzidos de K em TPAs, no município de Iranduba, no Amazonas, em que a TPA adubada apresentou valor de $0,19 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, enquanto na área não adubada foi de $0,12 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Esses resultados mostram que as TPAs apresentam teor médio de K trocável muito próximo do limite inferior da faixa considerada adequada, podendo-se inferir que a utilização intensiva desses solos, sem adubação complementar com alguma fonte de potássio, pode ocasionar deficiência desse nutriente para as culturas.

O valor mais alto de Al^{3+} encontrado em estudos de Falcão et al. (2003), na TPA, foi de $1,60 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e o menor valor chegou a zero. Considerando-se os valores de alumínio trocável e a porcentagem de saturação por alumínio do complexo de troca, observa-se que as TPAs não apresentam problemas de toxidez de alumínio.

Dentre os elementos diagnósticos das TPAs, o P total e o disponível destacam-se como mais importantes. Somente parte do P total das TPAs está disponível na solução do solo, mesmo assim, com teores elevados em relação aos solos típicos da Amazônia. Em sítios arqueológicos, no Amazonas, Cunha et al. (2009) encontraram valor de P de 116 mg kg^{-1} em áreas de TPAs sob floresta, $290,5 \text{ mg kg}^{-1}$ em TPA cultivada e $4,7 \text{ mg kg}^{-1}$ em áreas não antropogênicas. Campos et al. (2011) encontraram valores elevados no horizonte antrópico com teores variando de $15,49$ a $230,7 \text{ mg kg}^{-1}$. Para Kämpf e Kern (2005), os valores elevados desse

nutriente estão associados à ocupação humana pré-histórica, haja vista que o P pode ser encontrado em restos de vegetais, animais e resíduos de alimentos. Mesmo tratando-se de um solo com altos teores de P total e disponível, as TPAs podem ser passíveis à depleção desse nutriente nas camadas superiores, devido à mobilidade de suas formas para camadas inferiores (SANCHES; LOGAN, 1992). Tal fato foi observado por Kern (1996) nos horizontes A e B, evidenciando a transferência de P das camadas superiores para as inferiores do solo.

Um dos principais fatores responsáveis pelo comportamento diferenciado dos solos antrópicos, comparado aos solos adjacentes sem horizonte A antrópico, é a maior quantidade e, principalmente, a diferença qualitativa de sua matéria orgânica (MO). Em pesquisa realizada por Costa et al. (2009), foram observados no sítio Manduquinha teores de MO de $40,9 \text{ g kg}^{-1}$. Dados de 56 perfis de TPAs estudados por Madari et al. (2003) mostraram que, enquanto o teor médio de carbono orgânico na camada superficial de 0-20 cm em TPAs foi de 30 g kg^{-1} , nos solos não antrópicos da Amazônia foi de 17 g kg^{-1} na mesma profundidade.

A composição mineralógica das TPAs ainda permanece pouco estudada. Estudos mineralógicos feitos no sítio de Caxiaunã, no Pará, tiveram como principais minerais o quartzo e a caulinita, e como minerais acessórios a goethita, a hematita e o anatásio (COSTA, 2003). Campos et al. (2011), em estudos na região do médio Rio Madeira, também encontraram minerais com dominância de caulinita e gibbsita, além de traços de mica. Já Silva et al. (2011) encontrou na fração argila presença predominante de caulinita com presença também de goethita, gibbsita e anatásio, e nas TPAs de várzea do Rio Solimões, eles observaram, além da caulinita, argilas silicatadas 2:1, além de mica/ilita, comuns em solos menos intemperizados.

Entretanto, outras observações têm revelado a presença de maghemita na TPA (COSTA et al., 2004; SÉRGIO et al., 2006). A ocorrência de maghemita em TPA ratifica a hipótese do uso constante do fogo nas atividades humanas nessas áreas, em concordância com a natureza semicarbonizada das substâncias húmicas encontradas nesses solos (BENITES et al., 2005). Sabe-se que uma das principais vias para a formação da maghemita em solos é a transformação de óxidos de Fe pedogenéticos (goethita, lepidocrocita e ferridrita) por aquecimento, via queimadas

(elevação da temperatura entre 300 e 425 °C), na presença de compostos orgânicos (SCHWERTMANN, 1984).

1.2.4 Impactos provocados por transformações em ambientes Florestais

Mudanças na cobertura florestal observada ao longo da Amazônia Brasileira podem acarretar uma série de consequências na biodiversidade, na emissão de gases causadores do efeito estufa e no clima. Um dos processos naturais, severamente afetados por essas mudanças, é o ciclo hidrológico. A substituição da vegetação original modifica as taxas naturais de evapotranspiração, o que também afeta os padrões locais de precipitação e temperatura (MARTINEZ et al., 2007).

Além disso, segundo Silva et al. (2008), aproximadamente metade da água precipitada na Floresta Amazônica é proveniente da evapotranspiração da floresta. De maneira que as transformações neste ambiente podem trazer desequilíbrios de várias naturezas, com implicações na conservação dos solos e recursos hídricos, uma vez que a retirada da cobertura vegetal original permite maior carregamento de sedimentos e nutrientes para os córregos e rios, causando uma série de problemas ambientais, como erosão e assoreamento (NOBRE et al., 1991).

Nesse sentido, segundo Moraes et al. (2003), o solo representa um dos compartimentos mais importantes do ecossistema para se diagnosticar as condições de degradação ambiental, pois as mudanças nos estoques de carbono do solo, em áreas de sucessão floresta/agricultura, possuem implicações importantes nas análises dos ciclos biogeoquímicos globais. Dessa forma, as práticas de manejo do solo assumem grande importância, pois o cultivo intensivo do solo e seu preparo inadequado, associado às intensas precipitações pluviométricas constituem fatores responsáveis pela degradação da estrutura e formação de camadas compactadas (SOUZA et al., 2004).

Para Cardoso et al. (2009), ambientes de floresta nativa, notadamente aqueles estabelecidos em solos de baixa fertilidade natural, têm sua manutenção fortemente associada ao equilíbrio entre a cobertura vegetal e os processos biogeoquímicos do solo. De acordo com Moreira e Malavolta (2004), a produtividade dos ecossistemas naturais e de agroecossistemas introduzidos e raramente fertilizados depende da reciclagem dos nutrientes minerais, contidos na serrapilheira e na matéria orgânica do solo.

No trabalho de pesquisadores como Silva et al. (2007), eles concluíram que o grau de impacto da remoção da floresta nativa está relacionado ao manejo do sistema produtivo e das práticas agrícolas. Segundo Neves et al. (2007), a avaliação da qualidade do solo tem merecido atenção, e a quantificação de alterações em seus atributos, decorrentes da intensificação de sistemas de uso e manejo, tem sido amplamente realizada para monitorar a produção sustentável dos solos e, conseqüentemente, a conservação dos recursos naturais.

As mudanças no solo são de ordem física, química e biológica. Longo (1999), estudando as mudanças decorrentes da substituição de florestas por pastagens na Amazônia, verificou que as principais alterações ocorrem nos valores de densidade do solo, porosidade total, distribuição do diâmetro dos poros e porosidade de aeração, armazenamento e disponibilidade de água às plantas, infiltração de água, agregação e teor de matéria orgânica. Segundo Silva et al. (2005), dentre as propriedades físicas do solo, a estrutura é uma propriedade sensível ao manejo e pode ser analisada segundo variáveis relacionadas à sua forma e/ou à sua estabilidade.

Em relação aos atributos biológicos, para Trannin et al. (2007), as alterações no ecossistema promovem modificações nas taxas de decomposição dos compostos orgânicos, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia do solo. De acordo com Souza et al. (2008), a biomassa microbiana e sua atividade têm sido apontadas como as características mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo.

Segundo Moreira e Malavolta (2004), a substituição de florestas por outros sistemas de manejo em ambientes amazônicos promovem alterações nos atributos químicas no solo, aumentando o pH do solo, o teor de cátions trocáveis e a redução da acidez trocável decorrentes do desmatamento e da queima da floresta natural. O desmatamento também afeta, significativamente, o conteúdo de C e N do solo, pois causa quebra nos ciclos do carbono e dos nutrientes, os quais operam graças à entrada fotossintética do gás carbônico e à decomposição acelerada e contínua da MO, realizada pelos microrganismos.

Os efeitos das mudanças do uso da terra sobre a quantidade e a qualidade da matéria orgânica sob cultivos itinerantes ainda não são bem compreendidos, embora

sejam reconhecidamente benéficos para a fertilidade do solo e, além disso, o manejo adequado pode ser visto como um promotor da sustentabilidade da agricultura nos trópicos (CERRI et al., 1985).

1.2.5 Funções de pedotransferência na avaliação dos atributos do solo: espectroscopia de reflectância difusa

A busca por técnicas para avaliação dos atributos do solo, que imprimem confiança na avaliação, tempo de realização das análises, baixo custo e redução do impacto ambiental provocado pela utilização de reagentes, é intensa na agricultura moderna. No Brasil, o erro de análises químicas do solo está na faixa de 3-26%, e o das análises granulométricas, de 15-32%, segundo informações de Cantarella et al. (2006). Neste sentido, novas técnicas que contribuam para diminuir estes erros e auxiliem na melhor caracterização dos atributos do solo, são necessárias à agricultura moderna.

As funções de pedotransferência (FP) podem ser definidas como modelos matemáticos utilizados para fazer estimativas de atributos dos solos a partir de outros atributos medidos com maior facilidade e baixo custo. Embora a maioria das FPs tenha sido desenvolvida para estimar propriedades hidráulicas do solo, não se restringem a este fim (SIQUEIRA, 2010). McBratney et al. (2002) apresentam inúmeras FPs desenvolvidas para estimar atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Dentre as técnicas já muito utilizadas para estimar os atributos do solo com maior facilidade, baixo custo e capaz de representar a relação de interdependência entre os atributos do solo uma é a suscetibilidade magnética (SM) (GRIMLEY; VEPRASKAS, 2000). A SM é o grau de magnetização de um material em resposta a um campo magnético aplicado. Segundo Maher e Thompson (1999), os minerais com capacidade magnética armazenam arquivos naturais contendo registros dos fatores e processos de formação do solo. Dearing et al. (1996) afirmam que as vantagens em utilizar a SM, em estudos de solos, é seu baixo custo, por ser um método relativamente sensível, seguro e rápido, comparado com outras técnicas, podendo ser realizado tanto em campo quanto em laboratório.

Outra técnica que vem ganhando bastante espaço nos trabalhos em levantamentos de solos, é a espectroscopia de reflectância difusa (ERD), que surge

como alternativa para a avaliação dos atributos do solo. Diversos trabalhos têm demonstrado a eficiência do uso desta técnica em ciência do solo (BARRON; TORRENT, 1986; SCHEINOST et al., 1998; ALMEIDA et al., 2003; FERNANDES et al., 2004; BEM-DOR et al., 2008; VISCARRA ROSSEL et al., 2011; BAHIA, 2013).

Propostas como a de Torrent e Barrón (1993) sugerem a determinação, em laboratório, da cor de amostras de solo pela espectroscopia de refletância difusa, usando os mesmos aparelhos espectrofotométricos comuns de laboratórios, com pequenas adaptações. Já Fernandes et al. (2004) quantificaram os óxidos de ferro de Latossolos através do uso desta ferramenta.

Percebe-se que a cor é um dos principais e mais usados atributos para caracterizar e diferenciar solos, principalmente por sua fácil e direta visualização, sendo uma propriedade muito importante no sistema brasileiro de classificação do solo, apresentando-se como um indicador seguro da presença de óxidos de Fe e de outras importantes propriedades do solo que covariam com ela (RESENDE, 1976; SCHWERTMANN, 1993; FERNANDES et al., 2004).

A cor do solo é determinada pela comparação visual utilizando a carta de Munsell, determinando-se o matiz (comprimento de onda da luz), valor (brilho ou tonalidade) e croma (intensidade ou pureza da cor em relação ao cinza) (BOTELHO et al., 2006). A obtenção da cor com instrumentos de medida tende a maior precisão por apresentar condições controladas, como é o caso da espectroscopia de reflectância difusa.

Com a finalidade de estabelecer um padrão mais seguro que permita a quantificação dos atributos físicos das cores, foram formalizadas especificações para a determinação quantitativa das cores. Este método estabelece que a cor de um material possa reduzir-se a três parâmetros, X, Y e Z, conhecidos como triestímulos, que representam os estímulos imaginários básicos que, combinados, podem gerar todas as cores puras de um espectro de energia (TORRENT; BARRON, 1993).

No trabalho de Dematte et al. (2006), comparando a metodologia tradicional de análise de solo com a metodologia da ERD, concluiu-se que é possível estimar atributos diagnósticos do solo, utilizando dados espectrais. Fernandes et al. (2004) encontraram concordância entre os valores de matiz obtidos em campo pela Carta

de Cores de Munsell com os estimados pela ERD, concluindo que a reflectância difusa é uma técnica eficiente na identificação de óxidos de ferro. Já Barron e Torrent (1986) relatam que a utilização da reflectância difusa na determinação dos espectros é útil não só para a caracterização qualitativa e mais precisa da cor dos solos, mas também para a quantificação da relação dos teores dos óxidos de ferro, principalmente hematita (Hm) e goethita (Gt), pois é altamente correlacionada à coloração do solo.

1.2.6 Geoestatística e multivariada na avaliação dos atributos do solo

A análise geoestatística permite detectar a existência da variabilidade e da distribuição espacial das medidas estudadas. Constitui importante ferramenta na análise e descrição detalhada da variabilidade das propriedades do solo (CARVALHO et al., 2002; VIEIRA et al., 2002), conhecendo as coordenadas geográficas do ponto amostrado, permite-se analisar os dados (VENDRUSCULO, 2001) e representar a área estudada com maior detalhamento. O nível de detalhamento é obtido por meio da distância entre pontos de amostragem e depende tanto da propriedade a ser analisada quanto da escala de trabalho (tamanho da área amostrada) (GREGO; VIEIRA, 2005).

O uso crescente do GPS (Global Positioning System) na agricultura, associado às técnicas de geoestatística, vem auxiliando a realização do mapeamento de atributos qualitativos e quantitativos das características do solo (BOTTEGA et al., 2011). A variabilidade do solo também é uma consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação, podendo variar de acordo com as culturas e seu manejo. Áreas pedologicamente similares podem apresentar diferença na variabilidade quando submetidas a diferentes práticas de colheita (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010).

A estatística multivariada é uma ferramenta poderosa na análise de dados, pois consiste em um conjunto de métodos estatísticos que permite confrontar diversas variáveis simultaneamente de cada elemento amostral. As técnicas de estatística multivariada têm o propósito de simplificar ou facilitar a interpretação do fenômeno estudado e o seu desenvolvimento tem possibilitado o estudo acurado de fenômenos cada vez mais complexos. Estas podem ser empregadas com o intuito de se construir índices ou variáveis alternativas e grupos de elementos amostrais,

analisar as relações de dependência das variáveis e comparar as populações, facilitado atualmente pelo avanço tecnológico (BAKKE et al., 2008).

Métodos de análise multivariada são importantes no estudo das alterações de atributos do solo (MALUCHE-BARETTA et al., 2006; MANHÃES; FRANCELINO, 2012; MEIRELES et al., 2012). Segundo Coimbra et al. (2007), a utilização desta técnica pode adicionar informações relevantes à variação conjunta de variáveis-respostas, tendendo a dar resposta mais coerente. Pois ela considera a dependência entre as variáveis-respostas (covariância), fato que, na análise univariada, não é contemplado. Então surge a necessidade da análise multivariada toda vez que o pesquisador tem vários atributos a serem analisados e necessita estudar simultaneamente suas relações (MARIANI et al., 2006).

Os métodos de análise multivariada são importantes ferramentas no estudo de indicadores de qualidade do solo, pois estabelecem relações entre os atributos químicos e os biológicos (BARETTA; MALUCHE-BARETTA; CARDOSO, 2008). As análises de distribuição espacial que consideram os diferentes solos nas paisagens, com o uso da estatística multivariada, podem contribuir para melhor entendimento do ambiente (BORUVKA; KOZAK, 2001). Meireles et al. (2012) afirmam que o uso da análise multivariada (componentes principais) favoreceu a distribuição dos atributos do solo, nas superfícies geomórficas I, II e III, em seu trabalho com relação a solo-paisagem.

No trabalho de Freddi et al. (2008), a qualidade física do Latossolo Vermelho de textura média para o cultivo do milho, avaliada por meio de análises multivariadas, foi assegurada até o valor de densidade do solo de $1,38 \text{ mg m}^{-3}$. Silva et al. (2010), através de componentes principais forneceram componentes interpretáveis, sendo o primeiro correlacionado com a acidez, e o segundo, com a matéria orgânica do solo. Já para Freitas et al. (2012), o uso das técnicas de multivariadas (análise de agrupamento e de componentes principais) foi eficiente para verificar as similaridades ou as diferenças, com base nos atributos físicos do solo, nos ambientes estudados de área de cana-de-açúcar, reflorestada e mata nativa.

1.3 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M. D. C. V.; SOARES FILHO, B. **Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica**. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM, Belém, Brasil, 2004. 89p.
- ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor do solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 985–1002, 2003.
- ANDRADE, A. Investigación arqueológica de los antrosolos de Araracuara (Amazonas). **Arqueología Colombiana**, Colômbia, v.31, p. 1-101, 1986.
- BAHIA, A. S. R. S. **Espectroscopia de reflectância difusa como técnica auxiliar na caracterização da emissão de CO₂ e atributos do solo**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.
- BAKKE, H. A.; MOURA LEITE, A. S.; SILVA, L. B. Estatística multivariada: aplicação da análise fatorial na engenharia de produção. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 04, n. 04: p. 01-14, 2008.
- BARETTA, D.; MALUCHE BARETTA, C. R. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2683-2691, 2008.
- BARRÓN, V.; TORRENT, J. Use of the Kubelka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil color. **Journal Soil Science**, 37:499-510, 1986.
- BARROS, K. R. M.; LIMA, H. V.; CANELLAS, L. P.; KERN, D. C. Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de Terra Preta de Índio. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 55, n. 1, p. 44-51, 2012.
- BECKER, B. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v.19, n.53, p.71-86, 2005.
- BEN-DOR, E.; HELLER, D.; CHUDNOVSKY, A. A novel method of classifying soil profiles in the field using optical means. **Soil Science Society of America Journal**, Madson, v. 72, p. 1113-1123, 2008.
- BENITES, V.M., MENDONÇA, E.S., SCHAEFER, C.E.G.R., NOVOTNY, E.H., REIS, E.L., KER, J.C. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 127, p. 104–113, 2005.
- BORUVKA, L.; KOZAK, J. Geostatistical investigation of a reclaimed dumpsite soil with emphasis on aluminum. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 115-126, 2001.

BOTELHO, M. R.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C.; RODRIGUES, R. B.; MIGUEL, P. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n.4, p. 1179-1185, 2006.

BOTTEGA, E. L., BOTTEGA, S. P., SILVA, QUEIROZ, S. A., SOUZA, C M. A., RAFULL, L. Z. L.. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 6, n. 2, p.331-336, 2011.

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

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

BRITO, L. F.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, J. T.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA JR, N.; Soil CO₂ emission of sugarcane field as affected by topography. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 77-83, 2009.

CAMPOS, M. C. C ; AQUINO, R. E.; OLIVEIRA, I. A.; BERGAMIN, A. C. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo em área sob cultivo de cana-de-açúcar na região de Humaitá, Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife,, v. 8, p. 305-310, 2013c.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E. . Spatial variability of physical attributes in Alfissol under agroforestry, Humaitá region, Amozonas state, Brazil. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n.2, p. 149-159, 2013a.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C.; OLIVEIRA, I. A.; AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.4, n.2, p.168-178, 2013b.

CAMPOS, M. C. C; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E.; SOARES, M. D. R. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. **Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 6, p. 09-16, 2012a.

CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 6, p. 102-109, 2012b.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C.; ALMEIDA, M. C. Caracterização e Classificação de Terras

Pretas Arqueológicas na região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 18-27, 2011.

CAMPOS, M. C. C.; **Pedogeomorfologia aplicada à ambientes Amazônicos do Médio Rio Madeira**. 2009. 260f. Recife, Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2009.

CANTARELLA, H.Q.; VVAN RAIJ, B.; ABREU, M.F. Variability of Soil Analysis in Commercial Laboratories: Implications for Lime and Fertilizer Recommendations. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.37, n.15, p.2213-2225, 2006.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 631-637, 2009.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M. & VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37 p. 1151-1159, 2002.

CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, 254- 258p, 2001.

CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.9, p.1-4, 1985.

COHEN, J. C. P., BELTRÃO, J. C., GANDU, A. W., SILVA, R. R. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 59, n.3, p. 36-39, 2007.

CORREA, C. G. Horticultores pré-históricos do litoral do Pará. Brasil. **Revista Arqueológica**, Belém, v. 4, p. 137-252, 1987.

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. p. 162-171.

COSTA, M. L. da, KERN, D. C.; PINTO, A. H. E.; SOUZA, J. R. T. The Ceramic Artifacts in Archaeological Black Earth (Terra Preta) From Lower Amazon Region, Brazil: Mineralogy. **Acta Amazônica**. Manaus, v.34, p.165 - 178, 2004.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. M.; SANTOS, G. A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths

(terra preta de índio) in the brazilian amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 85-93. 2009.

CUNHA, T.J.F. **Ácidos Húmicos de Solos Escuros da Amazônia (Terra Preta do Índio)**. 2005. 139f. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2005.

DEARING, J.A.; HAY, K.L.; BABAN, S.M.K.; HUDDLESTON, A.S.; WELLINGTON, E.M.H.; LOVELAND, P.J. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of connecting theories using a national data set. **Geophysical Journal International**, v. 127, p. 728-734, 1996.

DEMATTE, J. A.; SOUSA, A. A.; ALVES, M. C.; NANNI, M. R. Determining soil water status and other soil characteristics by spectral proximal sensing. **Geoderma**, Amsterdam, v. 135, p. 179-195, 2006.

DENEVAN, W. M. A bluff model of riverine settlement in prehistoric Amazonia. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 86, n.4, p. 654-681, 1996.

DIAZ, M. C. V.; NEPSTAD, D.; MENDONÇA, M. J. C.; SEROA, R. M.; ALENCAR, A.A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. O. **Prejuízo oculto do fogo: custos econômicos das queimadas e dos incêndios florestais da Amazônia**. Instituto de Pesquisa Ambiental do Amazônia e Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2002. Disponível em: <<http://www.ipam.org.br>>.

EDEN, M. J.; BRAY, W.; HERRERA, L.; MCEWAN, C. Terra preta soils and their archaeological context in the Caquetá basin of southeast Colombia. **American Antiquity**, v.49, n.1, p. 125-140, 1984.

ERICKSON, C. L. Historical ecology and future explorations. In: LEHMANN, J.; KERN, D.; GLASER, B.; WOODS, W. (Eds.). **Amazonian dark earths: origins, properties and management**. Dordrecht: Kluwer, 2003, p.455-500.

FALÇÃO, N. P. S., N. COMERFORD, & J. LEHMANN. Determining Nutrient Bioavailability of Amazonian Dark Earth Soils - **Methodological Challenges**. **Amazonian Dark Earths: Origins, Properties, Management**. J. LEHMANN, D. C. KERN, B. GLASER, & W. I. WOODS. Boston, Kluwer Academic Publishers: 2003, 255-270.

FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. F. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão hawaí (*Carica papaya L.*). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, p. 401-406. 2006.

FALESI, I. Soils of the Brazilian Amazon. In: C. Wagley (ed.), **Man in the Amazon**. Gainesville, University of Florida Press. 1974, p. 201-229.

FALESI, I. C. **O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazonia brasileira**. In: Zoneamento Agrícola da Amazônia (1ª aproximação). Boletim Técnico, IPEAN, Belém, 1972, p. 54.

FEARNSIDE, P. M. **Controle de Desmatamento no Mato Grosso: um Novo Modelo para Reduzir a Velocidade da Perda de Floresta Amazônica**. Trabalho apresentado no Seminário Aplicações do Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informação Geográfica no Monitoramento e Controle do Desmatamento na Amazônia Brasileira. Brasília, DF, 2002.

FERNANDES, R. B. A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 245-257, 2004.

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

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; AQUINO, R. E. Análises multivariadas de atributos físicos em latossolo vermelho submetidos a diferentes manejos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 127-139, 2012.

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

GLASER, B.; BIRK, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (Terra Preta de Índio). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 82, p. 39-51, 2012.

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

GLASER, B.; LEHMANN, J., ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropics with charcoal – a review. **Biology Fertility Soils**, v. 35, p. 219-230, 2002.

GLASER, B.G. **The Grounded Theory perspective**: Conceptualizations contrasted with description, Sociology Press, Mill Valley, CA. 2001.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 29 p. 169-177, 2005.

GRIMLEY, D. A.; VEPRASKAS, M. J. Magnetic Susceptibility for Use in Delineating Hydric Soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 64, p. 2174-2180, 2000.

HECKENBERGER, M. J.; PETERSEN, J. B.; NEVES, E. G. Village size and permanence in Amazonia: two archaeological examples from Brazil. **Latin American Antiquity**, v.10, n. 4, p.353-376, 1999.

kÄMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, p.277-320.

KERN, D. C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T. E.; FRAZÃO, F. J. L.; SOMBROEK, W.; NEVES, E. G.; MYERS, T.P. Distribution of antropogenic dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; WOODS, W.; GLASER, B. (Org.). **Amazonian dark Earths: Origin, Properties, Management**. 1 ed. Norwell: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, v.1, p.51-76, 2003.

KERN, D.C. **Solos de Terra Preta podem ser solução para a agricultura na Amazônia**. 2002. Disponível em: <<http://www.museu-goeldi.br/destaqueamazonia/tpa.htm>>

KERN, D. C. **Geoquímica e Pedogeoquímica em Sítios Arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel - PA)**. 1996. 119f. (Tese de Doutorado) Belém, Universidade Federal do Pará: 1996.

KERN, D.C.; kÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológicas na região de Oriximiná – PA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, p.219-225, 1988.

LEHMANN, J.; SILVA JUNIOR, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343-357, 2003.

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**, Amsterdam, v.11, n.1-2, p. 1-17, 2002.

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

LONGO, R.M. **Modificações em parâmetros físicos e químicos de Latossolos argilosos decorrentes da substituição da Floresta Amazônica e do Cerrado por pastagens**. 1999. 102 f. Tese (Doutorado em Água e Solo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**. v.28, n.2, p. 329-334, 2005.

MADARI, B., BENITES, V.M., CUNHA, T.J.F. The effect of management on the fertility of Amazonian dark earths. In LEHMANN, J., KERN, D.C., GLASER, B., WOODS, W.I. (eds) **Amazonian dark earths**. Origin, properties, management. Kluwer:Dordrecht. 2003. p. 407-432.

MAHER, B.A.; THOMPSON, R. **The magnetic record of palaeoclimate in the terrestrial loess and palaeosol sequences**, in **Quaternary Climates**. In: *Environments and Magnetism* (eds MAHER, B.A. & THOMPSON, R.). University Press, Cambridge, 1999. p. 81–125.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; AMARANTE, C. V. T.; FILHO, O. K. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.10, p.1531-1539, 2006.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia Brasileira**. 1ª ed. Brasília: Banco Mundial, 2003. 100 p.

MARIANI, L.; CHANG, S.X.; KABZEMS, R. Effects of tree harvesting, forest floor removal, and compaction on soil microbial biomass, microbial respiration, and N availability in a boreal aspen forest in British Columbia. **Soil Biology Biochemical**, v. 38, p.1734-1744, 2006.

MARTINEZ, L.L.; FIEDLER, N.C.; LUCATELLI, G.J. Análise das relações entre desflorestamentos e focos de calor: estudo de caso nos municípios de Altamira e São Félix do Xingu, no Estado do Pará. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.4, p. 695-702. 2007.

MARTINS, G. C.; FERREIRA, M. M.; CURTI, N.; VITORINO, A. C. T. SILVA, M. L. N. Campos nativos e matas adjacentes da região de Humaitá (AM): atributos diferenciais dos solos. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.30, p.221-227, 2006.

McBRATNEY, A.; MYNASNY, B.; STEPHEN, R.; CATTLE, R.; VERVOORT, W. From pedo-transfer functions to soil inference systems. **Geoderma**, Amsterdam. v. 109, p. 41-73, 2002.

MEIRELES, H. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; PEREIRA, G. T. Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. **Pesquisa agropecuária tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 129-136, 2012.

MILLER, E. T. A limitação ambiental como barreira à transformação do período Formativo no Brasil. Tecnologia, produção de alimentos e formação de aldeias no sudoeste da Amazônia. In: LEDERGERBER-CRESPO, P. (Ed.). **Formativo Sudamericano, una revaluación**. Quito: Abya-Yala, 1999. p. 331-339.

MORA, S. **Cultivars, anthropic soils, and stability**: a preliminary report of archaeological research in Araracuara, Colombian Amazonia. Pittsburgh: University of Pittsburgh. 1991. (Latin American Archaeology Report, n.2).

MORAN, E. F. **A ecologia humana das populações da Amazônia**. Petrópolis, Vozes, 1990. 367p.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.1103-1110, 2004.

NEVES JUNIOR, A. F. **Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central**. 2008, 94f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

NEVES, C. M. N. das; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. de. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.74, p.45-53, 2007.

NEVES, E. G. **Levantamento arqueológico da área de confluência dos rios Negro e Solimões, estado do Amazonas**: Continuidade das escavações, análise da composição química e montagem de um sistema de informações geográficas. Project report. São Paulo: FAPESP, 2003.

NOVOTNY, E. H.; HAYES, M. H. B. ; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; DE AZEVEDO, E. R.; DE SOUZA, A. A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the Utilisation of Charcoal for Soil Amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, p. 1003-1010, 2009.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; MARQUES JUNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico sob diferentes usos na região sul do amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1103-1112, 2013.

PABST, E. **Terra preta do índio**: chemische kennzeichnung und ökologische bedeutung einer brasilianischen indianerschwarzerde. Fakultät für Geowissenschaften. München: Ludwig-Maximilian Universität, 1985. 362 p.

PANOSSO, A. R.; PERILO, L. I.; FERRAUDO, A. S.; PEREIRA, G. T.; MIRANDA, J. G. V.; LA SCALA JR, N. Fractal dimension and anisotropy of soil CO₂ emission in a mechanically harvested sugarcane production area. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 124, p. 8-16, 2012.

PETERSEN, J. B.; NEVES, E. G.; HECKENBERG, M. J. Gift from the past: terra preta and prehistoric occupation in Amazonia. In: McEWAN, C.; BARRETO, C.; NEVES, E. (Eds.). **Unknown Amazon**. culture in nature in Ancient Brazil. London: British Museum, 2001. p. 86-107.

RANZANI, G.; KINJO, T. & FREIRE, O. Ocorrências de “plaggen epipedon” no Basil. **Notícia geomorfológica**. v. 10, p. 55-62, 1970.

RESENDE, M. 1976 237f. (Tese de Doutorado) **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of Central Plateau of Brazil**. Lafayette, Purdue University, 1976.

RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA, R. C.; Solos de várzeas da Amazônia: uso e potencialidade. In: **Amazônia: agricultura sustentável**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 215-221, 1997.

SANCHES, P. A.; LOGAN, T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R.; SANCHES, P. A. (Eds.) **Myths and science of soils of the tropics**. SSSA, Madison, p. 35-46, 1992.

SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C.; SILVA, D. M. P.; MARQUES JUNIOR, J.; FRANCA, A. B. C. Caracterização e gênese de terras pretas arqueológicas no sul do Estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 825-836, 2013.

SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C.; BERGAMIN, A.C.; Silva, D. M. P.; MENDONÇA JÚNIOR, A. F. Caracterização física de seis sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí-AM. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 6, p. 167-174, 2011.

SCHEINOST, A.C.; CHAVERNAS, A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Use and limitations of second-derivative diffuse reflectance spectroscopy in the visible to nearinfrared range to identify and quantify Fe oxides in soils. **Clays Clay Miner.**, v. 46, p. 528-536, 1998.

SCHWERTMANN, U. Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. In: BIGHAM, J.M. & CIOLKOSZ, E.J., eds. **Soil color**. Madison, Soil Science Society of America, 1993. p.51-69.

SCHWERTMANN, U. The influence of aluminum on iron oxides. XLAuminum-substituted maghemite in soils and its formation. **Soil Science Society of America Journal** , v. 48, p. 1462-1463, 1984.

SERGIO, C. S.; SANTANA, G. P.; COSTA, G. M. DA; HORBE, A. M. C. Identification and characterization of maghemite in ceramic artifacts and archaeological black earth of Amazon region. **Soil Science**, v. 171, n. 1, p. 59-64, 2006.

SILVA, F. W. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; MOTTA, M. B.; SANTANA, R. M. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (terras pretas de índio) na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 673-681, 2011.

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FREIRE, F. J.; CAMPOS, M. C. C.; AMORIM, L. B. Discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró (RN), com o uso de análise multivariada. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, n. 2, p. 261–270, 2010.

SILVA, R.R.; WERTH, D.; AVISSAR, R. Regional Impacts of Future Land-Cover Changes on the Amazon Basin Wet-Season Climate. **Journal of Climate**. v. 21, p. 1153-1170, 2008.

SILVA, M.B. da; KLIEMANN, H.J.; SILVEIRA, P.M.; LANNA, A.C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.1755-1761, 2007.

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; FERREIRA, M.M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do Alto do Rio Grande – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, 2005.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 155, p. 55-66, 2010.

SMITH, N. K. H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 70, n.4, p. 553-566, 1980.

SOMBROEK, W; KERN, D; RODRIGUES, T.; CRAVO, M. S.; CUNHA, T. J. F.; WOODS, W.; GLASER, B. **Terra Preta e Terra Mulata**: sua potencialidade agrícola, sustentabilidade e replicagem. 2002.

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

SOUZA, E. D. de; COSTA, S. E. V. G. de A.; LIMA, C. V. S. de; ANGHINOMI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P. C. de F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1273-1282, 2008.

SOUZA, Z. M.; LEITE, J. A.; BEUTLER, A. N. Comportamento de atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob agroecossistemas do Amazonas. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 654-662. 2004.

TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. **As Terras Pretas de índios da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus, Editora da Universidade Federal do Amazonas – EDUA, 2010.

TORRENT, J.; BARRÓN, V. Laboratory measurement of soil color: theory and practice. In: BIGHAM, J.M. & CIOLKOSZ, E.J., eds. **Soil color**. Madison, Soil Science Society of America, 1993. p. 21-33.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadores de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1173-1184, 2007.

VENDRUSCULO, L.G. **Desenvolvimento de um sistema computacional para análise geoestatística**. 2001, 87f. (Dissertação de Mestrado). Universidade de Campinas, 87p. 2001.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo** - Com ênfase aos solos tropicais. 2. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1988.

VIEIRA, S. R.; Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. 388 de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.) **Tópicos ciência do solo Campinas**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54. 2000.

VISCARRA-ROSSEL, R. A.; WEBSTER, R. Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible-near infrared spectra. **European Journal of Soil Science**, v. 62, p. 637-647, 2011.

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. Origen y assistência de las tierras negras de la Amazonía. In: HIRAOKA, M., MORA, S. (Eds.). **Desarrollo sostenible em la Amazonía**: mito o realidad? Quito: Abya-Yala. 2001.

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. In: CAVIEDES, C. (Ed.). **Yearbook Conference of Latin Americanist Geographers**. v. 25. Austin TX: University of Texas, 1999. p. 7-14.

WOODS, W. I. Comments on the Black Earths of Amazonia. In: SCHOOLMASTER, F.A. (ed.) **Papers and Proceedings of the Applied Geography Conferences**. v. 18, p.159-165, 1995. Denton, Texas: Applied Geography Conferences, Inc.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; CARVALHO-ZANÃO, M. P.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010.

CAPÍTULO 2 - Caracterização da cor e óxidos de ferro da fração argila em Terras Pretas Arqueológicas no município de Apuí, no sul do Amazonas

RESUMO - Uma das marcas deixadas pelo homem pré-histórico na paisagem amazônica são as manchas de solos de cor escura, a Terra Preta Arqueológica (TPA), que são ricos em matéria orgânica, fósforo e cálcio. A cor neste solo apresenta-se como um atributo de difícil interpretação nos horizontes, sendo importantes os estudos visando a sua melhor identificação. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi a caracterização da cor e óxidos de ferro da fração argila de TPA no município de Apuí, no sul do Amazonas. Foram abertas 6 trincheiras, onde esses perfis foram caracterizados morfológicamente, e ainda coletadas amostras por horizonte para, posteriormente, realizar análises granulométricas, grau de flocculação, argila dispersa em água e químicas (pH em água e cloreto de potássio, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, acidez potencial, alumínio, carbono orgânico e matéria orgânica) e análises mineralógicas. Em seguida, os solos foram classificados segundo critérios estabelecidos pelo sistema brasileiro de classificação do solo. Verificou-se, nos atributos físicos e químicos, comportamento similar nos perfis estudados. Concluiu-se que a hematita e a goethita, determinados por difração de raios-x e espectroscopia de reflectância difusa, além de não apresentarem variações importantes entre os solos estudados, apresentam características similares aos solos não antropizados brasileiros. A cor medida por espectroscopia de reflectância difusa mostrou-se eficiente para indicar variações entre as TPAs estudadas, provando ser uma técnica inovadora, eficiente e promissora para a quantificação indireta dos atributos do solo de forma simples e de baixo custo.

Palavras-chave: horizonte antrópico, solo antropogênico, sul do Amazonas, ambiente amazônico, terra preta de índio.

2.1 INTRODUÇÃO

Os solos da Amazônia, conhecidos como Terra Preta Arqueológica (TPA), contrastam com os solos não antropogênicos da região Amazônica, devido principalmente a sua diferença de fertilidade natural que se caracteriza pela ampla disponibilidade de nutrientes, como cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e matéria orgânica (MO) (KERN et al., 2003). Várias hipóteses foram levantadas sobre os processos de formação da TPA, sendo a mais aceita que estes processos teriam sido formados não intencionalmente pelo homem pré-colombiano (WOODS; MCCANN, 2001). Datações por técnicas radiocarbônicas indicam que a formação e a ocupação das áreas de TPAs ocorreram principalmente entre 500 e 2.500 anos atrás (NEVES et al., 2004).

Quanto à distribuição geográfica, German (2003) afirmou que os solos das TPAs se distribuem na forma de manchas descontínuas por toda a Amazônia. Localizam-se em áreas próximas a cursos de água (CPRM, 2010), em elevações marginais, áreas de terra firme e várzea (TEIXEIRA; MARTINS, 2003; MACEDO; TEIXEIRA, 2009), e estes solos antropogênicos ocupam áreas de 1 a centenas de hectares (SMITH, 1980; BARROS et al., 2012). Segundo Sombroek et al. (2003), as TPAs ocupam uma área de 0,1% a 0,3%, estimada entre 6.000 e 18.000 km² da Bacia Amazônica. As TPAs possuem grande importância histórica, especialmente relacionada à cultura de antigas populações indígenas da Amazônia pré-colonial, e grande interesse agrônomo.

Os horizontes antropogênicos das TPAs são bem drenados, textura variando de arenosa a muito argilosa e presença do horizonte A antrópico entre 0,30 e 0,60 m (CAMPOS et al., 2012; SANTOS et al., 2013). Apresenta alta fertilidade natural com elevados teores de fósforo (P), Ca, Mg, zinco (Zn) e manganês (Mn) (KERN; KÄMPF, 1989; CUNHA et al., 2009), elevada (MO), intensa atividade biológica, pH em água em torno de 5,2 a 6,4; P disponível, em geral, acima de 250 mg kg⁻¹, Zn e Mn acima de 200 e 450 mg kg⁻¹, respectivamente (LIMA et al., 2002). Por essa razão, a fertilidade química da TPA é significativamente superior à maioria dos solos amazônicos não perturbados pela atividade humana pré-histórica, geralmente ácida e pobre em nutrientes (RODRIGUES, 1996).

Os estudos nos solos de TPAs ocorrem em sua maioria para os estudos de sua fertilidade. Trabalhos voltados para a mineralogia das TPAs ainda são muito incipientes, e mais especificamente para os óxidos da fração argila são mais escassos ainda. No entanto, estudos referentes aos óxidos de ferro nas TPAs fazem-se necessários, levando em consideração a importância dos óxidos nos solos tropicais e subtropicais, pois caracterizam-se por serem indicadores sensíveis de condições pedoambientais e de processos pedogenéticos (SCHWERTMANN; TAYLOR, 1989).

A cor do solo é uma propriedade que constitui um indicativo de presença ou ausência dos óxidos de ferro, que varia conforme o tipo de óxido de ferro presente ou proporções entre eles, bem como a distribuição destes minerais no solo, tendo importância destacada no sistema de classificação de solos no Brasil (RESENDE et al., 2007). Porém, essa determinação, mundialmente utilizada pelos pedólogos, é baseada na percepção visual, ou seja, subjetiva, e segundo Campos e Demattê (2004), as divergências na percepção das cores podem resultar em erros na classificação dos solos.

A obtenção da cor com instrumentos de medida, como a espectroscopia de reflectância difusa (ERD) resulta em maior precisão por se dar em condições controladas e não subjetivas. O potencial de utilização desta técnica tem sido demonstrado por vários autores (TORRENT; BARRON, 1993; BARRON; MELLO; TORRENT, 2000; VISCARRA ROSSEL; WEBSTER, 2011; BAHIA, 2012). A vantagem que a ERD tem em relação às metodologias tradicionais é o fato de ser uma técnica rápida, econômica, não necessitando de reagentes e por ser um método não destrutivo (BROWN et al., 2006; VISCARRA ROSSEL et al., 2006).

Portanto, a caracterização detalhada das TPAs pode contribuir para entender sua gênese e seu comportamento em ambientes específicos da Amazônia, permitindo estabelecer hipóteses na reprodução em artefatos de suas principais qualidades. E a hipótese deste trabalho é que a caracterização da cor pode ser uma importante ferramenta para se estimar atributos do solo, sobretudo os óxidos de ferro. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi a caracterização da cor e os óxidos de ferro da fração argila em Terras Pretas Arqueológicas, na região de Apuí, no Estado do Amazonas.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização e caracterização da área

A área de estudo localiza-se na região sul do Amazonas, distribuída no município de Apuí, sob as coordenadas 7° 11' S e 59° 53' W (Figura 1). O clima na região é quente e úmido, com estação seca pouco pronunciada, do tipo “Am” pela classificação de Köppen (1948). A temperatura média anual varia entre 25° e 27° C, sendo que a umidade relativa do ar fica estabelecida em 85%, com precipitações acima de 2.200 mm por ano. O período mais chuvoso na região de Apuí corresponde ao trimestre janeiro a março, e a época menos chuvosa ocorre de junho a agosto. As menores temperaturas verificam-se nos meses de junho e julho, com mínimas absolutas de 10°C a 16°C (CPRM, 2001).

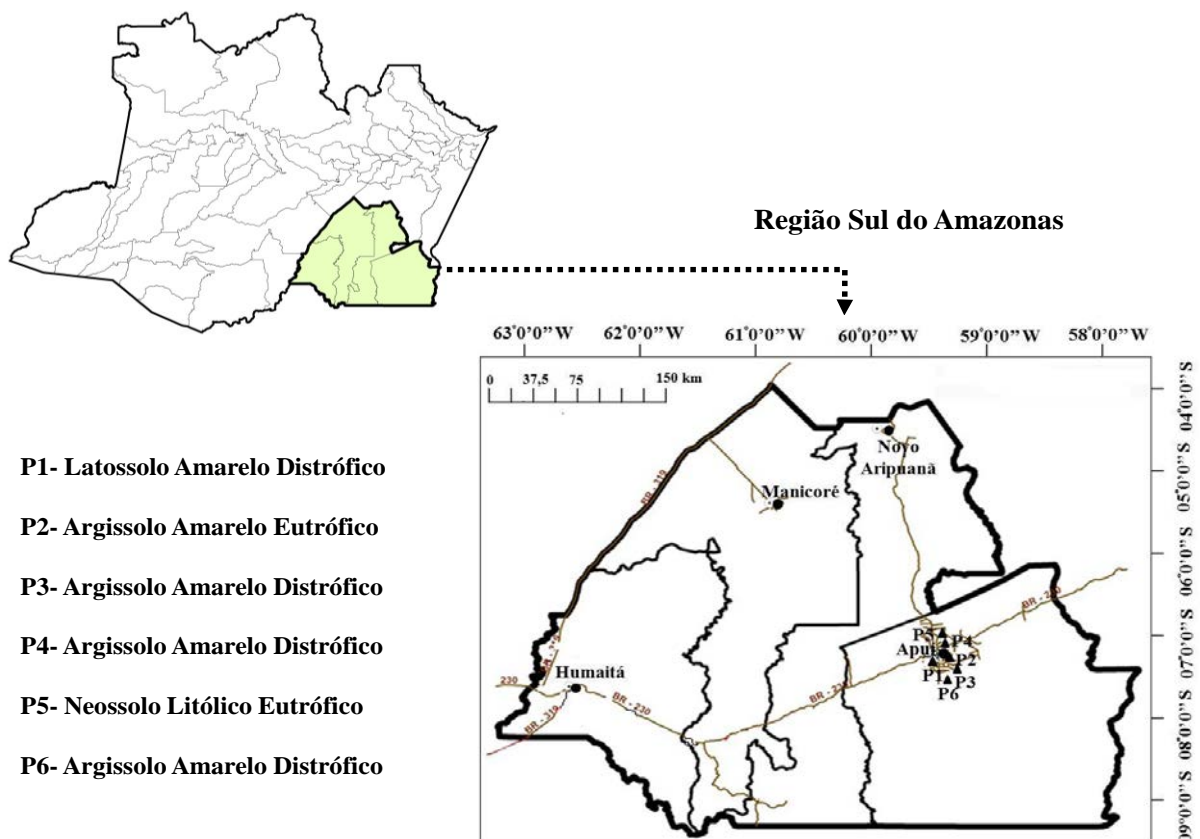


Figura 1. Mapa com localização dos perfis de solos no município de Apuí no Estado do Amazonas.

A geologia da região de Apuí envolve o domínio geológico formado por rochas mais antigas (Proterozoicas e Paleozoicas), inseridas na área cratônica do Escudo Brasil Central, com rochas predominantemente cristalinas (granitos e gnaisses, coberturas vulcânicas e rochas metassedimentares) (SDS, 2004). Destacam-se as

“formações pioneiras”, caracterizadas por uma vegetação campestre e arbustiva desenvolvida em áreas sujeitas a periódicas inundações. O cerrado ocupa invariavelmente áreas de platôs sedimentares, registrando-se notáveis campos de areia branca em meio à baixa vegetação. Já a floresta densa ocupa os terraços dos rios e feições submontanhosas. A floresta aberta aparece em pequenas manchas sob forma de palmáceas (CPRM, 2005).

Os locais representativos das TPAs, conforme Figura 1 e Tabela 1, encontram-se com uma média de 10 anos de exploração e uso pelos produtores de maneira não intensiva. Nesses locais, foram abertas trincheiras, e os perfis foram caracterizados morfologicamente e coletados por horizonte, segundo Santos et al. (2005). Nas amostras coletadas, foram realizadas análises físicas, químicas e mineralógicas. Em seguida, os solos foram classificados segundo critérios estabelecidos pela sociedade brasileira de ciência do solo (EMBRAPA, 2013).

Tabela 1. Identificação dos perfis, coordenadas, localização, ocupação, posição, município.

Perfil	Coordenada	Local	Ocupação	Posição	Município
1	S 07°6'32,8" W 59°51'6,9"	¹ Vic. Mariano Km 4	Milho	Topo Baixo	Apuí
2	S 07°6'54,9" W 059°52'22,1"	Vic. Sulino Km 11	Pomar	Topo	Apuí
3	S 07°7'9,1" W 59°46'1,1"	BR 230 Km 17	Pastagem	Topo	Apuí
4	S 07°9'5,7" W 059°42'52,1"	Vic. Fábio Lucena Km 26	Café	Topo	Apuí
5	S 07°10'4,4" W 59°42'55,4"	Vic. Fábio Lucena Km 28	Pastagem	Meia encosta	Apuí
6	S 07°12'28,4" W 059°40'22,3"	Vic. Paredão Km 34	Capoeira	Topo	Apuí

¹Vic. = Vicinal

2.2.2 Análises laboratoriais

As análises de granulometria foram realizadas utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 minutos. A fração argila foi separada por sedimentação, utilizando-se de pipeta para sua remoção, as areias grossa e fina, por tamisação, e o silte foi calculado por diferença. Foi determinada a argila dispersa em água e calculado o grau de floculação (EMBRAPA, 1997).

O pH foi determinado potenciométricamente, utilizando-se da relação 1:2,5 de solo em água e KCl (EMBRAPA, 1997). Ca, Mg, K trocável, P disponível e acidez potencial (H+Al) foram extraídos utilizando-se do método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1987). O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado por Yeomans e Bremner (1988). A MO foi estimada com base no carbono orgânico. Utilizando resultados das análises químicas, foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%).

Para a obtenção dos espectros de reflectância difusa (ERD), as avaliações foram feitas com o sensor de laboratório Lambda 950 UV/Vis/NIR (PerkinElmer, United Kingdom), equipado com esfera integradora de 80 mm (JACKSON, 1985). Foi moído aproximadamente 0,5 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em almofariz ágata até a obtenção de coloração constante. O conteúdo foi colocado em um porta-amostra com um espaço cilíndrico de 16 mm de diâmetro. Os valores de reflectância foram determinados a cada 0,5 nm, com um tempo de integração de 0,2 segundo, fazendo-se uma varredura no intervalo de 380 a 780 nm. Após a obtenção dos espectros de reflectância difusa das amostras de solo, foram determinados os valores de triestímulo XYZ definidos pela Comisión Internacional de L'Eclairage. A partir das coordenadas XYZ, foram deduzidos os valores Munsell (matiz, valor e croma) e RGB (utilizado para representação digital da cor), utilizando o programa Munsell Conversion versão 6.4, conforme Barrón et al. (2000) e Viscarra Rossel (2011).

Para a análise de difratometria de raios-x (DRX), a argila foi separada da amostra de solo pelo método de centrifugação. Os minerais da fração argila hematita (Hm) e goethita (Gt) foram caracterizados por DRX em lâminas confeccionadas com material em pó. A caracterização da Hm e da Gt ocorreu após o tratamento da fração argila com NaOH 5 mol L⁻¹ (1 g argila 100 ml⁻¹ solução), para a concentração dos mesmos, segundo método de Norrish e Taylor (1961), modificado por Kämpf e Schwertmann (1982). A razão Gt/(Gt+Hm) foi obtida após o cálculo das áreas dos reflexos da Hm (012) e Gt (110), nos reflexos dos difratogramas, e nesse caso foi multiplicada a área do pico da Gt (110) pelo valor 0,35 devido à intensidade de 35% da Hm (012) (KÄMPF; SCHWERTMANN, 1998). O diâmetro médio do cristal (DMC)

foi calculado a partir da largura à meia altura (LMA) dos reflexos dos minerais Hm (110 e 012) e Gt (110 e 111), usando a equação de Scherrer (KLUG; ALEXANDER, 1974).

O difratômetro utilizado foi o Mini-Flex II- Rigaku, empregando-se cátodo de cobre com filtro de níquel e radiação α (20mA, 30Kv). A velocidade de varredura empregada foi de $1^\circ 2\theta$ por minuto, com amplitude de 23 a $49^\circ 2\theta$ para a caracterização da Hm e Gt.

No cálculo da substituição isomórfica (mol mol^{-1}) do ferro pelo alumínio na Gt, foram utilizados os procedimentos sugeridos por Schulze (1984), que propõe a seguinte equação:

$$\text{molAl}\% = 1730 - 572.c \quad (1)$$

em que, $c = 1 / (1/d_{111}^2 - 1/d_{110}^2)^{1/2}$.

Já para o cálculo do teor de substituição isomórfica (mol mol^{-1}) do ferro pelo alumínio na Hm, foi utilizada a equação proposta por Schwertmann et al. (1979):

$$\text{molAl}\% = 3098,8 - 615,12.a_0 \quad (2)$$

em que, $a_0 = 2 d_{110}$.

Para a obtenção das estimativas do teor de Gt, o teor de ferro cristalino foi multiplicado pela razão $Gt/(Gt+Hm)$ e por 1,59. Para a hematita, multiplicou-se o teor de ferro cristalino por 1,43, após ser subtraída deste valor a quantidade de ferro correspondente à Gt (Dick, 1986), conforme as equações:

$$[(Gt/Gt+Hm)] \times (\text{Fe}_d\% - \text{Fe}_o\%) = \% \text{FeGt} \quad (3)$$

$$\text{FeGt}\% \times 1,59 = \text{FeOOH} = \% \text{Gt} \quad (4)$$

$$\text{FeGt}\% - (\text{Fe}_d\% - \text{Fe}_o\%) = \text{FeHm}\% \quad (5)$$

$$\text{FeHm}\% \times 1,43 = \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Hm}\% \quad (6)$$

Na terra fina seca ao ar (TFSA), os elementos Al e Fe foram extraídos por digestão com H_2SO_4 1:1, e o Si, por posterior dissolução alcalina. Os resultados foram expressos na forma de óxidos (Al_2O_3 , Fe_2O_3 e SiO_2), de acordo com Embrapa (1979). A determinação do ferro ditionito (Fe_d) seguiu metodologia de Mehra e Jackson (1960), e a determinação do ferro oxalato (Fe_o) seguiu a metodologia de Camargo et al. (1986).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Atributos Físicos

Em relação às frações granulométricas das TPAs, notou-se dominância da fração silte e argila com tendência a aumento em profundidade da fração argila do horizonte antrópico ao subsuperficial e ocorrendo o inverso na fração silte, com exceção apenas do P3, que apresentou domínio da fração silte no horizonte antrópico e subsuperficial, e do P5, que apresentou domínio da fração areia grossa, no qual se verificou uma nítida variação da textura em função da posição de ocorrência das TPAs no relevo, devido à influência de materiais coluviais na encosta (Tabela 2). Silva et al. (2012), estudando TPAs no sudoeste da Amazônia em um Argissolo, observaram predominância da fração areia em todos os horizontes.

A relação silte/argila é utilizada como um índice auxiliar na indicação do grau de intemperismo dos solos; desta maneira, quanto maior o valor desta relação, menos intemperizado é o solo (JACOMINE, 2005). A relação silte/argila nos perfis estudados apresentou valores mais elevados no horizonte antrópico em relação ao horizonte subsuperficial, em todos os perfis, indicando seu menor grau de intemperismo, reforçando sua origem antrópica. O P3 apresentou valores elevados em todo o perfil, indicando menor grau de intemperismo em relação aos demais perfis (Tabela 2).

A argila dispersa em água (ADA) apresentou, no P1, P3 e P4, valores mais elevados nos primeiros horizontes. Esse comportamento deve-se à maior contribuição dos óxidos de ferro em maiores profundidades nos solos mais intemperizados, e o P2, P5 e P6 apresentaram valores elevados com o aumento em profundidade; neste caso, indicando maior movimentação de argila no perfil do solo. O GF, que é inversamente proporcional á ADA, apresentou comportamento inverso, onde se nota o grau de estabilidade dos agregados apresentados pelo GF no P3, P4 e P5, nos horizontes antrópicos, ocasionado pela contribuição direta da MO neste solo. Esses resultados estão em concordância com Lima et al. (2002) e Santos et al. (2013), os quais afirmaram que as condições climáticas severas favorecem a destruição dos agregados do solo, apesar de o estado de organização da estrutura ser fortemente desenvolvido.

Tabela 2. Atributos físicos em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí, no Amazonas.

Hor. ¹	Prof. ² (cm)	AG ³	AF ⁴	Silte g.kg ⁻¹	Argila	S/A ⁵	ADA ⁶	GF ⁷ %
P1- LATOSSOLO AMARELO Distrófico antrópico, textura argilosa								
Ap ₁	0 – 15	120,38	35,42	513,14	331,07	1,55	170,2	48,59
Ap ₂	15- 34	75,00	31,22	456,82	436,96	1,05	143,04	67,26
AB	34 -63	54,20	26,59	339,89	579,32	0,59	252,72	56,37
BA	63– 91	52,39	26,52	302,87	618,21	0,49	4,28	99,30
Bw ₁	91 -117	48,52	26,01	275,89	649,57	0,43	3,44	99,47
Bw ₂	117 -152+	50,16	27,47	295,27	627,09	0,47	0,56	99,91
P2- ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico, textura argilosa, A antrópico								
Ap ₁	0 – 15	60,64	36,22	519,76	383,38	1,37	229,2	40,21
Ap ₂	19 - 30	56,83	33,08	397,21	512,88	0,78	318,96	37,81
AB	30 - 48	39,70	21,73	317,76	620,81	0,51	204,36	67,08
Bt ₁	48 - 66	21,03	18,09	278,94	681,95	0,41	492,04	27,84
Bt ₂	66 - 100	19,71	17,85	287,44	675,00	0,43	185,56	72,50
Bt ₃	100 - 130 ⁺	18,38	14,89	285,73	681,00	0,42	604,68	11,20
P3- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura franco argilo siltosa, A antrópico								
Ap ₁	0-21	25,70	60,43	585,58	328,25	2,51	37,32	94,10
Ap ₂	21-36	67,16	29,44	692,08	211,32	3,28	97,04	54,07
AB	36-58	61,56	29,91	655,21	253,32	2,60	85,4	66,28
Bt ₁	58-91	61,97	31,21	645,03	261,79	2,47	3,96	98,48
BCr	91-120+	63,94	30,15	618,60	287,31	2,15	0,2	99,93
P4- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A antrópico								
Ap ₁	0 – 19	107,99	223,99	304,10	363,92	0,84	81,56	77,58
BA	19 – 41	155,72	104,15	266,59	473,53	0,57	31,36	93,37
Bt ₁	41 – 67	118,83	65,88	391,44	423,85	2,18	1,36	99,67
Bt ₂	67 – 104	107,75	59,15	233,90	599,20	0,39	0,44	99,92
Bt ₃	104 – 147 ⁺	99,78	55,84	298,48	545,89	0,55	0,4	99,92
P5- NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, textura areia franca, A antrópico								
Ap ₁	0 - 18	484,09	296,22	139,63	80,05	1,74	1,04	98,70
Ap ₂	18 – 31	500,88	295,61	124,90	78,60	1,61	3,96	94,96
AC	31 – 49	519,28	304,18	94,50	82,04	1,15	19,44	76,30
C ₁	49 – 70	546,21	298,98	81,74	73,07	1,21	2,08	97,15
C ₂	70 – 90	542,55	278,75	64,21	114,49	0,57	12,24	89,30
C ₃	90 - 116	506,85	285,05	98,66	109,44	0,90	63,16	42,28
C ₄	116 – 135 ⁺	477,50	270,72	70,60	181,19	0,39	119,00	34,32
P6- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A antrópico								
Ap ₁	0 – 15	220,76	140,69	355,11	283,44	1,25	92,52	67,35
AB	19 - 30	178,78	137,57	273,98	409,68	0,67	172,44	57,90
Bt ₁	30 - 48	125,15	80,26	240,14	554,45	0,43	208,28	62,43
Bt ₂	48 - 66	131,96	67,06	225,49	575,49	0,39	161,28	71,97
Bt ₃	66 - 100	124,38	73,53	265,84	536,24	0,50	408,04	23,90
Bt ₄	100 - 130 ⁺	126,80	75,77	228,42	569,01	0,40	293,56	48,40

¹Hor.= Horizonte; ²Prof.= Profundidade; ³AG= Areia Grossa; ⁴AF= Areia Fina; ⁵S/A= Relação silte argila; ⁶ADA= Argila dispersa em água; ⁷GF= Grau de floculação.

2.3.2 Atributos químicos

Os valores de pH em água variaram no horizonte antrópico de 4,1 a 5,5, e no horizonte subsuperficial, de 4,1 a 5,2. Estes valores contrariam os resultados encontrados por Cunha et al. (2005), onde em seus estudos nas TPAs, os valores

encontrados variaram de 5,5 a 6,1. Já o pH em KCl apresentou valores de 4,0 a 5,5, sendo estes valores muito similares aos do pH em água (Tabela 3). Falcão et al. (2006) encontraram valores de pH em KCl variando de 3,7 a 6,0. Conseqüentemente, os valores do ΔpH foram muito baixos, sempre próximos ao valor zero, o que indica que as cargas positivas e negativas se encontram muito equilibradas nos solos de TPAs.

Os valores de Ca no horizonte antrópico variaram de 11,0 a 122,0 mmol kg^{-1} , ocorrendo decréscimo em profundidade nos horizontes subsuperficiais. O Mg apresentou valores entre 4,0 e 15,0 mmol kg^{-1} no horizonte antrópico, com diminuição nos valores conforme aumenta a profundidade (Tabela 3). O P2 foi o que apresentou o maior valor de Ca, podendo ser devido à incorporação de ossos ricos em Ca ou pela maior afinidade do Ca pelas superfícies de troca, resultando em sua menor lixiviação, conforme destacado por Barros et al. (2012). Os demais perfis que exibiram valor baixo podem ser reflexos da variação do tempo e da densidade da ocupação humana nestas áreas (CAMPOS et al., 2012).

Os teores de K foram muito baixos quando comparados às demais bases aqui apresentadas, variando de 0,10 a 1,70 mmol kg^{-1} . Falcão e Borges (2006) e Barros et al. (2012) também encontraram valores baixos de K em TPAs. O K pode ser um elemento limitante da produção das espécies cultivadas nas TPAs. Considerando que os níveis médios adequados de Ca, Mg e K são: 28 mmol kg^{-1} , 8 mmol kg^{-1} e 2,3 mmol kg^{-1} , respectivamente, pode-se inferir que os valores baixos encontrados de K, em todos os perfis de TPAs $\leq 1,40 \text{ mmol kg}^{-1}$, apresentam alto desequilíbrio nutricional para o crescimento e a produção das plantas.

Já os níveis de acidez potencial nos horizontes antrópicos foram mais elevados que nos horizontes subsuperficiais, corroborando os resultados observados por Moreira (2006). De acordo com Falcão e Borges (2006), a elevada acidez potencial deve-se à presença da matéria orgânica que, em seu processo de decomposição, libera hidrogênio (H^+). Seguindo a mesma tendência, a SB, quando comparando o horizonte antrópico com o horizonte subsuperficial, notam-se valores elevados no horizonte antrópico, com destaque ao P2, no qual se concentraram valores de 107 a 138,3 mmol kg^{-1} , influenciados diretamente pelos elevados teores de Ca neste perfil (Tabela 3). Campos et al. (2011) também encontraram variações

Tabela 3. Atributos químicos em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí no Amazonas.

Hor.	Prof. cm	pH H ₂ O	pH KCl	Δ pH	Ca	Mg	K	SB	Al	H+Al	CTC	V	m	P	COT	MO
					mmol Kg						%	mg dm ³	g dm ³			
P1- LATOSSOLO AMARELO Distrófico antrópico, textura argilosa																
Ap ₁	0 – 15	4,50	4,30	-0,20	48,00	7,00	1,30	56,30	0,40	109,00	165,30	34,10	2,26	166,00	37,70	65,00
Ap ₂	15- 34	4,10	4,10	0,00	13,00	4,00	0,60	17,60	1,95	121,00	138,60	12,70	1,40	84,00	24,94	43,00
AB	34 -63	4,10	4,10	0,00	6,00	2,00	0,50	8,50	2,05	98,00	106,50	8,00	1,92	94,00	10,44	18,00
BA	63– 91	4,10	4,10	0,00	8,00	3,00	0,60	11,60	1,35	88,00	99,60	11,60	1,35	117,00	6,96	12,00
Bw ₁	91 -117	4,40	4,20	-0,20	11,00	4,00	0,20	15,20	0,75	58,00	73,20	20,80	1,02	135,00	4,06	7,00
Bw ₂	117 -152+	4,40	4,20	-0,20	10,00	4,00	0,20	14,20	0,60	58,00	72,20	19,70	0,83	133,00	3,48	6,00
P2- ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico, textura argilosa, A antrópico																
Ap ₁	0 – 15	5,20	5,10	-0,10	122,00	15,00	1,30	138,30	0,00	58,00	196,30	70,50	0,00	144,00	32,48	56,00
Ap ₂	19 - 30	5,10	5,00	-0,10	92,00	14,00	1,00	107,00	0,00	58,00	165,00	64,80	0,00	173,00	18,56	32,00
AB	30 - 48	4,90	4,70	-0,20	62,00	13,00	0,90	75,90	0,00	52,00	127,90	59,30	0,00	159,00	9,28	16,00
Bt ₁	48 - 66	4,80	4,50	-0,30	52,00	8,00	0,90	60,90	0,00	52,00	112,90	53,90	0,00	143,00	5,22	9,00
Bt ₂	66 - 100	4,80	4,50	-0,30	47,00	6,00	1,50	54,50	0,00	47,00	101,50	53,70	0,00	152,00	4,64	8,00
Bt ₃	100 - 130 ⁺	4,80	4,60	-0,20	42,00	6,00	1,70	49,70	0,00	42,00	91,70	54,20	0,00	157,00	3,48	6,00
P3- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura franco argilo silteosa, A antrópico																
Ap ₁	0-21	4,50	4,20	-0,30	41,00	8,00	1,40	50,40	0,50	98,00	148,40	34,00	2,54	125,00	33,06	57,00
Ap ₂	21-36	4,50	4,30	-0,20	14,00	5,00	0,50	19,50	1,10	98,00	117,50	16,60	0,93	61,00	23,78	41,00
AB	36-58	4,40	4,20	-0,20	6,00	3,00	0,50	9,50	1,20	98,00	107,50	8,80	1,11	57,00	16,24	28,00
Bt ₁	58-91	4,40	4,30	-0,10	2,00	1,00	0,40	3,40	0,80	64,00	67,40	5,00	1,18	68,00	7,54	13,00
BCr	91-120+	4,40	4,40	0,00	2,00	1,00	0,30	3,30	0,80	64,00	67,30	4,90	1,18	68,00	6,38	11,00
P4- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A antrópico																
Ap ₁	0 – 19	4,30	4,10	-0,20	16,00	5,00	0,80	21,80	1,20	109,00	130,80	16,70	2,76	65,00	18,56	32,00
BA	19 – 41	4,20	4,00	-0,20	11,00	4,00	0,10	15,10	1,05	64,00	79,10	19,10	1,32	34,00	6,38	11,00
Bt ₁	41 – 67	4,20	4,10	-0,10	11,00	4,00	0,10	15,10	0,65	42,00	57,10	26,40	1,13	41,00	4,06	7,00
Bt ₂	67 – 104	4,20	4,20	0,00	10,00	4,00	0,10	14,10	0,45	34,00	48,10	29,30	0,93	41,00	3,48	6,00
Bt ₃	104 – 147 ⁺	4,30	4,20	-0,10	9,00	4,00	0,10	13,10	0,40	34,00	47,10	27,80	0,84	32,00	3,48	6,00
P5- NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, textura areia franca, A antrópico																
Ap ₁	0 - 18	5,30	4,30	-1,00	50,00	10,00	0,50	60,50	0,00	31,00	91,50	66,10	0,00	55,00	17,98	31,00
Ap ₂	18 – 31	5,30	4,40	-0,90	55,00	10,00	0,30	65,30	0,00	31,00	96,30	67,80	0,00	55,00	16,24	28,00
AC	31 – 49	5,20	5,50	0,30	35,00	6,00	0,20	41,20	0,00	28,00	69,20	59,50	0,00	35,00	8,70	15,00
C ₁	49 – 70	5,20	5,30	0,10	14,00	4,00	0,10	18,10	0,00	20,00	38,10	47,50	0,00	24,00	4,06	7,00
C ₂	70 – 90	5,20	5,30	0,10	11,00	3,00	0,10	14,10	0,00	16,00	30,10	46,80	0,00	39,00	2,32	4,00
C ₃	90 - 116	5,10	5,10	0,00	11,00	3,00	0,10	14,10	0,00	16,00	30,10	46,80	0,00	45,00	2,32	4,00
C ₄	116 – 135 ⁺	5,00	5,10	0,10	11,00	3,00	0,10	14,10	0,05	18,00	32,10	43,90	0,15	52,00	2,32	4,00
P6- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A antrópico																
Ap ₁	0 – 15	5,60	5,50	-0,10	70,00	11,00	0,70	81,70	0,00	31,00	112,70	72,50	0,00	33,00	19,72	34,00
AB	19 - 30	4,90	4,70	-0,20	30,00	8,00	0,30	38,30	0,05	42,00	80,30	47,70	0,06	22,00	9,86	17,00
Bt ₁	30 - 48	4,80	4,60	-0,20	18,00	8,00	0,20	26,20	0,05	31,00	57,20	45,80	0,08	53,00	5,22	9,00
Bt ₂	48 - 66	4,00	4,60	-0,10	13,00	7,00	0,20	20,20	0,05	31,00	51,20	39,50	0,09	64,00	4,06	7,00
Bt ₃	66 - 100	4,20	4,10	-0,10	4,00	3,00	0,10	7,10	1,20	42,00	49,10	14,50	2,44	41,00	3,48	6,00
Bt ₄	100 - 130 ⁺	4,20	4,10	-0,10	3,00	2,00	0,10	5,10	1,15	42,00	47,10	10,80	2,44	22,00	2,90	5,00

Ca= cálcio; Mg= magnésio; K= potássio; SB= soma de bases; Al= alumínio; H+Al= acidez potencial; CTC= capacidade de troca catiônica; V%= saturação por bases; m= saturação por alumínio; P= fósforo; COT= carbono orgânico total; MO= matéria orgânica

entre os sítios de TPAs estudados, com valores mais elevados em alguns perfis em relação aos demais.

A CTC apresentou valores considerados altos nos horizontes antrópicos com destaque ao P1 e P2, que apresentaram os maiores valores, e o P5, que apresenta os valores menores (Tabela 3). É importante destacar o decréscimo que ocorre com os valores de CTC com o aumento em profundidade, comportamento este que pode ser justificado pela maior concentração dos teores de matéria orgânica altamente reativa no horizonte antrópico originada do carbono pirogênico nestes solos (GLASER et al., 2000; CUNHA et al., 2007).

O P2 apresenta-se com os maiores percentuais de V%, enquadrando-o como eutrófico, e os demais perfis, como distróficos, implicando dizer que estes perfis apresentam limitações em sua fertilidade. Campos et al. (2011) encontraram nos perfis de TPAs estudados perfis com características eutróficas; já Santos et al. (2013) encontraram perfis variando entre eutrófico e distrófico, o que reforça a ideia de que os solos antropogênicos apresentam variações entre si. Os valores do m% em todos os perfis foram baixos, e em perfis como o P2 e P5 seus valores foram 0,0, devido à ausência do Al nestes horizontes conforme destacado na Tabela 3.

No P1, P2 e P3, os teores de P apresentaram valores elevados entre 84,0 e 173,0 mg kg⁻¹, enquanto no P4, P5 e P6 variou de 22,0 a 65,0 mg kg⁻¹ (Tabela 3). Estes valores apresentam-se muito superiores aos teores encontrados nos solos não antrópicos da região amazônica, que apresentam teores de P normalmente inferiores a 5 mg kg⁻¹ (RODRIGUES, 1996), indicando a influência antrópica decisiva na formação das TPAs. Estes resultados estão de acordo com os estudos de Ribeiro (2006), que comparou solos de TPAs aos solos não antrópicos, tendo encontrado nítida diferença nos teores de P entre eles.

Sabe-se que o fósforo apresenta origem orgânica, o que pode explicar suas maiores concentrações nos horizontes antrópicos, podendo ainda ocorrer transporte para horizonte subsuperficial. Este comportamento é confirmado nos perfis analisados onde os teores de P continuam elevados, conforme o aumento em profundidade. Lima et al. (2002) justificam este comportamento por ocorrer intensa bioturbação nas TPAs, o que resulta em redistribuição de P no perfil, enriquecendo os horizontes subsuperficiais. Ainda em relação ao P no P1, P2, P3 e P5, observa-

se que os maiores teores estão relacionados com os solos de textura muito argilosa, o que corrobora os resultados de Sombroek (1966), que observou esta mesma tendência.

Os teores de carbono orgânico e matéria orgânica variaram em função da profundidade, sendo mais elevados no horizonte antrópico. O P1, P2 e P3 apresentaram valores decrescentes de matéria orgânica em profundidade (Tabelas 5), concordando com os resultados de Cunha et al. (2007). Segundo Campos et al. (2012), os elevados teores de carbono orgânico nas áreas de TPAs são atribuídos às alterações antrópicas que este solo sofreu em sua formação. Falcão e Borges (2006) relatam que as áreas de TPAs apresentam elevados teores de matéria orgânica e atividade biológica mais intensa que os solos não antropogênicos. Os autores ainda afirmam que estes valores elevados podem ser provenientes de restos de ossos humanos e de animais, podendo ser seis vezes mais estáveis que a de solos não antrópicos (PABST, 1991). Cunha et al. (2007) afirmam que a elevada fertilidade natural das TPAs está relacionada ao teor de matéria orgânica e à sua elevada reatividade.

2.3.3 Mineralogia dos óxidos de ferro

O ataque sulfúrico revelou variação nos óxidos de Si, Fe e Al nos perfis de TPAs estudados. Os teores de Al foram maiores nos perfis P1, P2 e P3, evidenciando a riqueza destes solos em óxidos. Já o P4 apresentou predominância de Fe, e no P6 o Si apresentou os maiores teores, enquanto no P5 o Si predominou no horizonte antrópico, e no horizonte subsuperficial o Al apresentou maiores teores (Tabela 4). Santos et al. (2013) verificou presença predominante de Al_2O_3 nos perfis estudados.

Os teores de Fe_2O_3 nos perfis P1, P3, P5 e o horizonte subsuperficial do P6 foram menores que 80 g Kg^{-1} , indicando baixos teores de óxidos de ferro (hipoférrico) (EMBRAPA, 2006). Silva et al. (2011), estudando solos antrópicos no Amazonas, encontraram valores de Fe_2O_3 variando de 42,9 a $99,3 \text{ g kg}^{-1}$, valores estes considerados baixos, mas é o que normalmente se encontra nos solos da região. Os teores de ferro livre (Fe_d) predominaram sobre as formas de Fe de baixa cristalinidade (Fe_o) (Tabela 4).

Tabela 4. Teores dos óxidos do ataque sulfúrico (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3), óxidos livre extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato (Fe_d) e óxidos de baixa cristalinidade extraídos com oxalato ácido de amônio (Fe_o) e a relação entre eles em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas, na região de Apuí, no Amazonas.

Hor.	Prof. cm	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	$^1\text{Fe}_d$	$^2\text{Fe}_o$	^3Ki	^4Kr	Fe_o/Fe_d	Fe_d/Fe_t
		g.kg ⁻¹								
P1- LATOSSOLO AMARELO Distrófico antrópico, textura argilosa										
Ap ₁	0-15	140,50	63,49	215,00	37,38	6,69	1,11	0,55	0,18	0,59
Bw ₂	91-117	294,50	77,40	255,00	42,08	16,80	1,91	0,97	0,40	0,54
P2- ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico, textura argilosa, A antrópico										
Ap ₁	0-15	20,50	90,70	210,00	51,47	11,26	0,17	0,08	0,22	0,57
Bt ₂	48-66	289,50	124,36	250,00	74,77	11,67	1,97	0,88	0,16	0,60
P3- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura franco argilo siltosa, A antrópico										
Ap ₁	0-21	17,00	52,00	170,00	24,02	19,33	0,17	0,08	0,80	0,46
Bt ₂	58-91	30,50	45,55	150,00	24,38	16,56	0,35	0,17	0,68	0,54
P4- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A antrópico										
Ap ₁	0-19	131,00	54,22	90,00	32,87	5,79	2,47	1,05	0,18	0,61
Bt ₂	41-67	108,00	98,96	85,00	54,18	9,87	2,16	0,73	0,18	0,55
P5- NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, textura areia franca, A antrópico										
Ap ₁	0-18	13,50	30,64	35,00	17,52	2,28	0,66	0,25	0,13	0,57
C ₂	49-70	5,50	115,69	25,00	56,71	17,95	0,37	0,06	0,32	0,49
P6- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A antrópico										
Ap ₁	0-15	88,00	57,85	125,00	59,95	1,22	1,20	0,54	0,02	1,04
Bt ₂	30-48	56,50	81,02	200,00	39,37	4,08	0,48	0,22	0,10	0,49

¹Fe_o = Fe₂O₃ extraído pelo oxalato ácido de amônio; ²Fe_d = Fe₂O₃ extraído pelo ditionito citrato bicarbonato; ³Ki = relação (%SiO₂x1,7)/%Al₂O₃; ⁴Kr = (%SiO₂x1,7)/(%Al₂O₃ + %Fe₂O₃ x 0,64); ⁵Fe_t = ferro total referente aos valores de Fe₂O₃.

A razão Fe_o/Fe_d indica a proporção dos óxidos de ferro pedogênicos que possuem baixa cristalinidade, sendo que o aumento desta relação corresponde à diminuição da proporção dos óxidos de ferro cristalinos (SCHWERTMANN; KÄMPF, 1985) e a razão Fe_d/Fe_t possibilita inferir a proporção do ferro já liberado pelo intemperismo de minerais primários e já incorporado na forma pedogênica dos óxidos de ferro, configurando, assim, um indicativo do grau de intemperismo do solo. A relação Fe_o/Fe_d apresentou-nos P1, P2, P3 e P5 os maiores valores, evidenciando presença de maiores teores do ferro de baixa cristalinidade (>0,05) (Tabela 4), podendo ser considerado indicador da ação antrópica, sobretudo queima de materiais em temperaturas mais elevadas por um período.

Vale ressaltar que estes solos apresentam também maiores teores de carbono orgânico, o que afeta a relação Fe_o/Fe_d , visto que a matéria orgânica atua como fator inibidor da cristalização no momento da formação dos óxidos de ferro

(MEIRELLES et al., 2012). Outro motivo pode ser devido ao grande volume pluviométrico na região Amazônica, proporcionando a formação de microambientes redutores em condições não perturbadas, as quais levariam a dissolução dos óxidos de ferro e carregamento para camadas mais profundas e neoformação de novos minerais (KÄMPF; CURI, 2000; SILVA NETO et al., 2008). Na razão Fe_d/Fe_t , notam-se valores elevados em todos os perfis (Tabela 4).

Segundo Resende e Santana (1988), valores de Kr menores do que 0,75 definem o solo com características mineralógicas oxídicas e maiores que 0,75, características caulíníticas, enquanto valores próximos a 1,0 salientam o equilíbrio entre estes dois minerais. O valor de Kr no horizonte antrópico apresentou características oxídicas, sendo exceção somente o P4, que indica equilíbrio entre os dois minerais. Já o Ki, no geral, foi baixo (inferior a 2,0), com exceção do P4, indicando presença de solo com elevado grau de intemperismo (Tabela 4).

Em relação ao grau de cristalinidade e tamanho das partículas, sabe-se que quanto mais largo é o pico do difratograma, menor é o tamanho do cristal ou pior o grau de cristalinidade (Tabela 5). E a determinação do grau de cristalinidade dos minerais da fração argila é importante para entender o comportamento da adsorção de fosfatos, assim como o grau diferencial de tamanho ou cristalinidade dos minerais.

Foram observadas diferenças de cristalinidade entre a camada superficial de cada perfil, assim como entre os perfis. O P3 foi o que mais se destacou em relação aos demais, pois apresentou maior e menor DMC no reflexo 110 e 111 da Gt e no reflexo 110 da Hm, sendo o maior na camada superficial e o menor na subsuperficial. No reflexo 012 da Hm, o maior DMC foi encontrado no P4, na camada superficial, e o menor, no P5, na camada subsuperficial (Tabela 5). Resende (1976) encontrou, para Gt de vários Latossolos do Brasil, valores médios de 15 a 38 nm para os reflexos d_{110} e d_{111} , respectivamente. Os resultados de DMC da Gt nos perfis de TPAs estudados encontram-se dentro destes valores médios, e no P3 e P4, os valores encontrados ultrapassam os valores médios dos solos brasileiros.

Em relação à LMA, os resultados apresentam-se inversos ao DMC, ou seja, onde ocorreram os maiores valores de DMC é onde se encontram os menores

Tabela 5. Atributos cristalográficos dos óxidos de ferro em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí no Amazonas.

Hor.	Prof.	LMA		LMA		DMC		DMC		ASE		Si		Teor		
		Gt 110	Gt 111	Hm 110	Hm 012	Gt 110	Gt 111	Hm 110	Hm 012	Gt	Hm	Gt	Hm	Gt/(Gt+Hm)	Gt	Hm
P1- LATOSSOLO AMARELO Distrófico antrópico, textura argilosa																
Ap ₁	0-15	0,31	0,38	0,33	0,23	26,70	22,60	25,80	36,70	88,57	59,06	23,17	25,00	0,57	3,31	2,16
Bw ₂	91-117	0,37	0,42	0,26	0,20	22,40	20,70	33,00	42,10	106,39	47,77	21,56	40,97	0,57	2,77	1,83
P2- ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico, textura argila, A antrópico																
Ap ₁	0-15	0,30	0,41	0,26	0,21	27,50	21,00	33,40	40,00	85,71	48,22	14,47	11,56	0,68	7,43	3,06
Bt ₂	48-66	0,31	0,39	0,53	0,13	26,70	22,00	16,20	64,50	88,60	76,07	20,94	51,41	0,72	9,73	3,25
P3- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura franco argilo siltosa, A antrópico																
Ap ₁	0-21	0,17	0,16	0,77	0,13	47,40	51,90	11,20	62,00	47,68	105,77	18,97	8,44	0,57	0,26	0,17
Bt ₂	58-91	0,49	0,61	0,80	0,10	17,00	14,20	10,80	82,50	141,79	106,54	15,57	21,99	0,64	1,81	0,89
P4- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A antrópico																
Ap ₁	0-19	0,19	0,23	0,40	0,11	44,00	37,00	21,70	74,50	51,74	57,93	24,92	35,99	0,64	3,10	1,55
Bt ₂	41-67	0,22	0,34	0,46	0,09	38,10	25,20	18,60	86,00	60,62	64,93	24,94	36,97	0,66	5,52	2,53
P5- NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, textura areia franca, A antrópico																
Ap ₁	0-18	0,32	0,33	0,73	0,15	25,80	26,30	11,90	56,40	91,63	101,67	28,70	19,88	0,58	1,09	0,71
C ₂	49-70	0,32	0,40	0,78	0,52	26,20	21,90	11,10	16,40	90,45	135,45	29,42	29,15	0,64	2,62	1,29
P6- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A antrópico																
Ap ₁	0-15	0,29	0,18	0,60	0,13	28,70	46,70	14,40	61,10	82,15	84,69	27,29	23,27	0,56	5,24	3,68
Bt ₂	30-48	0,30	0,27	0,72	0,14	28,20	31,90	12,00	58,30	83,61	100,09	24,06	34,53	0,71	6,08	2,15

Hor = Horizonte, Prof = Profundidade (cm), LMA = Largura Meia Altura ($^{\circ}2\theta$), DMC = Diâmetro Médio do Cristal (nm), ASE = Área de Superfície Específica ($m^2 g^{-1}$), Si = Substituição Isomórfica(mol%), Gt = Goethita, Hm= Hematita, Teor em $g kg^{-1}$.

valores de LMA, com exceção somente do reflexo Hm 110 que apresentou o menor valor no P2, na camada superficial (Tabela 5). Segundo afirmações de Fitzpatrick e Schwertmann (1982), o maior grau de cristalinidade é evidenciado pelo maior DMC e menor LMA. Neste caso, verifica-se que a Hm se apresenta com maior grau de cristalinidade devido à ocorrência de valores mais elevados de DMC e menores de LMA nos perfis estudados. A tendência de a Gt ter cristais menores do que a Hm é geral (RESENDE et al., 2011).

Os valores da área de superfície específica (ASE) na Gt ficaram entre 47,68 e 141,79 m² g⁻¹ e na Hm entre 47,77 e 135,45 m² g⁻¹. Os perfis apresentaram maiores valores da ASE para a Hm que ocorreu no P3, P4, P5 e P6, e nos demais perfis a Gt apresentou valores mais elevados (Tabela 5). De acordo com Cornell e Schwertmann (1996), a ASE influencia a reatividade dos óxidos de ferro, pois a quantidade dos grupos funcionais existentes na superfície desses minerais que interagem com as espécies solúveis e gases dependem deste atributo.

A substituição isomórfica (Si) num mineral significa a entrada de um elemento no lugar de outro, sem alterar substancialmente sua estrutura. Nos solos brasileiros, têm ocorrido muitos estudos sobre a Si de Fe por Al na goethita e na hematita (KAMPF; CURI, 2000; GOMES et al., 2004; CÔRREA et al., 2008). Em estudos de Resende (1980) em solos brasileiros, os valores de Gt variaram de 2 a 33 moles%, já Kämpf et al. (1988) registraram valores máximos de 36 moles% para goethita e uma faixa de 4 a 17 moles% para hematita. Nos perfis estudados das TPAs a Si na Gt variou de 14,47 a 29,42 moles%, enquanto a Hm variou de 11,56 a 51,41 moles%. Nota-se maior taxa de substituição isomórfica na Hm (Tabela 5), com valores acima da média dos solos brasileiros.

A razão Gt/(Gt+Hm) nos perfis estudados de TPAs apresentaram-se >50% na camada superficial e subsuperficial em todos os perfis, indicando maior presença de goethita. Esta afirmação é reforçada pelos valores do teor de Gt e Hm onde se verifica, em todos os perfis, domínio da Gt (Tabela 5). O predomínio da presença de Gt nestes solos pode ser justificado pelo acúmulo de MO nestes perfis, devido a sua formação antrópica. Pois, segundo Schwertmann e Taylor (1989), a matéria orgânica favorece a formação da goethita em relação à hematita, tendo um papel que

consiste na complexação do ferro e inibindo a formação de ferridrita, que é a precursora obrigatória da Hm (CURI; FRANZMEIER, 1984).

2.3.4 Medidas de cores e determinação da hematita e goethita por DRX e ERD

As cores identificadas pela carta de Munsell e comparadas com aquelas determinadas por espectroscopia de reflectância difusa (ERD), em que se determinaram o matiz (comprimento de onda da luz), o valor (brilho ou tonalidade) e o croma (intensidade ou pureza da cor em relação ao cinza) apresentaram diferenças significativas (Tabela 6). Isso acontece porque a identificação da cor pela carta de Munsell está baseada na percepção visual do pedólogo, sendo, portanto, um método subjetivo, em que os fatores de maior efeito são subjetivos (MELVILLE e ATKINSON, 1985; POST et al., 1993). Já a determinação da cor por ERD é qualitativa, ou seja, possui maior precisão por apresentar condições controladas (BOTELHO et al., 2006).

O matiz identificado pela carta de Munsell apresentou notação 10 YR em todos os perfis estudados, enquanto pela ERD o matiz apresentou valores próximos ao indicado pela carta de Munsell nos perfis P1, P2, P3 e P6, e no P4 e P5 o matiz apresentou medidas variando de 9,64 YR a 0,02 Y (Tabela 6). A matéria orgânica confere cores escuras aos horizontes superficiais e em alguns horizontes subsuperficiais (iluviação). Cores vermelhas, amarelas e brunadas são atribuídas à presença de óxidos de ferro, enquanto a presença de cores acinzentadas está relacionada aos ambientes de redução e remoção dos óxidos de ferro, em condições hidromórficas (BARRON; TORRENT, 1986; AZEVEDO; DALMOLIN, 2004; BOTELHO et al., 2006).

O valor medido tanto pela tabela de Munsell quanto por ERD apresentou menores valores nas camadas superficiais onde se encontram os horizontes antrópicos, e aumentando conforme a profundidade. Esta tendência está relacionada com o elevado teor de matéria orgânica nos horizontes antrópicos (BOTELHO et al., 2006).

O croma apresentou a maior variação na identificação de Munsell e ERD (Tabela 6), podendo estar relacionado à dificuldade do observador em avaliar o croma devido à menor sensibilidade visual em identificar as diferentes tonalidades de cinza. Campos et al. (2011), estudando TPAs na região do médio Rio Madeira, no

Tabela 6. Medidas de cor por carta de Munsell e Espectroscopia de Reflectância Difusa (ERD) em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas, na região de Apuí, no Amazonas.

Horiz.	Prof. (cm)	Munsell				ERD			
		Matiz	Valor	Croma	Cores	Matiz	Valor	Croma	Cores
P1- LATOSSOLO AMARELO Distrófico antrópico, textura argilosa									
Ap ₁	0-15	10YR	2,00	1,00		9,99YR	4,47	3,33	
Ap ₂	15-34	10YR	2,00	2,00		0,24Y	4,72	3,58	
AB	34-63	10YR	3,00	2,00		9,92YR	5,65	4,53	
BA	63-91	10YR	3,00	2,00		9,88YR	6,29	4,99	
Bw ₁	91-117	10YR	5,00	6,00		0,01Y	6,75	5,88	
Bw ₂	117-152	10YR	5,00	6,00		0,05Y	7,01	6,00	
P2- ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico, textura argilosa, A antrópico									
Ap ₁	0-15	10YR	2,00	1,00		9,82YR	4,09	3,69	
Ap ₂	19-30	10YR	2,00	2,00		9,82YR	4,66	4,06	
AB	30-48	10YR	3,00	3,00		9,79YR	5,4	5,03	
Bt ₁	48-66	10YR	4,00	4,00		9,28YR	5,67	6,01	
Bt ₂	66-100	10YR	5,00	6,00		9,09YR	5,88	6,33	
Bt ₃	100-130	10YR	5,00	8,00		9,24YR	5,88	6,52	
P3- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura franco argilo siltosa, A antrópico									
Ap ₁	0-21	10YR	2,00	1,00		9,54YR	3,46	3,66	
Ap ₂	21-36	10YR	2,00	2,00		9,78YR	3,94	3,80	
AB	36-58	10YR	3,00	3,00		9,85YR	4,47	4,27	
Bt ₁	58-91	10YR	4,00	4,00		9,95YR	5,73	5,54	
BCr	91-120+	10YR	5,00	8,00		0,03Y	6,08	6,02	
P4- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A antrópico									
Ap	0-21	10YR	2,00	2,00		0,77Y	4,70	3,54	
AB	21-36	10YR	4,00	3,00		0,75Y	6,18	5,05	
Bt ₁	36-58	10YR	5,00	6,00		0,41Y	6,60	5,86	
Bt ₂	58-91	10YR	5,00	8,00		0,18Y	6,77	6,38	
Bt ₃	91-120+	10YR	5,00	8,00		0,05Y	6,73	6,45	
P5- NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, textura areia franca, A antrópico									
Ap ₁	0-18	10YR	2,00	1,00		0,17Y	3,73	3,13	
Ap ₂	18-31	10YR	2,00	2,00		0,28Y	3,89	3,07	
AC	31-49	10YR	4,00	3,00		0,27Y	4,17	3,66	
C ₁	49-70	10YR	5,00	4,00		0,02Y	5,60	4,99	
C ₂	70-90	10YR	5,00	6,00		9,64YR	5,70	6,03	
C ₃	90-116	10YR	5,00	8,00		9,53YR	5,77	6,24	
C ₄	116-135	10YR	5,00	8,00		9,33YR	5,83	6,62	
P6- ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A antrópico									
Ap ₁	0- 5	10YR	2,00	2,00		0,06Y	4,60	4,15	
AB	19-30	10YR	3,00	4,00		9,95YR	5,19	4,96	
Bt ₁	30-48	10YR	4,00	4,00		9,59YR	6,12	6,17	
Bt ₂	48-66	10YR	5,00	6,00		9,39YR	6,28	6,74	
Bt ₃	66-100	10YR	6,00	6,00		9,76YR	6,75	6,49	
Bt ₄	100-130	10YR	6,00	8,00		9,01YR	6,05	5,50	

sul do Amazonas, verificaram que os horizontes superficiais tinham cores úmidas, variando de bruno-acinzentado muito escuro a preto, com matiz de 10YR, valores entre 2 e 3, e cromas entre 1 e 2, enquanto os horizontes subsuperficiais, tinham cores amareladas ou avermelhadas. A coloração escura das TPAs deve-se principalmente ao acúmulo de material orgânico decomposto (KERN et al., 2003).

É evidente a diferença apresentada pela interpretação de cores pela carta de Munsell aos resultados vindos da ERD, no matiz, no valor e no croma. Estes resultados evidenciam a importância do uso de técnicas quantitativas mais precisas, como a ERD, na interpretação de medidas de cores no solo, tendo em vista sua importância na ciência do solo no Brasil. Barron e Torrent (1986) relatam que a utilização da ERD é útil não só para os estudos da cor, mas também para a quantificação dos teores dos óxidos de ferro, principalmente Hm e (Gt), pois são altamente correlacionados com a coloração do solo.

Com o intuito de avaliar a precisão da técnica ERD em quantificar indiretamente os óxidos de ferro, os teores de Hm e Gt, estimados por esta metodologia, foram relacionados aos teores destes minerais, determinados por difração de raios-x (DRX) (Figura 2). Os resultados mostram que houve relação positiva entre os métodos para Hm ($r = 0,78$; $p < 0,01$) e Gt ($r = 0,98$; $p < 0,01$), indicando que a ERD pode ser utilizada na quantificação indireta destes óxidos de ferro. O elevado R^2 na Gt pode estar relacionado à maior presença deste mineral nos perfis estudados de TPAs que podem ser evidenciados na Tabela 6.

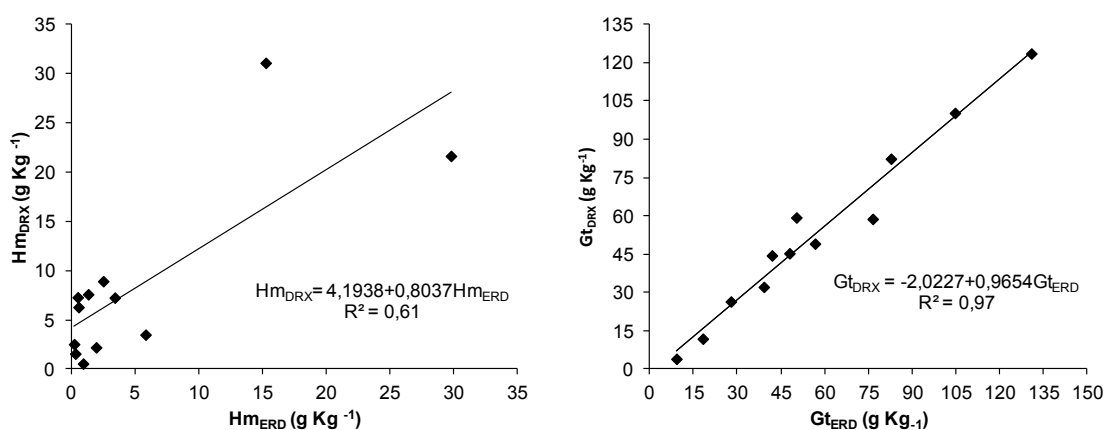


Figura 2. Modelos de regressão linear da Hematita (Hm) e Goethita (Gt) pelo método de difração de raios-x (DRX) e espectroscopia de reflectância difusa (ERD) em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas, na região de Apuí, no Amazonas.

Os resultados acima indicam que a técnica de DRX é uma alternativa promissora para ser usada na determinação indireta de atributos do solo. Isto pode ser afirmado, uma vez que a Hm e a Gt são minerais covariativos dos processos do solo, sendo, portanto, uma ferramenta auxiliar na caracterização dos diferentes ambientes da região Amazônica.

2.4 CONCLUSÕES

A hematita e a goethita, minerais determinados por difração de raios-x e espectroscopia de reflectância difusa, além de não apresentarem variações importantes entre os solos estudados, apresentam características similares aos solos não antropizados brasileiros.

A cor medida por espectroscopia de reflectância difusa mostrou-se eficiente para indicar variações entre as TPAs estudadas, provando ser uma técnica inovadora, eficiente e promissora para a quantificação indireta dos atributos do solo de forma simples e de baixo custo.

2.5 REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Palotti, 2004. 100p.

BAHIA, A. S. R. S. **Espectroscopia de reflectância difusa como técnica auxiliar na caracterização da emissão de CO₂ e atributos do solo**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.

BARRÓN, V.; MELLO, J.W.V.; TORRENT, J. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. In: NOVAIS, R .F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C.E.G.R., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000. v.1, p.139-162.

BARRON, V.; TORRENT, J. Use of the Kubelka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil colour. **Journal of soil Science**, Oxford, v.37, p.499-510, 1986.

BARROS, K. R. M.; LIMA, H. V.; CANELLAS, L. P.; KERN, D. C. Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de Terra Preta de Índio. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 55, p. 44-51, 2012.

BOTELHO, M. R.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C.; RODRIGUES, R. B.; MIGUEL, P. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com

a carta de Munsell e por colorimetria. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n.4, p. 1179-1185, 2006.

BROWN, D. J.; SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G.; MAYS, M. D.; REINSCH, T. G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 132, n. 3-4, p. 273-290, 2006.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J. A. & VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).

CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 6, p. 102-109, 2012.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C.; ALMEIDA, M. C. Caracterização e Classificação de Terras Pretas Arqueológicas na região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 18-27, 2011.

CAMPOS, R. C.; DEMATTÊ, J. A. M. Cor do solo: uma abordagem da forma convencional de obtencao em oposicao a automatizacao do metodo para fins de classificacao de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, v. 28, p. 853-863, 2004.

CORNELL, R. M., SCHWERTMANN, U. **The iron oxides. Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses**, 1996. 573p.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; BARRON, V.; FONTES, M. P. F.; TORRENT, J. CURI, N. Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32. p. 1017-1031, 2008.

CPRM - Centro de Pesquisa de Recursos Minerais. **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade. Manaus, 2010. 275p.

CPRM - Centro de Pesquisa de Recursos Minerais. **Serviço Geológico do Brasil**. Base Cartográfica digital obtida pela CPRM, a partir da base cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo elaborada pelo IBGE. 2005.

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

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. M.; SANTOS, G. A.; Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (terra preta de índio) in the Brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 33, p.85-93, 2009.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELAS, L. P.; NOVOTNY, E.H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, p. 91-98, 2007.

CUNHA, T. J. F. **Ácidos Húmicos de Solos Escuros da Amazônia (Terra Preta do Índio)**. Seropédica, 2005. 119f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

CURI, N., FRANZMEIER, D. P. Toposequence of Oxisols from the central plateau of Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 341-346, 1984.

DICK, D. P. **Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B latossólicos**. 1986. 196f. (Dissertação) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 247p.

FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. F. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão hawaí (*Caricapapaya L.*). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, p. 401-406, 2006.

FITZPATRICK, R.W. & SCHWERTMANN, U. Al-Substituted goethite na indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa. **Geoderma**, Amsterdam, 27:335- 347,1982.

GERMAN, L. A. Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 111, p. 307–331, 2003.

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Organ. Geoderma**, Amsterdam, v. 31, p. 669-678, 2000.

GOMES, J. B. V.; CURI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 137-153, 2004.

HURST, V. J. Visual estimation of iron in saprolite. **Geologic Society American, Bull.**, v.88, p.174-176, 1977.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**, 2nd edition., Madison, 1985, 930p.

JACOMINE, P.K.T. Origem e evolução dos conceitos e definições de atributos, horizontes diagnósticos e das classes de solos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P. & CARDOSO, E.J., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p.193-231.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.107-138.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Avaliação da estimativa de substituição de Fe por Al em hematitas de solos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 209-213, 1998.

KÄMPF, N. RESENDE, M., CURI, N. Iron oxides in brazilian oxisols. In: BEINROTH, F.H.; CAMARGO, M. N.; ESWARAN, H., (Eds.) **Proceedings of the eighth International Soil Classification Workshop** – Classification, Characterization and Utilization of Oxisols. Rio de Janeiro. 1988. p. 71-77.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic Soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.29, p. 27-39,1982.

KERN, D. C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T. E.; FRAZÃO, F. J. L.; SOMBROEK, W.; NEVES, E. G.; MYERS, T. P. Distribution of antropogenic dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; WOODS, W.; GLASER, B. (Org.). **Amazonian dark earths: origin, properties, management**. Norwell: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2003. v. 1, p. 51-76.

KERN, D. C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná-PA. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 219-225, 1989.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: com um estúdio de los climas de la tierra. Publications In: Climatology. Laboratory of Climatology, New Gersey. 1948, 104p.

KLUG, H. P.; ALEXANDER, L. E. **X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials**. New York, J. Wiley Sons, 1974. 966p.

LIMA, H. N. et al. Pedogenesis and pre-colombian land use of terra preta anthrosols ("indian black earth") of western Amazonia. **Geoderma**, Amsterdam, v. 110, p. 01-17, 2002.

MACEDO, M.; TEIXEIRA, W. G. Sul do Amazonas, nova fronteira agropecuária? O caso do município de Humaitá. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 24., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5933-5940.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; LIMA, H. N.; MARTINS, G. C.; DA CRUZ, M. E. G.; ENCINAS, O. C. Caracterização Pedológica de Solos com Horizonte Antrópico (Terra Preta de Índio) em Área de Várzea do Rio Solimões Amazônia Central. In: DEZORDI, C.; TEIXEIRA, W. G. **Seminário de Pós-Graduação na Embrapa Amazônia Ocidental: Integrando Esforços para o Desenvolvimento da Amazônia**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2008. p. 99-104.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays Minerals**, New York, v. 7, n. 2, p. 317-327, 1960.

MEIRELLES, H. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; PEREIRA, G. T. Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 129-136, 2012.

MELVILLE M.D.; ATKINSON, G. Soil color: its measurement and its designation in models of uniform color space. **Journal of Soil Science**, Ottawa, v.36, p.495-512, 1985.

MOREIRA, A. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. **Bragantia**, Campinas, v.66, p.307-315, 2006.

NEVES, E.G.; PETERSEN, J.B.; BARTONE, R.N.; HECKENBERGER, M. J. The timing of terra preta formation in the central Amazon: archaeological data from three sites. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (Eds.). **Amazonian dark earths: explorations in space and time**. Berlin: Springer, 2004. p. 125-134.

NORRISH, K.; TAYLOR, R. M. The isomorphous replacement of iron by aluminium in soil goethites. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 12, p. 294-306, 1961.

PABST, E. **Crítérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e os seus significados para discussão pedogenética**. B. Mus. Paranaense Emilio Goeldi, Série Antropol., 7:5-19, 1991.

POST, D.F. et al. Correlations between field and laboratory measurements of soil color. In: BIGHAM, J.M.; CIOLKOSZ, E. J. Soil color. Madison: **Soil Science Society of America**, 1993. p.35-49. (Special Publication, 31).

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**, Campinas: Instituto Agronomico, 2001, 285 p.

RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of Central Plateau of Brazil**. 237 f. Thesis (PhD) – Purdue University, Prudue, 1976.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. **Mineralogia de solos brasileiros**: Interpretação e Aplicação. 2ed. Lavras: UFLA, 2011, 206p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORREA, G.F. **Pedologia**: Base para distincao de ambientes. 5. ed. rev. Lavras-MG, Editora UFLA, 2007. 322 p.il.

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

RESENDE, S, B. **Geomorphology, mineralogy and genesis of four soils on gneiss in Southeastern Brazil**. West Lafayette: Purdue University, 1980. 143p. (Tese de Doutorado).

RIBEIRO, G. A. A. **Produção e teor de nutrientes da liteira fina de capoeiras em Terra Preta de Índio e solos adjacentes**. Manaus, 2006. 98f. Dissertação (Mestrado em Agricultura no Tropicó Úmido) – Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas/Universidade Federal do Amazonas. 2006.

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

SANTOS, L. A. C. ; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C.; SILVA, D. M. P; MARQUES JUNIOR, J.; FRANCA, A. B. C. Caracterização e gênese de terras pretas arqueológicas no sul do Estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 825-836, 2013.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; ANJOS, L.H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5. ed. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SCHULZE, D. G. The influence of aluminium on iron oxides VIII. Unit-cel dimension of Al-substituted of goethites and estimation of Al from them. **Clays Clay Minerals**, New York, v. 32, p. 36-44, 1984.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments**.2.ed. Madison: SSSA, 1989. p.379-438. (Book Series, 1).

SCHWERTMANN, U.; KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. **Soil Scientia**, v.139, n.4, p.344-50, 1985.

SCHWERTMANN, U.; FITZPATRICK, R. W.; TAYLOR, R. M.; LEWIS, D.G. The influence of aluminium on iron oxides. Part II: Preparation and properties of Al-substituted hematites. **Clays and Clay Minerals**, New York, v.27, p.105-12, 1979.

SDS - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Relatório técnico síntese dos diagnósticos: Área estadual sul de Apuí e Manicoré.** Manaus, 2004. 20p.

SILVA, A. K. T.; GUIMARÃES, J. T. F.; LEMOS, V. P.; COSTA, M. L.; KERN, D. C. **Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com Terra Preta Arqueológica de Bom Jesus do Tocantins, sudeste da Amazônia.** v. 42, p. 477 – 490, 2012.

SILVA, F. W. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; MOTTA, M. B.; SANTANA, R. M. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (terras pretas de índio) na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 673-681, 2011.

SILVA NETO, L. F.; INDA JUNIOR, A.V.; BAYER, C.; DICK, D. P.; TONIN, A. T. Óxidos de ferro em Latossolos tropical e subtropical brasileiros em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.32, p. 1873-1881, 2008.

SMITH, N. J. H. **Anthrosols and Human Carrying Capacity in Amazonia.** Annals of the Association of American Geographers, v. 70, p. 553-566, 1980.

SOMBROEK, W.G.; RUIVO, M.L.; FEARNside, P.M.; GLASER, B.; LEHMANN, J. Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: origin, properties, and management.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p.125-139.

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

TEIXEIRA, W.G. & MARTINS, G.C. Soil physical characterization. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B. & WOODS, W.I., eds. **Amazonian dark earths; origin, properties and management.** Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2003. p.271-286.

TORRENT, J.; BARRON, V. Laboratory measurements of soil color: theory and practice. In: BIGHAM, J. M.; CIOLKOSZ, E. J. (Ed) **Soil Color.** Soil Science Society of America, Special Publication, 1993. p. 21-33.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; SCHULZE, D. G. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. **Geoderma**, v.23, p.191-208, 1980.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; WEBSTER, R. Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible–near infrared spectra. **European Journal of Soil Science**, Baltimore, v. 62, p. 637-647, 2011.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; WALVOORT, D. J. J.; MCBRATNEY, A. B.; JANIK, L.J.; SKJEMSTAD, J.O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, Amsterdam, v.131, n. 1-2, p. 59-75, 2006.

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. El origen y persistencia de las tierras negras de la Amazonía. In: Hiraoka, M.; Mora, S. (Eds). **Desarrollo Sostenible en la Amazonía**, Abya Ayala, Quito, Ecuador. 2001. p. 23-30.

YOEMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**. v.19, p.1467-1476, 1988.

CAPÍTULO 3 – Caracterização de atributos físicos, químicos e biológicos em ambientes antropizados na região sul do Amazonas

RESUMO – As alterações nos atributos do solo, ocasionadas pela retirada da floresta original para uso agropecuário na região Amazônica, precisam ser investigadas, pois existem incertezas sobre os fatores que afetam o processo de uso e ocupação do solo, principalmente em solos tropicais. O objetivo do estudo foi caracterizar atributos físicos, químicos e biológicos em ambientes antropizados na região sul do Amazonas. Este trabalho foi conduzido em cinco malhas na região sul do Amazonas, sendo elas compostas de floresta, Terra Preta Arqueológica (TPA), agrofloresta, mandioca e cana-de-açúcar. Foram feitas medidas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo, sendo caracterizadas pontualmente e também realizadas análises físicas e químicas do solo, na profundidade de 0,0-0,20 m. Foram realizados teste de média, análises estatísticas descritivas, geoestatística e análise multivariada nos dados obtidos. A análise de componente principal confirmou a distinção dos ambientes evidenciados pelo coeficiente de variação, dependência espacial e medidas de alcance. A área com maior variabilidade dos atributos físicos foi a mandioca e a agrofloresta; dos químicos, foi a agrofloresta e a cana-de-açúcar, e da emissão de CO₂ foi a TPA. A caracterização dos atributos físicos, químicos e biológicos em ambientes antropizados, na região sul do Amazonas, mostrou que os ambientes mandioca e cana-de-açúcar são os que mais se aproximam do ambiente natural Floresta. Assim, os manejos que mais contribuíram para o aumento da variabilidade dos atributos em relação à variabilidade natural da floresta foram TPA e agrofloresta.

Palavras-chave: ambientes amazônicos; floresta; terra preta arqueológica; geoestatística; multivariada.

3.1 INTRODUÇÃO

As florestas nativas possuem fundamental importância para a biodiversidade e proteção de solos e água (SHORUPA et al., 2012). No entanto, as ações antrópicas vêm alterando os atributos do solo. Estas alterações são atribuídas a diversos fatores, tais como exploração agrícola, pecuária e principalmente florestal (COHEN et al., 2007). Neste sentido, à medida que o uso e a ocupação da área ocorrem sem a observância de critérios técnicos, há também a crescente degradação dos recursos naturais (LIMA et al., 2009; ROCKSTROM, 2009).

Nos ambientes florestais, notadamente aqueles sob solos de baixa fertilidade natural (LOUREIRO, 2002; CARDOSO et al., 2009), como é o caso da maioria dos ambientes amazônicos, as alterações dos ecossistemas naturais, por meio da retirada da cobertura vegetal, promovem o rompimento do equilíbrio natural do ecossistema, ocorrendo modificações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (WENDLING et al., 2012). Desse modo, o solo que é mantido em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas, como densidade, porosidade, agregação e permeabilidade, consideradas adequadas (ANDREOLA et al., 2000). Entretanto, quando o solo é submetido ao processo produtivo, as características físicas sofrem alterações (NEVES et al., 2007), tornando-se fundamental a avaliação dessas características após a introdução de atividades de caráter antrópico (BERTOL et al., 2001).

Com o intuito de avaliar o impacto causado pelo uso e ocupação do solo de maneira quantitativa, alguns pesquisadores têm utilizado a geoestatística (MONTANARI et al., 2012; SILVA JÚNIOR et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013) e a análise multivariada (FREITAS et al., 2012; MARQUES JÚNIOR et al., 2014). A geoestatística tem sido utilizada como ferramenta para auxiliar na caracterização do padrão de variabilidade de atributos físicos (OLIVEIRA et al., 2013), químicos (AQUINO et al., 2014), mineralógicos (CAMARGO et al., 2013) e biológicos do solo (TEIXEIRA et al., 2013). Muitos estudos utilizam o parâmetro alcance do semivariograma para definir planos amostrais (MONTANARI et al., 2005; 2012). Porém, são escassos os trabalhos que comparam o parâmetro alcance de atributos dos solos de áreas nativas, com o parâmetro alcance de atributos dos solos de áreas modificadas e ocupadas pelo homem. Esse tipo de comparação pode

preencher uma lacuna na literatura sobre o input de variabilidade ou de homogeneização causado pelo uso e ocupação do solo, em relação à variabilidade natural, intrínseca ao solo, causada pelos fatores e processos de formação.

Outra ferramenta com potencial para estudos exploratórios de caracterização é a análise de componentes principais (ACP). Essa ferramenta pode auxiliar na investigação de quais atributos físicos, químicos, biológicos e mineralógicos de solos são limitantes ao desenvolvimento vegetal (GOMES et al., 2004; SILVA et al., 2010; CHERUBIN et al., 2011; NOGARA NETO et al., 2011; SANTI et al., 2012; BAHIA, 2013), ou sofreram maiores alterações pelo uso e pela ocupação do solo, podendo ser utilizada como pedoindicadoras da transformação dos ambientes antropizados em relação aos ambientes naturais.

Neste sentido, considerando a importância da caracterização dos atributos do solo nos ambientes da região Amazônica, o objetivo do estudo foi a caracterização de atributos físicos, químicos e biológicos em ambientes antropizados, na região sul do Amazonas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da área e plano de amostragem

O estudo foi realizado em propriedades rurais, localizadas ao sul do Estado do Amazonas, nas imediações da comunidade Santo Antônio de Matupi, região de Manicoré-AM, e no município de Humaitá-AM, sendo realizado o mapeamento de cinco áreas em ambientes amazônicos: solo com Terra Preta Arqueológica (TPA), solo em ambiente natural ou floresta, solo em ambiente de agrofloresta, solo cultivado com mandioca e solo cultivado com cana-de-açúcar (Figura 1).

A área de TPA situada nas coordenadas geográficas 07° 55' 02,1" S e 61° 31' 45,2" W, com altitude média de 102 m, está sob cultivo de milho, com aproximadamente 120 dias após o plantio. Contígua à área de TPA, encontra-se a área de floresta, sob coordenadas 7°54'44,5" S e 61°31'44,7" W, com altitude média de 140 m, que é caracterizada por apresentar fragmento de Floresta Tropical Densa, formada por árvores de 20 a 50 m de altura. A área de agrofloresta localiza-se sob as coordenadas 7°28'29"S e 63°02'07" W, com altitude média de 63 m, sendo cultivada com café, cacau, palmeiras, andiroba, dentre outras espécies, visando à

recuperação natural da área que se encontra em degradação devido ao uso intenso agrícola sem um manejo adequado do solo. A área com cultivo de mandioca situa-se nas coordenadas $7^{\circ} 30' 24''$ S e $63^{\circ} 04'56''$ W, com cultivo de aproximadamente 5 anos, e a área de cana-de-açúcar sob coordenada $7^{\circ}54'38''$ S e $63^{\circ}14'27''$ W, altitude média de 70 m com cultivo de cana queimada, por aproximadamente 10 anos de uso, ambas localizadas na região de Humaitá-AM (Figura 1).

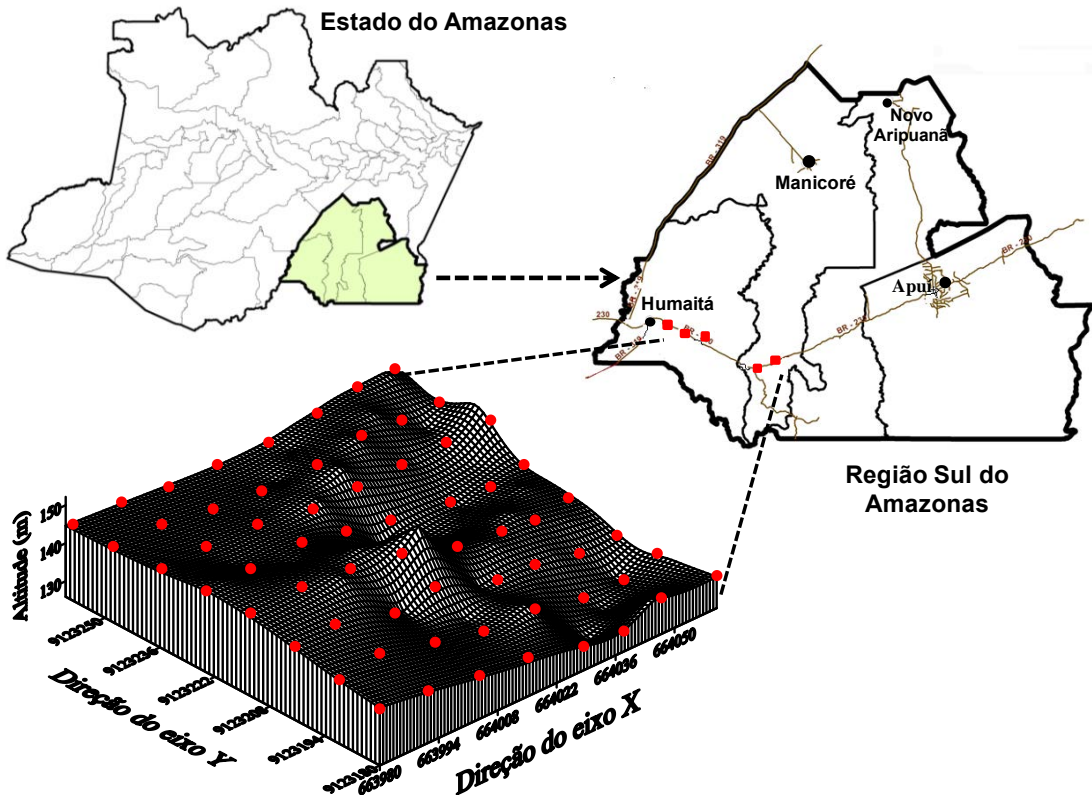


Figura 1. Mapa de localização e esquema de amostragem do solo nas áreas estudadas, na região sul do Amazonas.

As áreas localizadas na região de Manicoré-AM, apresentam solos desenvolvidos a partir de granitos Rondonianos oriundos do Pré-Cambriano Superior. Já nas áreas localizadas na região de Humaitá-AM, o material de origem é proveniente dos sedimentos aluviais antigos, que são cronologicamente oriundos do Holoceno (BRASIL, 1978). O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo tropical chuvoso, com um período seco de pequena duração (Am), e temperaturas variando entre 25°C e 27°C , e com precipitações pluviais entre 2.250 e 2.750 mm, com chuvas concentradas no período de outubro a junho

(BRASIL, 1978). Os solos foram classificados, na região do município de Manicoré, como Argissolo e, na região de Humaitá, como Cambissolo (EMBRAPA, 2013).

Na amostragem do solo foram estabelecidas malhas com espaçamentos regulares de 10 metros, perfazendo um total de 64 pontos, com dimensões de 70 x 70 m em cada malha, abrangendo 0,49 hectare (Figura 1).

3.2.2. Análise dos atributos do solo

Nas amostras deformadas, coletadas na profundidade de 0,0-0,20 m, foi determinada a análise granulométrica, realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação, por 15 minutos, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997).

As amostras de solo com estrutura preservada, coletadas em anel volumétrico na profundidade 0,0-0,20 m, foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do anel, para a determinação da porosidade total (Pt), obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 105° C, durante 24 h. Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, obteve-se a macroporosidade. A densidade do solo (Ds) foi calculada pela relação entre a massa seca a 105 °C, durante 24 h, da amostra de solo do cilindro volumétrico e o volume do mesmo cilindro (EMBRAPA, 1997).

O pH foi determinado potenciométricamente, utilizando-se da relação 1:2,5 de solo em água (EMBRAPA, 1997). O fósforo disponível (P) foi extraído, utilizando-se do método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1987). A matéria orgânica (MO) foi estimada com base no carbono orgânico. Utilizando resultados das análises químicas, foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%).

A emissão de CO₂ do solo foi registrada com um sistema automatizado portátil de fluxo de CO₂ do solo LI-COR (LI-8100). Em seu modo de medição, o sistema LI-8100 monitora as mudanças na concentração de CO₂ dentro da câmara, por meio de espectroscopia, na região do infravermelho (IRGA Infrared Gas Analyzer). A câmara para solos tem um volume interno de 854,2 cm³, com área de contato de 83,7 cm², e foi colocada sobre colares de PCV previamente inseridos no

solo, a uma profundidade de 0,03 m. A temperatura do solo foi monitorada concomitantemente às avaliações de respiração do solo, utilizando-se de um sensor de temperatura, que é parte integrante do sistema ao LI-8100. Tal sensor consiste em uma haste de 0,2 m, que é inserida no interior do solo, na região próxima ao local onde foram instalados os colares de PVC. A umidade do solo foi registrada, utilizando-se de um aparelho TDR (Time Domain Reflectometry) - Campbell® (Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália). Para o estudo da variabilidade espacial, onde as avaliações foram realizadas nos 64 pontos em cada gradeado, as medidas foram realizadas no mês de janeiro, ambas no período da manhã das 7 às 10 horas.

3.2.3. Análise dos dados

Os dados foram submetidos a análises de variância (ANOVA), e as médias, comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade realizados no software estatístico Minitab (MINITAB, 2000), para verificar a diferença dos atributos estudados entre os ambientes.

Foi realizada análise exploratória dos dados, calculando-se média, mediana, mínimo, máximo e coeficiente de variação. O coeficiente de variação (CV%) foi calculado com base no critério de Warrick e Nielsen (1980), que classifica o CV como baixo < 12%, médio de 12% a 24% e alto > 24%.

Para a caracterização da variabilidade espacial, utilizou-se da análise geoestatística. Sob teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi estimado pela equação:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Em que: $\gamma(h)$ - valor da semivariância para uma distância h ; $N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$, são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para uma distância maior do que zero e menor do que a menor distância de amostragem, e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor

constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (TRANGMAR et al., 1985).

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se do exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o melhor R^2 (coeficiente de determinação). Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos em estudo, utilizou-se da classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados como dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca quando for maior que 75%.

Os dados foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), tendo o intuito de sumarizar os valores obtidos dos atributos estudados dos diversos ambientes. Assim, a maior parte da variância dos dados foi atribuída ao 1º e 2º componentes principais (PC), porém o critério utilizado na escolha dos componentes principais a serem interpretados foi o percentual da variância explicada de cada atributo.

Desta forma, o conjunto inicial de 13 variáveis passou a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes (CP1 e CP2), o que possibilitou sua localização em figuras bidimensionais (ordenação dos acessos por componentes principais). A adequação desta análise é verificada pela informação total das variáveis originais, retida nos componentes principais que mostram autovalores superiores à unidade, ou autovalores inferiores não dispendo de informação relevante. Todas as análises estatísticas multivariadas foram processadas no software STATISTICA versão 7.0 (STATSOFT, 2004).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Estatística descritiva e teste de médias

Encontra-se na Tabela 1 o resultado da comparação de médias dos atributos estudados. Nos atributos biológicos, o valor médio de emissão de CO_2 no solo (FCO_2), na floresta e na Terra Preta Arqueológica (TPA), não se diferenciou,

enquanto para os demais ambientes (agrofloresta, mandioca e cana-de-açúcar) apresentou diferenças nas médias, sendo observados na floresta valores de $7,00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto a TPA apresentou valor médio de FCO_2 de $7,59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabela 1). Estes valores encontrados na floresta são superiores aos obtidos por Xu e Qi (2001), que encontraram altos valores de emissão de CO_2 em estudos realizados em solos de florestas ($4,7$; $3,4$ e $4,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A agrofloresta também se diferenciou em relação aos demais ambientes, apresentando um valor de média menor que a floresta e TPA, e superior à mandioca e à cana-de-açúcar.

A umidade do solo (Us) apresentou diferença nas médias, em todos os ambientes. Já para a temperatura do solo (Ts), a floresta diferenciou-se de todos os ambientes, com exceção do ambiente da cana-de-açúcar (Tabela 1). Trabalhos indicam que as variações temporais da emissão de CO_2 do solo podem ser atribuídas às variações nos teores de água e temperatura do solo (TEDESCHI et al., 2006; KOSUGI et al., 2007; OHASHI; GYOKUSEN, 2007). No entanto, as variações espaciais da respiração do solo são, comumente, relacionadas a fatores físicos, químicos, mineralógicos e biológicos do solo (DILUSTRO et al., 2005; PANOSSO et al., 2011; HERBST et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2012; BAHIA, 2013). Os resultados indicam que, os maiores valores de temperatura e umidade do solo, observados na floresta e TPA, estão relacionados aos maiores valores emitidos de FCO_2 nesses locais, quando comparados aos demais ambientes.

Nos atributos físicos, o ambiente de floresta para a densidade do solo (Ds) apresentou diferença estatística somente de TPA e mandioca. Já na macroporosidade (macro), somente a TPA não se diferenciou da floresta, tendo destaque para esta variável a agrofloresta que apresentou diferença estatística de todos os ambientes, com valores de média muito abaixo dos demais ambientes, possivelmente, devido ao elevado teor de argila. Na porosidade total (PT), os maiores valores foram encontrados na TPA, que se diferenciou dos demais ambientes, inclusive a floresta, que apresentou similaridade com a mandioca. A argila da agrofloresta distinguiu-se dos demais ambientes, com teores elevados, e o ambiente de mandioca e cana-de-açúcar foram similares (Tabela 1).

Em relação aos atributos químicos, a floresta no pH diferenciou-se estatisticamente de TPA, agrofloresta e cana-de-açúcar, mas os valores

Tabela 1. Teste de média e estatística descritiva dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo na profundidade de 0-0,20 m, em diferentes ambientes na região sul do Amazonas.

Var	FCO ₂ μmol m ⁻² s ⁻¹	Us %	Ts °C	Ds mg m ⁻³	Macro m ³ m ⁻³	PT %	Argila g kg ⁻¹	PH	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	SB mmol kg ⁻¹	CTC	V %
Floresta													
Média	7,00a	17,50c	25,28b	1,30ab	21,43a	41,28b	327,94b	3,97c	18,65c	6,09b	8,94c	83,86e	11,10b
Mediana	5,96	16,50	25,28	1,31	21,55	41,23	324,92	3,90	20,50	5,50	7,05	93,95	8,38
CV	46,75	28,20	0,96	5,98	15,05	7,55	12,67	4,79	35,29	36,13	69,08	26,16	68,41
Mín	2,58	9,00	24,73	1,10	12,80	33,94	233,60	3,70	6,00	2,00	3,30	39,50	5,38
Max	17,58	29,00	25,99	1,42	29,45	51,37	439,56	4,60	31,00	10,00	41,20	115,80	49,52
Terra Preta Arqueológica (TPA)													
Média	7,58a	21,03b	26,79a	0,88d	22,04a	50,47a	121,50d	6,27a	68,19a	309,40a	197,19a	225,49d	87,20a
Mediana	7,04	21,00	26,63	0,88	22,79	50,95	120,00	6,20	68,00	298,5	195,2	227,65	86,79
CV	31,79	24,90	2,53	9,40	37,82	12,76	35,01	4,71	19,86	27,93	14,80	12,30	4,11
Mín	3,32	12,00	25,64	0,61	0,81	30,81	42,90	5,70	29,00	165,00	103,80	128,80	78,12
Max	16,02	37,00	28,94	1,04	47,52	75,68	250,30	7,10	94,00	547,00	252,60	274,40	93,66
Agrofloresta													
Média	3,86b	31,01a	24,10c	1,31a	3,16d	33,87d	549,09a	3,77d	20,57c	8,18b	11,93c	561,03a	2,15c
Mediana	3,19	32,00	24,00	1,30	2,70	34,40	558,87	3,80	20,50	8,00	12,00	573,87	2,12
CV	59,61	12,31	6,70	7,21	52,26	9,20	11,93	1,53	15,48	18,96	16,54	11,75	18,63
Mín	1,21	23,00	21,00	1,07	0,92	26,65	402,00	3,60	14,00	6,00	9,00	415,00	1,39
Max	17,19	37,00	27,00	1,58	9,28	39,02	680,00	3,90	30,00	13,00	18,00	693,00	3,13
Mandioca													
Média	2,80c	7,17e	24,10c	1,15c	12,93b	40,42b	282,40c	3,91c	27,68b	6,03b	9,79c	292,20c	3,47c
Mediana	2,59	7,00	24,00	1,16	13,11	40,54	272,00	3,90	28,00	6,00	9,50	282,80	3,30
CV	23,12	25,88	6,70	6,28	26,20	6,12	20,75	1,57	17,30	15,62	17,84	20,01	29,92
Mín	1,74	4,00	21,00	0,99	5,64	34,37	104,80	3,80	19,00	3,00	7,00	115,80	1,34
Max	4,88	13,00	27,00	1,36	22,65	45,43	662,90	4,10	40,00	8,00	18,00	671,90	9,50
Cana-de-açúcar													
Média	2,88bc	13,53d	25,81b	1,26b	7,02c	36,16c	284,94c	4,42b	30,48b	6,35b	29,00b	313,94b	9,26b
Mediana	2,67	13,00	26,00	1,28	6,00	35,33	287,98	4,50	30,50	7,00	29,00	318,85	9,20
CV	23,07	27,49	8,56	6,71	59,02	9,01	9,99	3,39	20,51	24,64	24,63	9,37	24,83
Mín	2,00	7,00	21,00	1,05	0,47	31,83	202,12	3,90	11,00	3,00	12,00	229,12	4,64
Max	4,35	22,00	29,00	1,50	21,93	50,22	347,68	4,70	47,00	10,00	51,00	373,68	17,25

N= 64; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de *Tukey*, ao nível de 1% de probabilidade; Min = mínimo; Max = máximo; CV = coeficiente de variação; FCO₂ = emissão de CO₂ do solo; Ts = temperatura do solo; Us = umidade do solo; Ds = densidade do solo; Pt = porosidade total; Macro = macroporosidade; MO = teor de matéria orgânica; P = fósforo disponível; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V%= saturação de bases.

encontrados nos ambientes antropizados enquadram-se como muito baixos, o que os caracteriza com uma acidez elevada, sendo exceção somente a área com TPA, que contém valor médio de 6,27. Já na MO, a floresta não se diferenciou da agrofloresta, provavelmente por a agrofloresta ser composta por um ambiente similar ao de uma floresta natural, e já o P não se diferenciou em nenhum dos ambientes, com exceção da TPA, que contém elevadas concentrações de P de origem orgânica. Seguindo essa tendência, a SB na floresta apresentou diferença para a TPA e cana-de-açúcar, e a V% diferenciou-se da TPA, agrofloresta e mandioca. A CTC em todos os ambientes apresentou diferença estatística em suas médias com valores muito elevados (Tabela 1). Esta característica da CTC, elevada é um comportamento comum nos solos da região, que está diretamente relacionado aos elevados valores de acidez potencial nestes solos (CAMPOS et al., 2012).

Em estudos da conversão da floresta na Amazônia Oriental por pastagens de capim-mombaça, Neves Neto et al. (2012) verificaram influência na maioria das características químicas e físicas do Latossolo Amarelo Distrófico típico. Outros autores também evidenciaram mudanças na conversão floresta ao uso na agropecuária (CORREA; REICHARDT, 1995; MULLER et al., 2001; SALIMON et al., 2007; FARIA et al., 2010).

Na área com TPA, principalmente nos atributos químicos, foi observado diferença para os demais ambientes, contendo valores sempre superiores de pH, MO, P, SB e V%. Este comportamento pode ser justificado pela sua característica antrópica, que influencia na adição de teores nutricionais mais elevados em relação às demais áreas antropizadas recentemente e de floresta. Estas características são observadas por outros autores que trabalharam com TPAs na região Amazônica (MOREIRA, 2006; CAMPOS et al., 2011; BARROS et al., 2012; SANTOS et al., 2013).

As medidas de tendência central média e mediana evidenciaram, nos atributos biológicos, assimetria positiva leve na maioria dos ambientes com a Ts apresentando, em sua maioria, valores simétricos. Já nos atributos físicos, a Ds apresentou valores simétricos em todos os ambientes, leve assimetria foi apresentado por macro e Pt na mandioca e cana-de-açúcar, com o ambiente de floresta e TPA apresentado valores simétricos. A argila apresentou assimetria em

todos os ambientes, possivelmente devido à grande variação deste atributo nestes ambientes. Nos atributos químicos, somente o pH apresentou simetria, e já nos demais houve predomínio de assimetria positiva de grau leve (Tabela 1). Oliveira et al. (2013), estudando atributos físicos do solo, e Aquino et al. (2014), estudando atributos químicos, ambos na região sul do Amazonas, verificaram valores simétricos ou com leve assimetria nestes atributos.

O coeficiente de variação (CV) observado nos atributos biológicos para a FCO_2 foi de 46,47%, 31,79% e 59,61% para a floresta, TPA e Agrofloresta, respectivamente (Tabela 1), valores estes classificados como CV alto, enquanto a área com mandioca e cana-de-açúcar apresentou valores de 23,12% e 23,07%, respectivamente, considerados como CV médio (WARRICK; NIELSEN, 1980). Estes resultados são semelhantes aos encontrados em diversos estudos (SCHWENDENMANN et al., 2003; EPRON et al., 2004; TEDESCHI et al., 2006; KONDA et al., 2008). A Us apresentou, em todos os ambientes, CV alto, com exceção da área de agrofloresta com CV médio. Já na Ts, em todas as áreas estudadas, o CV encontrado foi o baixo, indicando variabilidade baixa da Ts nestas áreas (Tabela 1).

Em relação aos atributos físicos, a Ds apresentou CV baixo em todos os ambientes, e na Pt somente a TPA se enquadrou com CV médio. A macro na floresta apresentou CV médio, enquanto nos demais ambientes foi encontrado CV alto. Para a argila na floresta e mandioca, o CV foi médio, na TPA CV alto, e na área com agrofloresta e cana-de-açúcar o CV encontrado foi o baixo. Nos atributos químicos, a floresta, com exceção do pH em que predominou o CV baixo em todos os ambientes, os demais atributos apresentaram CV alto, e nos demais ambientes o que predominou foi o CV médio (Tabela 1). Estes resultados concordam com os resultados de Oliveira et al. (2013) e Aquino et al. (2014).

Segundo Camargo et al. (2008), a medida estatística CV permite comparar a variabilidade entre amostras de variáveis com unidades diferentes, porém não permite analisar a variabilidade espacial dos atributos do solo nem seu padrão espacial. Sendo assim, a variabilidade dos atributos que é observada neste estudo justifica a análise da dependência espacial, o que facilita o entendimento do padrão de ocorrência desses atributos. Carvalho et al. (2003) afirmam que os resultados de

análises de atributos do solo costumam apresentar valores altos de coeficiente de variação.

Quanto à variação do aumento ou diminuição do CV nos ambientes antropizados em relação ao ambiente natural à floresta, verificou-se nos atributos biológicos para a FCO_2 que a antropização dos ambientes mandioca e cana-de-açúcar promoveu redução de 102% e 103% da variabilidade. Este resultado está associado à homogeneização da MO nesses ambientes, que reduziu sua variabilidade de 72% a 104%. Na agrofloresta, houve comportamento inverso, a antropização promoveu aumento de 22% em sua variabilidade, provavelmente por ser um ambiente que está regenerando-se de forma natural e na TPA, em que tem uma herança antropogênica houve redução de 47% em sua variabilidade.

Em relação aos atributos físicos do solo, expressa por Ds, Macro, PT e argila, a antropização promoveu aumento de 5 a 75% de variabilidade. Esta variação pode estar relacionada à maior sensibilidade dos atributos físicos quando submetidos ao uso intenso, que é o caso dos cultivos para fins agrícolas, que promovem o revolvimento de sua camada superficial e/ou compactação pelo uso intenso. Os ambientes de TPA e agrofloresta apresentam a maior variação do CV nos atributos físicos (17-71%).

Os atributos químicos foram os que apresentaram a maior variação do CV do ambiente de floresta para o antropizado, com redução em sua variação. No pH, a variação promovida pela antropização foi de 2% a 213%. A MO variou de 72% a 128%, e o P de 29% a 121%. Nos atributos SB, CTC e V%, ocorreram as maiores variações, que foram de 31% a 1564%. Seguindo o mesmo comportamento encontrado nos atributos físicos, o ambiente de TPA e de agrofloresta foi o que apresentou a maior variação. Os atributos químicos são mais sensíveis a mudanças no ambiente, favorecendo, portanto, a maior variação desses atributos.

3.3.3 Análise geoestatística

Na análise geoestatística das áreas estudadas, as variáveis FCO_2 na floresta; Us, pH e V% na TPA; Us, argila, pH, MO, SB e V% na agrofloresta; argila, CTC e V% na mandioca, e FCO_2 na cana-de-açúcar, apresentaram efeito pepita puro (EPP) (Tabela 1). Neste caso, quando a variável estudada é independente espacialmente, seu C_0 (efeito pepita) é igual a $C_1 + C_0$ (patamar), conhecido como efeito pepita puro

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo na profundidade de 0-0,20 m, em diferentes ambientes na região sul do Amazonas.

Var	FCO ₂ μmol m ⁻² s ⁻¹	Us %	Ts °C	Ds mg m ⁻³	Macro m ³ m ⁻³	PT %	Argila g kg ⁻¹	PH	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	SB mmol kg ⁻¹	CTC	V %
Floresta													
Modelo	EPP	Exp	Exp	Esf	Exp	Esf	Exp	Esf	Esf	Esf	Exp	Esf	Exp
EP (C ₀)	-	8,70	0,01	0,01	2,27	1,22	0,01	0,01	7,60	0,70	1,52	75,00	3,70
Patamar (C ₀ +C ₁)	-	25,73	0,06	0,02	13,31	9,91	0,02	0,03	51,27	3,81	13,87	598,00	14,62
Alcance (a)	-	32,10	26,10	29,70	18,30	18,00	17,30	38,70	63,50	25,10	48,00	73,00	35,70
[C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	-	66,00	75,00	83,00	82,00	87,00	81,00	31,00	14,00	18,00	11,00	12,00	25,00
R ²	-	0,92	0,96	0,73	0,66	0,86	0,94	0,97	0,98	0,59	0,96	0,98	0,76
Terra Preta Arqueológica (TPA)													
Modelo	Exp	EPP	Gau	Exp	Esf	Exp	Exp	EPP	Exp	Exp	Exp	Exp	EPP
EP (C ₀)	1,33	-	0,12	0,01	44,31	6,36	306,50	-	8,90	10,00	19,00	132,35	-
Patamar (C ₀ +C ₁)	6,32	-	1,19	0,02	59,47	22,86	1612,00	-	183,70	5467,00	825,80	735,70	-
Alcance (a)	28,20	-	65,00	58,02	30,68	23,70	19,80	-	33,00	21,30	22,50	22,50	-
[C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	78,00	-	89,00	49,00	25,00	72,00	99,00	-	95,00	99,00	97,00	82,00	-
R ²	0,83	-	0,97	0,90	0,81	0,87	0,95	-	0,89	0,80	0,71	0,87	-
Agrofloresta													
Modelo	Esf	EPP	Exp	Esf	Exp	Esf	EPP	EPP	EPP	Esf	EPP	Esf	EPP
EP (C ₀)	0,80	-	0,55	0,06	1,21	3,51	-	-	-	0,08	-	93,70	-
Patamar (C ₀ +C ₁)	2,51	-	2,66	0,08	2,50	8,50	-	-	-	2,47	-	282,30	-
Alcance (a)	14,30	-	15,30	45,50	61,18	67,90	-	-	-	64,64	-	52,50	-
[C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	96,00	-	79,00	27,00	50,00	58,00	-	-	-	96,00	-	67,00	-
R ²	0,71	-	0,69	0,96	0,99	0,98	-	-	-	0,95	-	0,96	-
Mandioca													
Modelo	Esf	Exp	Exp	Esf	Exp	Esf	EPP	Exp	Esf	Esf	Exp	EPP	EPP
EP (C ₀)	0,10	0,82	0,62	0,00	4,20	2,78	-	0,00	2,12	0,02	0,30	-	-
Patamar (C ₀ +C ₁)	0,41	3,39	2,65	0,04	8,82	5,05	-	0,00	22,62	0,91	1,79	-	-
Alcance (a)	14,20	14,10	17,70	66,94	65,40	37,63	-	21,30	22,70	20,60	18,60	-	-
[C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	75,00	75,00	76,00	32,00	52,00	45,00	-	80,00	90,00	97,00	82,00	-	-
R ²	0,74	0,93	0,76	0,82	0,91	0,95	-	0,83	0,91	0,91	0,76	-	-
Cana-de-açúcar													
Modelo	EPP	Esf	Gau	Esf	Exp	Esf	Esf	Esf	Exp	Esf	Esf	Exp	Esf
EP (C ₀)	-	2,15	2,29	0,01	5,13	0,01	105,37	0,01	8,11	0,26	0,01	34,04	0,02
Patamar (C ₀ +C ₁)	-	14,32	6,70	0,02	8,35	0,02	498,80	0,02	40,40	2,34	0,07	174,30	0,12
Alcance (a)	-	15,40	68,41	61,50	8,80	5,80	6,90	17,40	26,10	33,00	18,50	26,70	13,90
[C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	-	85,00	65,00	43,00	38,00	70,00	78,00	77,00	79,00	88,00	77,00	80,00	75,00
R ²	-	0,74	0,98	0,95	0,76	0,60	0,84	0,83	0,97	0,77	0,81	0,97	0,81

C₀ = Efeito Pepita; C₀+C₁ = Patamar; GDE: grau de dependência espacial; R² = Coeficiente de determinação; Exp = exponencial; Esf = esférico; Gau = gaussiano; EPP = efeito pepita = puro.

(EPP). O EPP é importante e indica distribuição casual, ou seja, variabilidade não explicada ou variação não detectada, e pode ocorrer devido a erros de medidas, erros de amostragem, ou microvariação não detectada, considerando ser o espaçamento de amostragem utilizado maior que o necessário para detectar dependência espacial (CAMBARDELLA et al., 1994).

O modelo de semivariograma esférico e exponencial foi o que predominou nos ambientes estudados (Tabela 1), estando de acordo com os resultados de Cajazeira e Assis (2011) e Vieira et al. (2011). Para pesquisadores como Trangmar et al. (1985), Cambardella et al. (1994), Carvalho et al. (2003) e Cavalcante et al. (2007), os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos do solo e da planta. Os modelos exponenciais são mais bem ajustados a fenômenos erráticos na pequena escala, enquanto os modelos esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos erráticos na curta distância (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Stoyan et al. (2000) ajustaram modelos exponenciais para os semivariogramas calculados para respiração do solo em áreas de vegetação arbustiva e trigo. A maioria dos modelos de variabilidade espacial da emissão de CO₂ tem sido descrita por modelos esféricos (DASSELAAR et al., 1998; LA SCALA et al., 2000; ISHIZUKA et al., 2005; KOSUGI et al., 2007; KONDA et al., 2008), outros autores evidenciaram uma alternância entre modelos esféricos e exponenciais (TEDESCHI et al., 2006; OHASHI; GYOKUSEN, 2007), resultados semelhantes aos observados no presente estudo.

A dependência espacial (DE) dos atributos foram classificados segundo critérios de Cambardella et al. (1994). Nos atributos biológicos, o FCO₂ foi classificado com DE fraca, concordando com estudos de Ishizuka et al. (2005). A Us apresentou, na floresta, DE moderada, e nas demais, DE fraca. Já a Ts apresentou DE moderada na floresta e cana-de-açúcar e, nos demais ambientes, a DE foi fraca (Tabela 1).

Os atributos físicos do solo apresentaram, na floresta, fraca DE, enquanto nos demais ambientes, a DE foi moderada, com exceção da argila, que apresentou fraca DE em todos os ambientes. Já nos atributos químicos, a floresta apresentou forte DE, com exceção do pH e V%, que apresentaram moderada DE e, nos demais ambientes, o que predominou foi a DE forte. Shorupa et al. (2012) encontraram DE

variando de moderada a fraca em atributos do solo sob vegetação nativa em Minas Gerais. Usualmente, a forte dependência espacial dos atributos do solo é atribuída aos fatores intrínsecos, ao passo que aos extrínsecos atribui-se fraca dependência (CAMBARDELLA et al., 1994). Portanto, a dependência espacial moderada e fraca seria devido à homogeneização do solo nos diferentes sistemas de uso e manejo (CAVALCANTE et al., 2007).

O alcance pode fornecer informações a respeito da heterogeneidade da distribuição espacial em relação às propriedades estudadas, em cada sistema de manejo (TRANGMAR et al., 1985). Os valores de alcance nos ambientes de TPA, agrofloresta e mandioca, nos atributos biológicos para a FCO_2 , foram 28,20; 14,30 e 14,20, respectivamente (Tabela 1). O valor observado de alcance na área de TPA em relação aos demais ambientes indica uma distribuição ligeiramente mais homogênea. Os valores de alcance dos modelos de variabilidade espacial da emissão de CO_2 têm apresentado variações entre as estações do ano (OHASHI; GYOKUSEN, 2007), os meses (STOYAN et al., 2000) e após eventos de precipitação (LA SCALA et al., 2000). Kosugi et al. (2007) encontraram alcances para a respiração do solo variando de 4,4 m em período chuvoso para 7,9 m e 14,1 m em período seco, com valores de alcance para umidade do solo variando de 5,3 m no período seco e 16,6 m no período chuvoso.

Nos atributos físicos, os valores de alcance na floresta e cana-de-açúcar indicam ambientes mais heterogêneos (6,90 a 18,30 m) nas variáveis macro, Pt e argila. Já na TPA, agrofloresta e mandioca, seus valores de alcance indicam um ambiente mais homogêneo (19,80 a 67,90 m). A Ds apresentou valores elevados em todos os ambientes. Já nos atributos químicos, os valores de alcance na floresta (25,10 a 70,0 m) foram superiores aos dos ambientes antropizados (17,40 a 64,64m), indicando que estes ambientes estão mais heterogêneos em relação ao ambiente de floresta (Tabela 1).

Os valores médios de alcance de todos os atributos (35,20 m; 32,47m; 48,76 m; 29,91 m; 25,20 m), nos ambientes de floresta, TPA, agrofloresta, mandioca e cana-de-açúcar, respectivamente, indicam distinção dos ambientes. A floresta e a TPA apresentaram valores médios de alcance próximos, assim como os ambientes de mandioca e cana-de-açúcar; estes, devido à similaridade no manejo do solo. Já o

elevado valor de alcance na agrofloresta está relacionado, provavelmente, ao sistema de manejo utilizado, que é feito com a reposição natural dos atributos do solo.

3.3.3 Análise estatística multivariada

A estrutura multivariada contida no conjunto inicial de dados foi avaliada pelo gráfico “scree plot” e análise de componente principal (ACP). O gráfico do “scree plot” (Figura 2) pode ser usado para a verificação da importância e contribuição de cada variável para a explicação da variância total. Esse gráfico, juntamente com os autovalores, pode ser utilizado para a tomada de decisão na quantidade de componentes que devem ser retidas para aplicação da análise de componente principal, bem como quais são os atributos com maior potencial para serem utilizados como pedoindicadores das alterações ambientais ou para caracterização de diferentes grupos.

As duas primeiras componentes explicam 82,14% da variância dos atributos nos ambientes. As variáveis que apresentaram o maior potencial para serem utilizadas como pedoindicadoras dos diferentes grupos, são a SB, V%, pH, CTC, FCO₂, MO e Us, que variaram de 7,53% a 6,05% (Figura 2). Estes valores estão relacionados à maior sensibilidade dos atributos a mudanças ocorridas pela forma de manejo nestes ambientes.

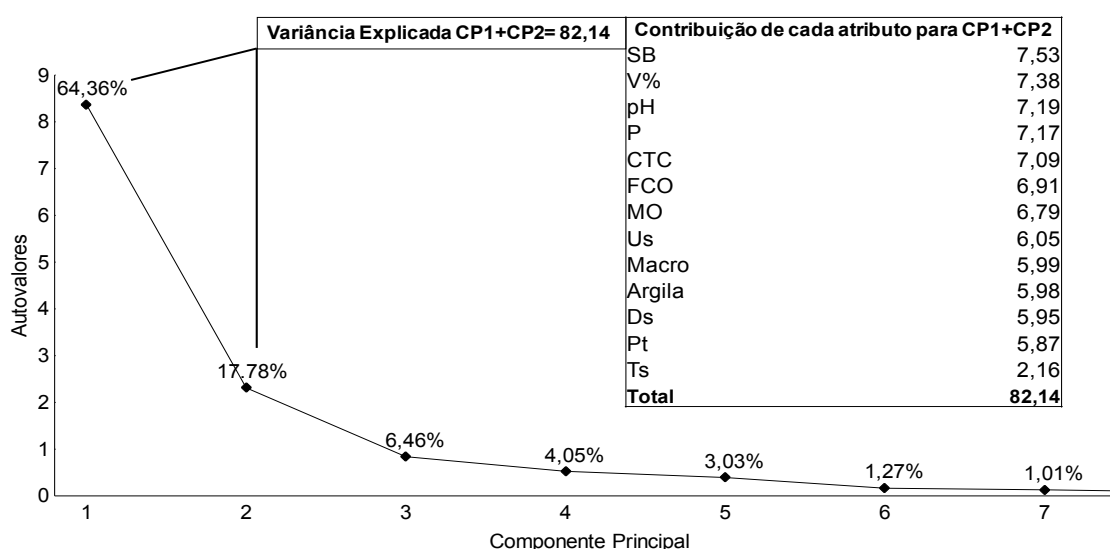


Figura 2. Proporção da variação no conjunto de dados explicada pelo componente principal (CP) e contribuição de cada variável para a explicação da variância total pelo método “scree plot” de atributos físicos, químicos e biológicos do solo, na profundidade de 0-0,20 m, em diferentes ambientes, na região sul do Amazonas.

A ACP foi utilizada para identificar o poder discriminatório das variáveis. Neste estudo, foram considerados os dois primeiros componentes principais, CP1 e CP2, cujos autovalores são superiores a 1 (KAISER, 1958), os quais conseguiram reter, em conjunto 82,14% da variabilidade das propriedades do solo; neste caso, estas duas componentes devem explicar, no mínimo, 70% da variância total, para se obter confiança na tomada de decisão. O CP1 explicou 64,36% da variância total das propriedades do solo, enquanto 17,78% foram explicados por CP2. O autovalor encontrado na CP1 foi de 8,36 e na CP2 2,31, reforçando, portanto, a escolha da CP1 e CP2. A representação gráfica biplot, que expressa correlação das variáveis com os componentes principais, indicou a formação de quatro grupos bem distintos (Figura 3).

O poder discriminatório de cada variável dentro do componente é medido pelas correlações lineares entre cada propriedade do solo (apresentadas em cada variável) e o respectivo componente principal. O grupo I, formado pela floresta, é o ambiente natural e apresenta características naturais que são distintas dos demais ambientes que sofreram a antropização (Figura 3).

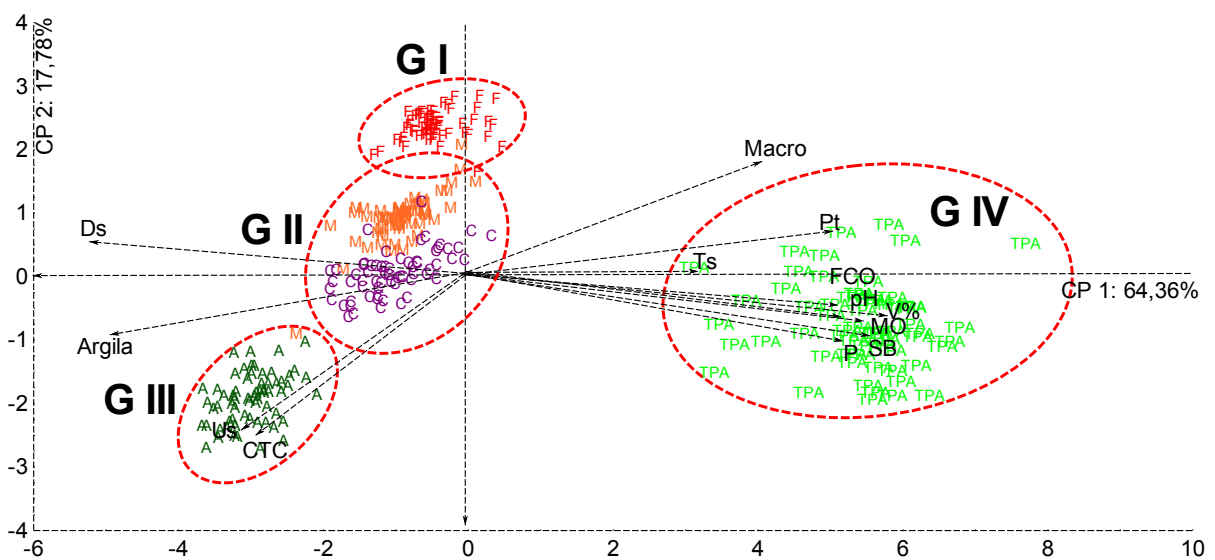


Figura 3. Gráfico Biplot dos componentes principais CP1 e CP2 da análise de componentes principais dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, na profundidade de 0-0,20 m, em diferentes ambientes, na região sul do Amazonas.

Às variáveis Ds (-0,865776) e Argila (-0,826436) apresentaram correlação com o CP1 e foram as responsáveis pela discriminação do grupo II formado por mandioca e cana-de-açúcar (Figura 3). Esta característica está relacionada ao

manejo mais intenso nestes ambientes, devido ao uso de máquinas agrícolas para o preparo do solo, adubação e colheita, afetando o aumento da Ds e também proporcionando a maior aproximação destes ambientes por apresentarem manejos idênticos, justificando a formação de um único grupo. Já a argila encontra-se ligada aos grupos II e III devido ao elevado teor encontrado nestes ambientes, principalmente na agrofloresta. Os ambientes que formam este grupo II são os que mais estão próximos do ambiente de floresta, devido à menor variabilidade, proporcionada pelo manejo que ocorre no solo durante todo o processo do cultivo agrícola de mandioca e cana-de-açúcar.

A Us (0,871249) e CTC (-0,832775) tiveram correlação com o CP1 e CP2 e discriminaram a área com agrofloresta, que formou o grupo III (Figura 3). O manejo da agrofloresta é distinto dos demais ambientes, tendo em vista que o modelo de implantação é a representação de um ambiente natural, com a inclusão no sistema de plantas de porte alto, médio, baixo e rasteiro, visando à recuperação natural do solo em locais degradados. Esta característica pode ter sido um fator crucial para sua distinção dos demais ambientes antropizados. Já o distanciamento da floresta pode estar relacionado à regeneração lenta das características intrínsecas do solo que possibilitaram maior aproximação com o ambiente natural.

Para o grupo IV, que apresentou correlação com a CP1 e CP2, as variáveis responsáveis por sua discriminação foram a Pt (0,847287), FCO₂ (-0,823351), pH (0,935219), V% (0,953819), MO (0,877744), SB (0,931631) e P (0,915063) (Figura 3). O grupo IV, representado por TPA, foi o que mais se distanciou da área com floresta e dos demais ambientes antropizados. A maior afinidade dos atributos físicos, químicos e biológicos é uma característica em destaque para este ambiente, que é justificado por sua herança antropogênica ocorrida há milhares de anos pelos povos pré-colombianos que habitavam a Amazônia e influenciaram na formação da camada antropogênica neste ambiente. Diversos autores chamam a atenção para estas características que, normalmente, apresentam pH, MO, Ca e P em quantidades muito superiores aos demais solos da região Amazônica, atribuindo estas características, principalmente, ao acúmulo de restos de alimentos e ossos ricos em Ca (LIMA et al., 2002; CUNHA et al., 2009; CAMPOS et al., 2011; BARROS et al.; 2012, SANTOS et al., 2013).

3.4 CONCLUSÕES

Em relação ao ambiente natural floresta, os ambientes com maior ganho de variabilidade dos atributos químicos foram a terra preta arqueológica e a agrofloresta.

Os ambientes agrofloresta, mandioca e cana-de-açúcar são caracterizados pelos atributos densidade do solo, argila, umidade do solo e CTC, enquanto o ambiente TPA é caracterizado pelo atributo porosidade total, emissão de CO₂, pH, saturação por bases, soma de bases, matéria orgânica e fósforo.

O ambiente com mais semelhança à floresta é o ambiente de mandioca e cana-de-açúcar.

3.5 REFERÊNCIAS

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e/ou mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 857-865, 2000.

AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SIQUEIRA, D. S. Distribuição espacial de atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta. **Pesquisa agropecuária tropical (online)**, Brasília, v. 44, p. 32-41, 2014.

BAHIA, A. S. R. S. **Espectroscopia de reflectância difusa como técnica auxiliar na caracterização da emissão de CO₂ e atributos do solo**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.

BARROS, K. R. M.; LIMA, H. V.; CANELLAS, L. P.; KERN, D. C. Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de Terra Preta de Índio. **Revista de Ciências Agrária**, Belém, v. 55, p. 44-51, 2012.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Science Agriculture**, v. 58, p. 555-560, 2001.

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

CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, Ceará, v.42, n.2, p.258-267, 2011.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.. Mineralogy of the clay fraction of Alfisols in two slope curvatures: III - spatial variability. **Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)**, Viçosa, v. 37, p. 295-306, 2013.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. II - correlação espacial entre mineralogia e agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, p.2279-2288, 2008.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E.; Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. **Soil Sciencia Society American Journal.**, 58:1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.;RIBEIRO, M. R. SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. Toposequência de solos na transição campos naturais-floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazonica (Impresso)**, Manaus, v. 42, p. 387-398, 2012.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C.; ALMEIDA, M. C. Caracterização e Classificação de Terras Pretas Arqueológicas na região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 18-27, 2011.

CARDOSO, E. L., SILVA, M. L. N., MOREIRA, F. M. S., CURTI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 631-637, 2009.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1329-1339, 2007.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, 27, p. 695-703, 2003.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, p.196-210, 2011.

COHEN, J. C. P.; BELTRÃO, J. C.; GANDU, A. W.; SILVA, R. R. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 59, p. 36-39, 2007.

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo amarelo da Amazônia central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p.107-114, 1995.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V.M.; SANTOS, G. A.; Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (terra

preta de índio) in the Brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.85-93, 2009.

DASSELAAR, A. V. P. V.; CORRÉ, W. J.; PRIEMÉ, A.; KLEMEDTSSON, Å. K.; WESLIEN, P.; STEIN, A.; KLEMEDTSSON, L.; OENEMA, O. Spatial variability of methane, nitrous oxide and carbon dioxide emissions from drained grassland. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 62, n. 33, p. 810-817, 1998.

DILUSTRO, J. J.; COLLINS, B.; DUNCAN, L.; CRAWFORD, C. Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 204, p. 87-97, 2005.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

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

EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; ROUPSARD, O.; MOUVONDY, W.; MABIALA, A.; SAINT-ANDRÉ, L.; JOFFRE, R.; JOURDAN, C.; BONNEFOND, J.; BERBIGIER, P.; HAMEL, O. Spatial and temporal variations of soil respiration in a Eucalyptus plantation in Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 202, n. 1-3, p. 149-160, 2004.

FARIA, A. F. G.; SANTOS, A. C.; SANTOS, T. M.; BATISTELLA FILHO, F. Influência do manejo do solo nas propriedades químicas e físicas em topossequência na bacia do Rio Araguaia, estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 517-524, 2010.

GOMES, J. B. V.; CURI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.137-153, 2004.

HERBST, M.; PROLINGHEUER, N.; GRAF, A.; HUISMAN, J. A.; WEIHERMÜLLER, L.; VANDERBORGHT, J.; VEREECKEN, H. Multivariate conditional stochastic simulation of soil heterotrophic respiration at plot scale. **Geoderma**, Amsterdam, v. 160, p. 74-82, 2011.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

ISHIZUKA, S.; ISWANDI, A.; NAKAJIMA, Y.; YONEMURA, S.; SUDO, S.; TSURUTA, H.; MURIYARSO, D. Spatial patterns of greenhouse gas emission in a tropical rainforest in Indonesia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 71, n. 1, p. 55-62, 2005.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, Urbana, v.23, n.3, p.187-200, 1958.

KONDA, R.; OHTA, S.; ISHIZUKA, S.; ARIA, S.; ANSORI, S.; TANAKA, N.; HARDJONO, A. Spatial structures of N₂O, CO₂, and CH₄ fluxes from Acacia mangium plantation soils during a relatively dry season in Indonesia. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 40, n. 12, p. 3021-3030, 2008.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: com um estúdio de los climas de la tierra. Publications In: Climatology. Laboratory of Climatology, New Gersey. 1948, 104p.

KOSUGI, Y.; MITANI, T.; LTOH, M.; NOGUCHI, S.; TANI, M.; MATSUO, N.; TAKANASHI, S.; OHKUBO, S.; NIK, A. R. Spatial and temporal variation in soil respiration in a Southeast Asian tropical rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 147, p. 35-47, 2007.

LA SCALA JÚNIOR, N.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; CORÁ, J. E. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂ emissions from a Brazilian bare soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 10, p. 1459-1462, 2000.

LIMA, J. S. S., SATTLER, M. A., PASSOS, R. R., OLIVEIRA, P. C., SOUZA, G. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Argissolo Vermelho- Amarelo sob pastagem e vegetação secundária em Regeneração natural. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 29, p. 185-195, 2009.

LIMA, H. N. et al. Pedogenesis and pre-colombian land use of terra preta anthrosols ("indian black earth") of western Amazonia. **Geoderma**, Amsterdam, v. 110, p. 01-17, 2002.

LOUREIRO, V. R. Amazônia: uma história de perdas e danos, um futuro a (re)construir. **Estudos Avançados**, v. 16, p. 107-121, 2002.

MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; CAMARGO, L. A.; TEIXEIRA, D. B.; BARRÓN, V. ; TORRENT, J. Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. **Geoderma**, Amsterdam, v. 219-220, p. 63-71, 2014.

MINITAB Release 14.1, **Statistical Software**. US/ Canadá, 2000.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, São Paulo, v.21, p.467-469, 1998.

MOREIRA, A. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 307-315, 2006.

MONTANARI, R.; SIQUEIRA, D. S.; MARQUES, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, G. S. A.; SIQUEIRA, G. M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture (Print)**, v. 13, p. 542-552, 2012.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. de. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 69-77, 2005.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P. F. S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11. p. 1409-1418, 2001.

NEVES NETO, D. N.; SANTOS, A. C.; SILVA NETO, S. P. Atributos físicos e químicos do solo em ecossistema de capim-mombaça na Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias. Belém**, v. 55. n. 2, p. 75-84, 2012.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em Sistemas Agrossilvipastoril no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 74, p. 45-53, 2007.

NOGARA NETO, F.; ROLOFF, G.; DIECKOW, J.; MOTTA, A. C. V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.1025-1036, 2011.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; MARQUES JUNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico sob diferentes usos na região sul do amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1103-1112, 2013.

OHASHI, M.; GYOKUSEN, K. Temporal change in spatial variability of soil respiration on a slope of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) forest. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 39, p. 1130-1138, 2007.

PANOSSO, A. R.; MARQUES, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, p.190–196, 2011.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**, Campinas: Instituto Agrônomo, 2001, 285 p.

ROBERTSON, G.P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

ROCKSTROM, J. A safe operating space for humanity . **Revista Nature**, v.461, p.472-475, 2009.

SALIMON, C. I.; WADT, P. G. S.; MELO, A. W. F. Dinâmica do carbono na conversão de florestas para pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões, no Sudoeste da Amazônia. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Paraíba, v. 7, n. 1, p. 29-38, 2007.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; FLORA, L. P. D.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1346-1357, 2012.

SANTOS, L. A. C. ; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C.; SILVA, D. M. P; MARQUES JUNIOR, J.; FRANCA, A. B. C. Caracterização e gênese de terras pretas arqueológicas no sul do Estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 825-836, 2013.

SCHWENDENMANN, L.; VELDKAMP, E.; BRENES, T.; O'BRIEN, J. J.; MACKENSEN, J. Spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an old-growth neotropical rain forest, La Selva, Costa Rica. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 64, n. 1, p. 111-128, 2003.

SILVA JÚNIOR, J. F.; SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JR., J.; PEREIRA, G. T. Classificação numérica e modelo digital de elevação na caracterização espacial de atributos dos solos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso)*, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 415-424, 2012.

SILVA, S. de A.; LIMA, J. S. de S.; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.15-22, 2010.

SKORUPA, A. L. A.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, C. P. C; SCOLFORO, J. R. S.; GRANATE DE SÁ. J. J.; MARQUES, M. Propriedades de Solos sob Vegetação nativa em Minas Gerais: Distribuição por Fitofisionomia, Hidrografia e Variabilidade Espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 36, p. 11-22, 2012.

STOYAN, H.; DE-POLLI, H.; BÖHM, S.; ROBERTSON, G. P.; PAUL, E. A. Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 222, n. 1-2, p. 203-214, 2000.

TEIXEIRA, D.D.B.; BICALHO, E. S.; CERRI, C. E. P.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N . Quantification of uncertainties associated with space-time estimates of short-term soil CO₂ emissions in a sugar cane area. **Agriculture, Ecosystems & Environment (Print)**, v. 167, p. 33-37, 2013.

TEIXEIRA, D.D.B.; BICALHO, E.S.; PANOSSO, A.R.; PERILLO, L.I.; IAMAGUTI, J.L.; PEREIRA, G.T.; LA SCALA JR., N. Uncertainties in the prediction of spatial variability of soil CO₂ emissions and related properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 36, v.5, 1466-1475, 2012.

TEIXEIRA, D. D. B.; PANOSSO, A. R.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission estimated by different interpolation techniques. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 345, n. 1-2, p. 187-194, 2011.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advance in Agronomy**, 38:54-94, 1985.

VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F.; SIQUEIRA, G. M.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.185-195, 2011.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D. R.; **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: Hillel, D. (Ed.). Applications of soil physics. New York, 1980. p. 319-344.

WEBSTER, R.; OLIVER M. A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. New York: Oxford University Press, 1990. 328 p.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In: STEWART, B.A. (Ed.). **Advances in Soil Science**. New York: Springer, 1985. p.1-70.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n.1, p. 256-265, 2012.

XU, M.; QI, Y. Soil-surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a Young ponderosa pine plantation in northern California. **Global Change Biology**, Oxford, v. 7, n. 6, p. 667-677, 2001.