

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO
ÚMIDO - ATU**

**CARBONO ORGÂNICO E NUTRIENTES EM SOLOS
ANTRÓPICOS E ADJACENTES SOB FLORESTA
SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA CENTRAL**

ERICK MANUEL OBLITAS MENDOZA

Manaus – Amazonas
Novembro, 2009

ERICK MANUEL OBLITAS MENDOZA

**CARBONO ORGÂNICO E NUTRIENTES EM SOLOS
ANTRÓPICOS E ADJACENTES SOB FLORESTA
SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA CENTRAL**

Orientador: Dr. Flávio J. Luizão (INPA)

Co – Orientador: Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira (EMBRAPA)

Dissertação apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura no Tropicó Úmido.

Manaus – Amazonas
Novembro, 2009

Dissertação aprovado junto ao Curso de Pós Graduação em Agricultura no Tropicó Úmido – ATU do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

Banca Examinadora

Dr. Hedinaldo Narciso Lima
UFAM

Dra. Maria de Lourdes Ruvio
MPEG

Dra. Maria do Rosário Lobato Rodrigues
EMBRAPA – CPAA

Dr. Carlos Alberto Tucci
UFAM

Dra. Elisa Wandeli
EMBRAPA

Dedico

A meu pai, Manuel Oblitas Guerra; aos meus irmãos Gilma, Maritza, Lita, James, Jessica, Glendy. A todos meus sobrinhos, Flavia, Marcia, Aldair, Marlit, Marcos., a minha esposa Charlita, minhas gêmeas Nicole e Sofia, meu filho Arturito . Minha Família.

Compartilho

*Com todas as pessoas que acreditaram em mim e sempre estiveram comigo.
Com a família Zumaeta-Caiña.*

In Memoriam

*Dolores Mendoza Gomes e Arturo Sanchez Mendoza
(minha querida mãezinha e meu irmão)*

O12 Oblitas Mendoza, Erick Manuel
Carbono orgânico e nutrientes em solos antrópicos e adjacentes sob
floresta secundária na Amazônia Central / Erick Manuel Oblitas
Mendoza. ---
Manaus : [s.n.], 2009.
xv, 70 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) -- INPA, Manaus, 2009
Orientador : Flavio Jesus Luizão
Co-Orientador: Wenceslau Geraldes Teixeira
Área de concentração : Agricultura no Trópico Úmido

1. Solos antrópicos – Amazônia. 2. Terra preta de índio. 3. Carbono orgânico. 4. Sistemas de extração de solução do solo. I. Título.

CDD 19. ed. 574.526404

Sinopse:

Estudou-se a dinâmica do carbono orgânico dissolvido em solos antrópicos e adjacentes, como forma de compreender melhor a influência das propriedades física – químicas dos solos nos estoques e fluxos de carbono.

Palavras-chave:

Carbono orgânico, Terra Preta de Índio, Solos antrópicos, SESS

SUMARIO

AGRADECIMENTOS	VIII
LISTA DE TABELAS	X
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUÇÃO	1
1.REVISÃO DE LITERATURA	4
2.Objetivos	11
2.1.Objetivo Geral	11
2.2.Objetivos específicos	11
3.MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Localização das áreas de estudo	13
3.2.CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS:.....	13
3.2.1.Autaz Mirim (ATM)	13
3.2.2.Manaus - Encontro das Águas (EA)	14
3.2.3.Rio Preto da Eva (RPE).....	14
3.4.PROCEDIMENTO AMOSTRAL	17
3.4.1.Amostragem do solo	17
3.4.2.Amostragem da solução do solo	18
3.5.PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS	22
3.5.1.Física do solo	22
3.5.1.1.Densidade aparente	22
3.5.1.2.Granulometria	23
3.5.2.Análises químicas	24
3.5.2.1.Macronutrientes e micronutrientes do solo.....	24
3.5.2.2.Carbono orgânico total e nitrogênio total.....	25
3.6.ANÁLISE QUÍMICA DA SOLUÇÃO DO SOLO	26

3.7.ANÁLISES ESTATÍSTICAS	27
4.RESULTADOS	28
4.1.Caracterização dos solos estudados.....	28
4.1.2.Característica químicas do solo	32
4.1.2.1.Fósforo e Cátions trocáveis.....	32
4.1.3.Micronutrientes.....	33
4.1.4.Carbono e Nitrogênio no solo.....	36
4.1.5.Estoque de carbono no solo.....	39
4.1.6.Nutrientes na solução do solo	41
4.1.7.Carbono Orgânico Dissolvido – COD no solo	46
5.DISSCUSSÃO	52
6.CONCLUSÕES	60
7.BIBLIOGRAFIA	61

AGRADECIMENTOS

Agradeço.....

A Deus, por ter me concedido a permissão de vencer mais uma etapa da minha vida.

Ao Dr. Flávio J. Luizão, pela oportunidade, apoio, orientação, amizade, e contribuição na minha formação profissional e pessoal.

Ao Dr. Wenceslau G. Teixeira, pela amizade, orientação e assistência constante em tudo o tempo do desenvolvimento do trabalho.

Ao Dr. Carlos Alberto Quesada, companheiro, compadre, pela amizade, orientação, apoio, assistência constante, incentivo aos trabalhos de pesquisa.

Ao Dr. Jorge Gallardo Ordinola, pela oportunidade inicial, pela amizade, apoio incondicional, desde minha chegada no Brasil e no INPA.

Ao Dr. Jomber Chota Inuma, pela amizade, confiança, orientação, apoio incondicional.....

A Dra. Regina Luizão, pelo incentivo e amizade.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), pela oportunidade e apoio na pesquisa.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela bolsa de estudo.

Ao Projeto LBA pelo apoio constante para a realização deste estudo.

Ao Centro de Projetos e Estudos Ambientais do Amazonas – CEPEAM da Associação Soka Gakkai Internacional, coordenado pelo Dr. Charles Osawa e Dr. Akira Tanaka, pela permissão para as coletas de amostras.

À Família LBA/INPA, que apoiou esta pesquisa, na logística, Rubenildo Lima, Ruth Araújo, Natan Andrade, Pedro A. Marques Mendonça (que me apoiou em todas as coletas de campo).

Ao Laboratório Temático de Análises de Solos e Plantas do INPA, especialmente aos amigos e companheiros(as), Tânia Pimentel, Edivaldo, Orlando F. Cruz Júnior, Nonato, Jonas Filho, Raimundo Nonato, Luan, Marcio e Ivanete, por todo o apoio.

Aos colegas e amigos de curso e membros da família do antigo Anexo BIONTE, Lucerina Trujillo, Jean Dalmo, Fabiane Oliveira, Sueli e Rejane Magalhães, dona Regina, Marcelo Lima, ao companheiro Rubem Barbosa, Monica, Josias e Deive, pelo convívio do dia a dia no decorrer da realização desta dissertação.

Aos amigos compatriotas, colegas: Gilson Sanchez, Rocio Jarama, Omar Cubas, Carlos da Costa, Tony Vizcarra, Daniel Villacis, Elvis, Ruby Vargas e Santiago Ferreira, pela amizade e ajuda no decorrer da minha estadia no Brasil.

Aos professores da UNAP, Jorge Bardales Manrique e Ronald Yalta Vega; ao Rodrigo Gonzales Vega, do INIA e Salmon Urday, do Agrobanco, pela amizade, apoio, e incentivo ao estudo.

Aos amigos de Rio Preto da Eva e Autaz Mirim. A todas as pessoas que de uma e outra forma contribuíram para a realização deste trabalho, A todos vocês, muito obrigado...

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Profundidades dos extratores “b” segundo as camadas orgânicas (CA) dos solos antrópicos (TPI) dos três locais de estudo.	16
Tabela 2. Resultados das análises físicas e químicas dos três tipos de solo (TP, TM, LA) ate uma profundidade de 20 cm nas áreas de estudo (ATM, EA e RPE).29	
Tabela 3. Somatório dos estoques de carbono nos três solos estudados até a profundidade de 1 m nas diferentes áreas	39
Tabela 4. Áreas das curvas de COD, por profundidade, obtidas calculando integrais dos dados de variação sazonal em COD encontrados na Figura 24.	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das áreas de estudo, (Fonte: www.maps.google.com.br)	13
Figura 2. Ilustração do delineamento experimental. Autaz Mirim (ATM), Encontro das Águas (EA), Rio Preto da Eva (RPE); Terra Preta de (TP) e Terra Mulata (TM), solo adjacente (LA); Sistemas de Extração de solução do solo (1,2,3); Extratores de solução do solo (ESS) com diferentes medições (a,b,c).	15
Figura 3. Distribuição sistemática dos Sistemas de Extração de Solução do Solo (SESS) dentro das parcelas.	16
Figura 4. Perfis modais abertos nos diferentes tipos de solo em estudo: Terra Preta (TP), Terra Mulata (TM) e Solo Adjacente (LA).	17
Figura 5. Procedimento de amostragem com tradagem aleatória a partir do perfil modal.	18
Figura 6. Cápsulas de cerâmica porosa com diâmetros de 60 mm (A) e 23 mm (B) de altura, coladas em um dos extremos dos tubos de PVC.	19
Figura 7. (A) Distribuição dos ESS em diferentes profundidades no solo; (B) Baterias de três unidades de ESS em caixa de isopor; (C) Bomba de vácuo para gerar diferença de pressão, aplicando-se uma pressão de 0,6 bar no sistema cápsula-solo.	19
Figura 8. (A) Sistema de extração de solução do solo (SEE), instalado nas áreas de estudo; (B) Solução do solo coletada através dos SEE.	20
Figura 9. (A - D) Procedimento de amostragem da solução do solo; (E) Amostras orgânicas conservadas em HgCl_2 (300 μM de Hg) em vidros I-CHEM; (F) Amostras conservadas em thymol em frascos de polietileno HDPE.	21
Figura 10. (A) Amostragem nos intervalos verticais dos horizontes do perfil modal; (B) Amostra indeformada com os anéis de Kopeck;. (C) Amostras prontas para serem secas em estufa.....	23
Figura 11. Procedimento para determinação da granulometria do solo pelo método da pipeta e tamisação.	24
Figura 12. (A) Espectrofotômetro de Absorção Atômica, (B) Espectrofotômetro de Colorimetria, (C) Auto analisador de carbono e nitrogênio.....	25

Figura 13. (A) Analisador de carbono total SHIMADZU 500A, (B) Cromatógrafo líquido DIONEX 1000.....	26
Figura 14. Distribuição granulométrica (%) dos diferentes horizontes dos três tipos de solos (TP, TM, LA) nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RPE).....	30
Figura 15. Densidade aparente dos diferentes horizontes dos três tipos de solos (TP, TM, LA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RPE).....	31
Figura 16. Concentrações de cátions trocáveis e fósforo até 1 m de profundidade, dos três tipos de solos (TP, TM, LA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RPE). Existem diferenças nos valores da legenda das TP, e nas TM e LA de EA.....	34
Figura 17. Concentração de micronutrientes trocáveis até 1 m de profundidade, nos três tipos de solos (TP, TM, LA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RPE), a unidade de micronutrientes (mg/kg) na TP de EA é diferente aos demais.....	35
Figura 18. Concentrações de carbono e nitrogênio nos três solos estudados, nas diferentes áreas e profundidades até 1 m.	37
Figura 19. Relação entre concentração de carbono e a textura para todas as áreas de estudo.....	38
Figura 20. Somatório do estoque de carbono (Mg C/ha) nos três solos estudados divididos por profundidades.....	40
Figura 21. Macronutrientes e fosfato na solução do solo ao longo do estudo. Valores anuais acumulados para as três áreas. (nas TP e TM de EA mostram escala diferente no gráfico).....	43
Figura 22. Valores anuais acumulados de formas de nitrogênio na solução do solo ao longo do estudo nas três profundidades dos ESS (20 cm, 100 cm e camada orgânica-CA).	44
Figura 23. Proporções entre nutrientes dissolvidos e concentrações trocáveis nos solos. (A) bases, (B) fósforo.	45
Figura 24. Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) até 1 m de profundidade (20 cm, 100 cm e camada orgânica - CA), nos três tipos de solo, nas áreas estudadas (ATM, EA e RPE).	48

Figura 25. Concentrações médias de COD em três profundidades (20 cm, CA “Tabela 1”, e 100 cm) na solução do solo, nas estações seca e chuvosa nos três tipos de solo, nas áreas estudadas (COD de LA em EA mostra escala diferente aos demais gráficos).	50
Figura 26. Relação entre teores de carbono nos solos e mobilização de carbono orgânico dissolvido para as três áreas de estudo.....	51
Figura 27. Análise dos componentes principais para variáveis passíveis de influenciar na mobilização do COD.....	51

RESUMO

Na Amazônia ocorrem solos com horizonte A antrópico, de coloração escura, popularmente denominados de "Terras Pretas de Índio" (TPI), que geralmente apresentam alta fertilidade, com elevados teores de P, Ca, Mg, Mn, Zn e de matéria orgânica, elevado pH (5,5–6,5), alta capacidade de troca catiônica, baixa acidez potencial (H + Al) e alta saturação por bases, quando comparados aos solos adjacentes. As Terras Pretas de Índio da Amazônia têm níveis elevados de carbono, com concentrações de até 150 g C kg⁻¹ de solo, em comparação aos solos circunvizinhos com 20–30 g C kg⁻¹ de solo. A capacidade das TPIs de estocar e reter carbono estável são elevados, sendo potencialmente um importante mecanismo para a mitigação do efeito estufa e precisa ser melhor avaliada e entendida. Este estudo teve como objetivo estimar os teores e a dinâmica do carbono orgânico dissolvido (COD) e os teores de nutrientes em perfis de solos antrópicos e solos adjacentes sob floresta secundária na Amazônia central. O delineamento experimental foi o de blocos inteiramente ao acaso com três repetições sendo cada bloco um local de avaliação: Autaz Mirim (ATM), Encontro das Águas (EA), Rio Preto da Eva (RPE). Foram feitas coletas em dois solos em cada local: Solos com horizonte antrópicos e adjacentes sem horizontes antrópicos. Nos antrópicos estão as Terras Pretas (TP) e Terras Mulatas (TM), no adjacente os Latossolos Amarelo (LA) nos três locais. Em cada área foram instalados três sistemas de extração de solução do solo; cada um dos sistemas constou de três extratores a diferentes profundidades até 1m. Foram feitas também coletas de amostras de solo até 1m para determinação de características químicas e físicas. Verificou-se diferencia significativas nos estoques de carbono entre os solos e locais estudados: Os estoques de carbono foram para Autaz Mirim (ATM) em TP de 172 Mg C/ha⁻¹, em TM de 193 Mg C/ha⁻¹ e LA de 232 Mg C/ha⁻¹. Em quanto em Encontro das Águas (EA) foi para TP de 213 Mg C/ha⁻¹, em TM de 112 Mg de C/ha⁻¹ e LA de 176 Mg C/ha⁻¹, e finalmente em Rio Preto da Eva (RPE) os valores foram em TP de 165 Mg C/ha⁻¹, em TM 151 Mg C/ha⁻¹ e LA de 179 Mg C/ha⁻¹.

Os mais altos valores mobilizados de COD foram encontrados nos solos adjacentes (624; 297 e 662 mg L⁻¹ para ATM, EA e RP, respectivamente), sendo intermediários para as Terras Mulatas (511; 371 e 634 mg L⁻¹ para ATM, EA e RPE, respectivamente) e mais baixos para Terra Preta (464; 189 e 465 mg L⁻¹ para ATM, EA e RPE, respectivamente).

Uma vez conhecendo as relações entre propriedades químicas e físicas dos solos e sua relação com o COD poderemos melhorar o entendimento dos processos de lixiviação nos solos com horizonte A antrópico e dos solos sem estes horizontes.

ABSTRACT

Most soils in the Amazon, land is usually weathered and have low chemical fertility. However, there are also anthropogenic A horizon soils, dark colored, popularly called "Terra Preta" (ICC), which generally have high fertility with high levels of P, Ca, Mg, Mn, Zn and organic matter, high pH (5.5 to 6.5), high cation exchange capacity, low potential acidity ($H + Al$) and high base saturation, when compared to adjacent soils. The Terra Preta in Amazonia have elevated levels of carbon, with concentrations up to 150 g C kg^{-1} soil, compared to the surrounding soils with $20\text{-}30 \text{ g C kg}^{-1}$ soil. The ability of TPis to store and retaining stable carbon are high, it is potentially an important mechanism for mitigating the greenhouse effect and needs to be better assessed and understood. This study aimed to estimate the levels and dynamics of dissolved organic carbon (DOC) and nutrient content in soil profiles and anthropogenic soils adjacent secondary forest in central Amazonia. The experimental design was a randomized block design with three replicates each block being a trial site: Autazes Mirim (ATM) Meeting of the Waters (EA), Rio Preto da Eva (RPE). Collections were made in two soils at each site: soil horizon with man-made and man-made adjacent without horizons. We are the anthropogenic Terra Preta (TP) and Land Mulatas (TM) in the adjacent Oxisols Yellow (LA) in three locations. In each area three systems were installed to extract soil solution, each system consisted of three extractants at different depths up to 1m. Were also made to retrieve samples of soil up to 1m for determination of chemical and physical characteristics. There was significant difference in carbon stocks between the soils and sites studied: Carbon stocks were Autazes Mirim (ATM) in TP 172 Mg C/ha^{-1} in TM 192 Mg C/ha^{-1} and LA 233 Mg C/ha^{-1} . In as found in Waters (EA) for TP was 213 Mg C/ha^{-1} in TM 112 Mg C/ha^{-1} and 77 Mg C/ha^{-1} LA, and finally in Rio Preto da Eva (RPE) values were in the TP 165 Mg C/ha^{-1} , 151 Mg C/ha^{-1} in TM and 179 Mg C/ha^{-1} . The highest values of DOC mobilized were found in adjacent soil (624 , 297 and 662 mg L^{-1} for ATM, EA and RP, respectively), are intermediates for the Lands Mulatas (511 , 371 and 634 mg L^{-1} for ATM EA and EPR, respectively) and lowest for Black Earth (464 , 189 and 465 mg L^{-1} for ATM, EA and EPR, respectively).

Once knowing the relationship between chemical and physical properties of soils and its relationship with the DOC could improve the understanding of leaching processes in soils with anthropogenic A horizon and soil without these horizons.

INTRODUÇÃO

A Amazônia se desenvolve em grande parte sobre solos de terra firme considerados de baixa fertilidade natural (Sioli, 1991). Corresponde à maior extensão de floresta tropical contínua do mundo, cobrindo aproximadamente 6,2 milhões de km² (Skole & Tucker, 1993). A Amazônia Legal Brasileira representa 5,1 milhões de km² sendo importante pela biodiversidade, hidrologia e clima regional, assim como pelo armazenamento de carbono (Phillips *et al.*, 1998; Fearnside, 1999). As florestas tropicais úmidas são de importância na estocagem e o ciclo global do carbono, devido a sua extensão, contendo em sua biomassa cerca de 40% de todo o carbono terrestre (Phillips *et al.*, 1998).

Na Amazônia Legal Brasileira, mais de 551.000 km² já haviam sido desmatados até o ano de 2000. Este desmatamento continua aumentando anualmente; no período 2006 – 2007, a Amazônia Legal Brasileira sofreu um desmatamento de 11.220 km² (INPE, 2007). No ano 2010 desmatamento na Amazônia legal Brasileira estima-se em 6451 Km²/ano (Prodes 2010).

O desmatamento vem ocasionando uma mudança das paisagens na Amazônia, afetando na dinâmica do carbono representado pela vegetação em pé (Fearnside *et al.*, 1993; Grace *et al.*, 1995). Estima-se que o desmatamento libere 1,6 Gt de C por ano para a atmosfera (Houghton, 2000), estando o papel da Amazônia como fonte ou sorvedouro de carbono ainda em discussão.

Porém após distúrbios naturais ou antrópicos, como por exemplo, os desmatamentos desenvolvem-se as chamadas florestas secundárias, que já abrangem mais da metade de todas as florestas do mundo (FAO, 2005). A maior parte destas florestas se concentra nas regiões tropicais, onde sua extensão e importância têm aumentado constantemente, acompanhando o crescimento demográfico, a migração de populações rurais para centros urbanos seguida do abandono de antigas áreas, à medida que as florestas primárias são exploradas, fragmentadas, ou convertidas para usos agrícolas (Brown & Lugo 1990; Whitmore 1997; Smith *et al.* 1999; Chazdon & Coe 1999; Gavin 2004). Atualmente, as florestas secundárias tropicais estão entre os ecossistemas em maior expansão no planeta (Gavin, 2004).

O maior responsável pelas mudanças climáticas globais na atmosfera é o dióxido de carbono (CO₂). Já desde o século XVIII se vinha antecipando o problema que hoje no século XXI é uma grande preocupação mundial, o “efeito estufa”. Um dos grandes estudiosos da época, Arrhenius em 1896 afirmou que a queima de combustíveis fósseis e a industrialização aumentariam o CO₂ atmosférico, o que resultaria no aquecimento do planeta (Christianson, 1999).

O CO₂ atmosférico global aumentou de 280 ppm em 1750 para 379 ppm em 2005 e as concentrações atmosféricas de CO₂ hoje ultrapassa em muito a faixa natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm). A taxa de aumento das concentrações anuais de CO₂ foi mais elevada durante os últimos dez anos (média de 1995 a 2005: 1,9 ppm por ano) (IPCC, 2007). As principais emissões de carbono para a atmosfera ocorrem pela queima de combustíveis fósseis, produção de cimento, e queimadas, enquanto que a principal via de absorção de dióxido de carbono se dá pelos oceanos e pela biota terrestre.

Segundo Chambers *et al.* (2000), entre 76% a 84% do fluxo de CO₂ total na floresta amazônica pode estar vindo do solo, o que representa globalmente uma grande fração para atmosfera, cujas maiores contribuições provêm de florestas tropicais e subtropicais (Raich *et al.*, 2002).

Nas últimas duas décadas, os ecossistemas terrestres vêm sendo considerados tão importantes quanto os oceanos na retirada e no armazenamento de carbono da atmosfera (Roscoe, 2006). A liberação ou o seqüestro de carbono nos solos é conseqüentemente, de grande importância para a mitigação do efeito estufa e do aquecimento global. O carbono orgânico do solo é um reservatório de carbono importante no ciclo biogeoquímico global: a quantidade total de carbono orgânico nos solos é estimada em 2011 Gt e representa aproximadamente 82% do carbono orgânico global em ecossistemas terrestres (The Green Initiative, 2006).

Neste contexto, além da evidente importância das TPI como solos com alta fertilidade e potencial para agricultura, recentemente elas têm recebido atenção também devido à sua capacidade de estocar carbono, que, por sua vez, poderá ter grande influência para o clima global se o mecanismo for entendido e replicado em uma extensão maior.

Entretanto, pouco se conhece sobre a dinâmica do carbono e nutrientes na solução do solo, especificamente nos solos com horizontes antrópicos. Os trabalhos existentes limitam-se às áreas de pastagem, áreas de sistemas florestais ou sistemas de florestas primárias (McClain *et al.*, 1997; Schroth *et al.*, 2000; Neu, 2005).

Portanto este estudo visou avaliar as variações de carbono total e dos macro e micro nutrientes na solução solo em solos com horizontes antrópicos e solos adjacentes, verificando as propriedades físico-químicas e os estoques de carbono dos solos antrópicos e adjacentes sob floresta secundária.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Solos da Amazônia

Na Amazônia central, os solos dominantes das áreas de “terra firme” são os Latossolos e Argissolos, (segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, EMBRAPA, 1999), nos quais se desenvolve esta floresta luxuriante. O equilíbrio e alta biomassa da floresta amazônica devem-se ao ciclo fechado de nutrientes entre a floresta e o solo, com constante decomposição de material orgânico e pequena perda por lixiviação (Luizão & Schubart, 1987; Brinkmann *et al.*, 1989; Longo & Espíndola, 2000). Portanto, a ciclagem de nutrientes é um fator determinante dos atributos edáficos, químicos e físicos que exerce influência sobre a estabilidade estrutural do solo. A maior parte dos solos na região é de baixa fertilidade natural devido à sua avançada idade geológica (Meirelles, 2004), é de reação ácida, com baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e baixa fertilidade natural, com alto teor de argila (> 60%), baixos níveis de nutrientes, pH muito ácido e baixos teores de carbono orgânico no solo (Teixeira & Bastos, 1989).

Segundo Álvares *et al.* (1996), os solos de terra firme presentes na Amazônia Legal são constituídos na grande maioria classificados como Latossolos com aproximadamente 2103.44 km² e os Argissolos, com 1687.88 km² (41,0% e 32,9% da superfície da Amazônia Brasileira, respectivamente). Os Latossolos possuem como componentes granulométricos predominantes as frações argila e areia, variando de 15–95 % a fração argila, enquanto que o silte apresenta-se relativamente constante entre 10–20 % (EMBRAPA, 1991), O pH varia entorno de 3,5–6,6; os teores de carbono entre 20–30 g C/kg nas camadas superficiais, na grande maioria dos Latossolos a soma de bases é baixa variando de 0,10 a 3,4 cmol_c/kg de solo, com valores mais elevados na superfície; a capacidade de troca de cátions (CTC) varia de 2,1–12,4 cmol_c/kg de solo (Pereira, 1987).

Os Argissolos são solos com gradiente textural, com incremento da fração argila em profundidade, Os teores de areia são mais elevados nos horizontes superficiais, o pH varia entre 3,6–6,1; a soma de bases varia entre 0,2–29,0 cmol_c/kg de solo.

Além dos Latossolos e Argissolos, existem outros tipos presentes na Amazônia, como os Gleissolos, Latossolos, Cambissolos em menor porcentual. Os quais também se caracterizam como solo de intemperizados (EMBRAPA, 1999).

No entanto há na Amazônia solos mais férteis e com maior vocação agrícola com propriedades químicas mais favoráveis que as dos Latossolos e Argissolos: são os solos de várzea, que normalmente possuem teores elevados de silte e de areia fina (o silte pode representar até 50 % nestes solos) com elevada capacidade de troca de cátions e elevado teores de cátions trocáveis como o cálcio e magnésio, níveis mais elevados de nutrientes e argila de atividade alta (Lima, *et al.*, 2007; Teixeira, *et al.*, 2007). Também na Amazônia ocorrem solos com horizonte A antrópico (Au) de coloração escura, popularmente denominados de "Terras Pretas de Índio" (TPI), Terras Pretas Arqueológicas ou simplesmente, solos antrópicos (Cunha, 2005), que geralmente apresentam alta fertilidade.

1.2. Terra Preta de Índio (TPI)

São solos que possuem uma camada superficial modificada por atividades antrópicas, com elevados teores de P, Ca, Mg, Mn, Zn e com alto teor de matéria orgânica (Kern & Kämpf, 1989), o qual pode persistir por milhares de anos no ambiente (Zech *et al.*, 1990; Glaser *et al.*, 2001). Estes solos tem elevado pH (5,5 – 6,5), alta capacidade de troca catiônica, baixa acidez potencial e alta saturação por bases, quando comparados aos solos adjacentes (Sombroek, 1966; Zech *et al.*, 1990; Glaser, 1999). São horizontes de solos que ocorrem em muitos pontos dentro da Amazônia, geralmente encontradas próximas a cursos de águas, em locais bem drenados e geralmente de topografia plana (Smith, 1980; Kern *et al.*, 2003). Estima-se que as TPI cubram aproximadamente 0,1–0,3% (6,000 – 18,000 km²) do total da bacia Amazônica (Kern *et al.*, 2003).

No entanto, a extensão geográfica total é ainda desconhecida (Erickson, 2003). Os sítios encontrados em terra firme podem ser menores em comparação com os encontrados em terraços, que vão de 0,3 – 0,5 hectares com tamanho médio de 1,4 hectares nas terras firmes e 400 hectares nos terraços (Smith, 1980; Roosevelt, 1987; Denevan, 2001).

1.3. Origem das Terras Pretas de Índio (TPI)

A origem das TPI ainda causa muita controvérsia entre os pesquisadores. Nos anos 80, surgiram numerosas idéias sobre a origem das “Terras Pretas” na Amazônia, como as de Hartt (1985), que defendia a hipótese de origem natural (geogênica), ou a hipótese de formação a partir de cinzas vulcânicas de Felisberto Camargo (1944) também defendido por Hilbert (1968); também surgiu a hipótese defendida por Barbosa de Faria (1944) e Falesi (1972) que defende a origem das TPI como resultante de sedimentos em regiões lacustres. Mas Ranzani *et al.* (1962) descreveram as “Terras Pretas” como um “plaggem epipedon”, ou seja, formado a partir da incorporação intencional de material orgânico através de práticas de manejo, consequência da ocupação de populações humanas (Kern *et al.*, 2004), hipótese defendida por Woods & McCann (2001), e que vem sendo corroborada com as pesquisas atuais.

Atualmente acredita-se que estas populações teriam sistemas de manejo do solo diferenciado dos tradicionais que são hoje praticados nos trópicos; diferença marcante estaria no produto final da queima, que era controlada o que produzia carvão vegetal ao invés de cinzas (Mann, 2002). Dessa forma a elevada fertilidade das TPI poderia ser atribuídas às propriedades físico-químicas obtidas pela presença de material orgânico com oxidação incompleta (“Black carbon”, Derenne & Largeau, 2001). Portanto, as TPI são solos resultantes de atividades antrópicas, que de acordo o manejo do solo, podem permanecer muitos férteis mesmo após várias décadas de uso (Madari *et al.*, 2004). Woods (2003) afirma que atividades de deposição humana trazem como consequência (Intencional ou não) o enriquecimento do solo, alterando as propriedades físicas e químicas. Resíduos em forma de biomassa acumulada de restos de colheita, carvão, restos de caça, pesca, fragmentos de cerâmicas e outros utensílios, excrementos

humanos, entre outros, fazem parte dos componentes dos sedimentos que formam as Terras Pretas de Índio (Glaser *et al.*, 2001). Smith (1980) considero alto teor de fósforo (P) como um indicador de ocupação humana, já que sua presença nas TPI é atribuída às cinzas de material orgânico.

Apesar de que as TPI apresentem alta heterogeneidade, algumas propriedades gerais em relação à fertilidade são comuns; tais como os altos valores de P e Ca totais disponíveis, baixa disponibilidade de nitrogênio (N) e potássio (K) (Lehmann *et al.* 2003a). Também em tamanho e profundidade, são variáveis; a grandes maioria das TPI encontradas e estudadas têm menos de dois hectares (Kern *et al.*, 2003), mas alguns sítios estudados podem estender-se a dezenas de hectares. A profundidade das manchas geralmente varia entre 30 e 60 cm, mas já foram relatadas manchas de até 1 m de espessura da camada escura (Kern *et al.*, 2003).

Além das Terras Pretas, cuja coloração está associada ao acúmulo de resíduos, há as “Terras Mulatas” (TM), consideradas também solos antrópicos, mas que possuem características como níveis de fósforo (P) e cálcio (Ca) não tão elevados (Sombroek, 1966; McCann *et al.*, 2001; Kämpf *et al.*, 2003), rara presença de artefatos culturais (restos de cerâmicas), cor do solo não tipicamente preta, apresentando uma coloração castanho escuro (Sombroek, 1966), Muitos autores acreditam que a cor marrom escura deste tipo de solo antrópico foi o resultado de períodos longos de cultivos agrícolas conservacionistas sobre estes solos (Woods & McCann, 1999), de forma que estes solos se originaram e desenvolveram num caminho diferente, portanto tendo gêneses contrastantes (McCann *et al.*, 2001; Neves *et al.*, 2003) daquelas das Terras Pretas. Os solos antrópicos de coloração marrom escura diferem também das outras TPI de coloração preta na profundidade de acúmulo de sedimentos (horizonte A antrópico menos profundo), e menores concentrações de nutrientes, especialmente o P, e menos adição de resíduos (Woods, 2003).

Os horizontes antrópicos das TP e TM podem ocorrer sobre uma variedade de tipos de solos, incluindo os Latossolos, Argissolos, Neossolos e Espodossolos, formando um horizonte A antrópico (Smith, 1980; Lima *et al.*, 2002). Mais freqüentemente, ocorrem em Latossolos e Argissolos, no entanto já se descreveram

TPI em várzeas, sobre Neossolos Flúvico (Teixeira *et al.*, 2004). Em termos de idade, a grande maioria das “Terras Pretas de Índio” estudadas da Amazônia tem entre 500 a 2500 anos de idade (Neves *et al.*, 2003). Porém estudos realizados por Miller (1992) em TPI na região do rio Jamari (bacia do rio Madeira) indicam a presença de cerâmicas datadas entre 4800 a 2600 anos antes do presente (Neves *et al.*, 2003).

1.4. Carbono Orgânico Dissolvido

Os diferentes tipos de carbono orgânico na água podem ser agrupados em duas categorias, detrital e particulado; o conjunto forma o carbono orgânico total (COT). O carbono orgânico detrital é, por sua vez, composto de duas frações, o carbono orgânico dissolvido (COD) e o particulado (COP), sendo o COD a fração de carbono que só passa por um filtro de 0,1-0,7 µm de diâmetro (Trumbore *et al.*, 1992).

A origem do carbono orgânico dissolvido pode atribuir-se a material orgânico da superfície ou de material orgânico fossilizado presente no material pedológico, (Hinton *et al.*, 1998) também podem ser fontes de COD para o solo, porém as precipitações internas, escoamento pelos troncos e a decomposição de material orgânico como a liteiras. Além destas fontes, fatores que determina as concentrações de COD podem ser considerados tais como os horizontes orgânicos do solo (Thrumman, 1985).

As concentrações de COD no solo podem estar condicionadas por distintos fatores, como as propriedades físicas e químicas dos próprios solos. Segundo McClain *et al.* (1997), há diferentes concentrações de materiais orgânicos dissolvidos na água do solo devido às diferenças existentes na textura e na química do solo.

Estudos mostraram que o COD na solução do solo em Latossolos e Espodossolos decresce em relação à profundidade (Thrumman, 1985), Existe uma remoção de COD em profundidade devido aos processos químicos e biológicos entre o solo e a solução do solo (Meyer & Tate 1983). Um dos fatores influentes nos processos químicos do solo é o pH do solo: quando este diminui na solução do solo, o carbono orgânico aumenta (Thrumman, 1985).

O maior estoque de COD registrado encontra-se nos mares, com aproximadamente 700 Gt (Schimel, 1995); em contraste, os menores estoques de COD são encontrados na solução do solo com 1,1 Gt de águas subterrâneas, mas estes não são de menor importância na exportação continental de COD aos oceanos.

O carbono dissolvido possui muitas vias de ingresso até o solo, sendo as mais importantes as precipitações que levam até o solo grande parte dos materiais das emissões de compostos orgânicos florestais, como fonte natural, ou produtos de queimadas e emissões industriais, como fonte antrópicas (Velisnky *et al.*, 1986; Souza & Carvalho, 2001). Segundo Andrade *et al.* (1990), na Amazônia central, o COD encontrado nas precipitações tem origem natural, mas tem modificações segundo o uso do solo na região.

Existem poucos trabalhos sobre a dinâmica de COD do sistema terrestre para o aquático. No entanto, trabalhos recentes encontraram diferenças nas concentrações de COD no escoamento superficial sob áreas de floresta com distintos tipos de solo, parte da água do escoamento também passa a ser parte da água percolada verticalmente que forma a solução do solo, que por sua vez, depende das características físicas do solo para influenciar certos mecanismos que regulam sua concentração como a de adsorção (Cassiolato, 2002). Estudos feitos na Amazônia central mostraram que a influência dos tipos do solo é direta nas concentrações de COD na solução do solo (Neu, 2005), fato que motivou a estudar se existe diferenças para os solos com horizontes antrópicos.

1.5. Estoques de Carbono nos solos antrópicos

A estimativa do estoque de carbono no solo em toda a Amazônia Brasileira foi de 47 gigatoneladas (GtC), mas afirma que o carbono no solo não é limitado a este valor, já que esta estimativa só foi até 1 m de profundidade. (Fearnside, 2009). Existe estudos feitos para estimar os estoques de carbono no solo até 8 m de profundidade (Trumbore *et al.*, 1995), calculando valores de 155 tC/ha lábil, nos mesmos locais estudados por Moraes *et al.* (1995). Apesar de estes trabalhos de estimativa terem sido feitos em diversos solos dentro da Amazônia, demonstra a capacidade do solo para

estocar carbono (Fearnside, 2009).

Existe diferenças na estocagem de carbono de acordo com a classe textural do solo. Sombroek *et al.* (1993). Estimaram estoques de carbono em 56 Mg C/ha em solos argilosos enquanto que para os solos arenosos foi de 34 Mg C/ha até 1 m de profundidade. Tendo em conta as diferenças nas propriedades físicas e químicas dos solos antrópicos e adjacentes, as TPI da Amazônia têm níveis elevados de carbono, com concentrações de até 150 g C/kg de solo, em comparação aos solos adjacentes com 20-30 g C/kg de solo (Sombroek, 1966; Smith, 1980; Kern & Kämpf, 1989; Sombroek *et al.*, 1993; Glaser *et al.*, 2000). Além disso, a matéria orgânica nas terras pretas é persistente, já que apresenta teores elevados de carbono mesmo anos depois que as áreas cultivadas são abandonadas. A razão para a estabilidade elevada do carbono do solo está atualmente sob discussão (Bechtold, 2007).

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

- ❖ Caracterizar os estoques e a dinâmica do carbono orgânico e dos nutrientes em perfis de solos com horizontes antrópicos e solos adjacentes sob floresta secundária na Amazônia central.

2.2. Objetivos específicos

- ❖ Determinar as propriedades físicas e químicas de horizontes de solos antrópicos e adjacentes na Amazônia central.
- ❖ Calcular os estoques de carbono destes solos, seus estoques de macro e micro nutrientes além das concentrações destes na solução do solo.
- ❖ Avaliar as quantidades de carbono orgânico percoladas na solução do solo até 1 m de profundidade nos solos antrópicos e solos adjacentes e suas interações com outras variáveis edáficas e a sazonalidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

O trabalho foi realizado em três localidades da Amazônia central, nos municípios de Manaus, Autazes e Rio Preto da Eva, foram selecionados três pontos de avaliação em cada localidade: a) Horizonte antrópico - Terra Preta de Índio (TP); b) Horizonte antrópico de cor amarronzadas - *que agora será chamada de Terra Mulata - TM* e; c) Horizontes não antrópicos - solo adjacente (LA). Instalou-se três parcelas por área de estudo, uma correspondente por cada tipo de solo num total de nove parcelas.

Os locais do estudo foram:

- ❖ **Autaz Mirim (ATM):** Sítio particular localizado à margem do rio Autaz Mirim, no km 21 do Ramal dos municípios de Careiro - Autazes (3°22'47"S e 59°41'49" W).
- ❖ **Manaus - Encontro das Águas (EA):** No Centro de Projetos e Estudos Ambientais do Amazonas – CEPEAM da Associação Soka Gakkai Internacional, localizada à margem do rio Amazonas, próximo ao Encontro das Águas, em Manaus (3°06'53"S e 59°54'31"W).
- ❖ **Rio Preto da Eva (RPE):** Área localizada às margens do Rio Preto (alto rio), na comunidade Nova Jerusalém, a 14 km do município de Rio Preto da Eva (02°33'54,4"S e 59°46'15,1" W).

O clima da região é tropical úmido e quente, com precipitação média anual de 2500 mm, temperatura média anual de 24 a 26 °C e umidade relativa do ar de 80 a 93%. O solo predominante na região estudada é o Latossolo Amarelo álico (Oxisol). A vegetação, em todas as parcelas de estudo, é de floresta secundária de aproximadamente 20-30 anos após o término da intervenção humana, com abundância de palmeiras, principalmente o tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), buriti (*Mauritia flexuosa*), limorana (*Chomelia anisomeris*), e leguminosas como o ingá (*Inga sp*).

Localização das áreas de estudo



Figura 1. Localização das áreas de estudo, (Fonte: www.maps.google.com.br)

3.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS:

3.2.1. Autaz Mirim (ATM)

A parcela com TP foi cultivada de forma intensiva, primeiramente por roças e pastagens e, por último, somente com roças, que foram abandonadas há aproximadamente 30 anos; atualmente é coberta por uma floresta secundária alta e densa. As parcelas de solos adjacentes foram utilizadas com roças e, em seguida abandonadas há mais de 30 anos, agora também são cobertas por floresta secundária alta e densa, que recentemente está tendo exploração seletiva de madeira.

3.2.2. Manaus - Encontro das Águas (EA)

A área pertence à ONG Soka Gakai Internacional, foi adquirida em 1989, quando então era uma fazenda com a maioria da área formada por pastagens abandonadas em fase de regeneração natural. A vegetação secundária natural foi mantida, desenvolvendo capoeiras que atualmente têm aproximadamente 20 anos de idade. A topografia da área é relativamente plana na TP, enquanto a TM apresenta uma pendente moderada; a área de solo adjacente (LA) tem topografia marcadamente plana.

3.2.3. Rio Preto da Eva (RPE)

Grande parte das parcelas com TP encontra-se em pequenos platôs de uma capoeira que não é roçada há 30 anos, mas apresenta uma floresta secundária baixa e aberta. Já a parcela de TM e LA, foram exploradas por madeireiras, depois com roças (cultivos agrícolas de ciclo curto) e em seguida abandonadas. A exploração madeireira ocorreu há mais de 30 anos. A área de TM apresenta uma vegetação pouco densa e estreita além apresentar numerosos cipós finos e plantas trepadoras que invadem as copas de árvores baixas, todas as áreas apresentam uma topografia relativamente plana.

3.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Em cada um das parcelas foram abertos perfis modais para amostragem do solo e também foram instalados três sistemas de extração de solução do solo (SESS); cada sistema de extração de solução do solo (1, 2 e 3) constou de três extratores (a, b, c), instalado nas profundidades de 20 cm, camada orgânica (CA) e 1 m (Figura 2 e Tabela 1).

Tabela 1. Profundidades dos extratores “b” segundo as camadas orgânicas (CA) dos solos antrópicos (TPI) dos três locais de estudo.

Local	ATM		EA		RPE	
Tratamento	TP	TM	TP	TM	TP	TM
Repetição	Extrator "b" (cm)					
1	32	37	45	36	60	36
2	41	47	30	27	64	30
3	41	37	30	27	55	40

No tratamento LA (controle), a profundidade do extrator “b” foi à mesma do tratamento TP e TM correspondente em cada área estudada.

A distribuição dos sistemas de extração de solução do solo (SESS) dentro de cada parcela experimental, que tinha 20 m x 80 m de extensão, foram feitas de forma sistemática, com distancias iguais das margens e entre si, com a finalidade de abranger mais eqüitativamente a área (Figura 3).

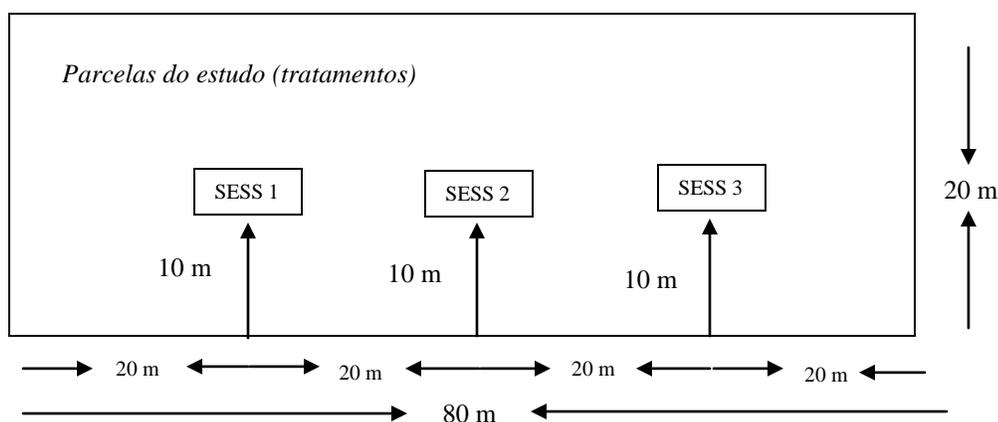


Figura 3. Distribuição sistemática dos Sistemas de Extração de Solução do Solo (SESS) dentro das parcelas.

3.4. PROCEDIMENTO AMOSTRAL

3.4.1. Amostragem do solo

Escavou-se um (1) perfil modal, em cada tipo de solo estudado (TP, TM, e LA), com dimensão de 1 m x 1 m x 1 m para a descrição morfológica (Lemos & Santos, 1996). (Figura 4). Coletaram-se amostras com estrutura deformada e indeformada nos diferentes horizontes pedogenéticos identificados, para determinações físicas e químicas no solo: densidade aparente, granulometria, pH em água e KCl, determinação de concentrações de C e N total, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Zn.

A partir do perfil modal do solo, foram feitas tradagens aleatórias de cinco (5) pontos adicionais a cada 10 m, tratando de cobrir toda a parcela, para obtenção de repetições de amostragem (Figura 5). As amostras deformadas de solo foram armazenadas em sacos plásticos de 0,5 kg, sendo posteriormente secas ao ar, limpas de qualquer resíduo, peneiradas em peneiras de 2 mm, formando amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) para análise de laboratório.



Figura 4. Perfis modais abertos nos diferentes tipos de solo em estudo: Terra Preta (TP), Terra Mulata (TM) e Solo Adjacente (LA).

Parcelas do estudo (tratamentos)

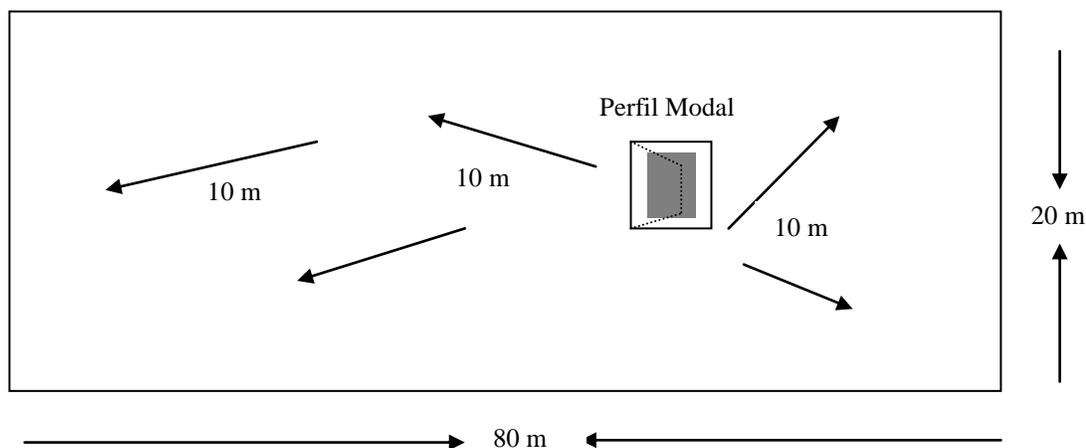


Figura 5. Procedimento de amostragem com tradagem aleatória a partir do perfil modal.

3.4.2. Amostragem da solução do solo

As amostras de solução de solo foram obtidas com os extratores de solução com cápsulas de cerâmica porosa com 23 mm e 60 mm de altura, coladas em um dos extremos de tubos de PVC (Figura 6), os quais (distribuídos em baterias de três unidades por caixa de isopor, Figura 7A) tiveram três medidas a diferentes profundidades: duas delas com medidas padronizadas a 0,2 m (extrator “a”) e 1,0 m (extrator “c”); a outra medida (extrator “b”) foi feita logo abaixo do final da camada escura (CA) de Terra Preta do Índio (solos antrópicos: TP e TM) de cada uma dos locais em estudo (ATM, EA e RPE, Figura 7B). Esses extratores possibilitaram a coleta de amostras de solução do solo ao longo do tempo em cada uma das parcelas representando os três tratamentos do estudo. A instalação dos extratores foi realizada em fevereiro de 2008, e o período de amostragem compreendeu os meses de março 2008 a janeiro de 2009, com coletas efetuadas quinzenalmente em cada ponto.

As coletas foram realizadas seguindo várias etapas, com auxílio de uma bomba de vácuo para gerar uma diferença de pressão, aplicando-se uma pressão de 0,6 bar no sistema cápsula-solo (Figura 7C), tornando possível a coleta da solução do solo. Após a instalação, o sistema foi deixado equilibrar por um período de 30 dias, desprezando-se a primeira coleta. No campo, as amostras foram armazenadas em

recipientes previamente esterilizados e conservadas bem fechadas e sob refrigeração até sua chegada no laboratório para a análise correspondente da solução do solo: Determinação de carbono orgânico dissolvido (COD), NH_2 , NH_3 , NH_4 , PO_4 , Ca, K, Mg, Na. A coleta de solução do solo foi realizada em blocos inteiramente ao acaso, a cada 15 ou 20 dias, podendo estender-se até 30 dias nas épocas secas.

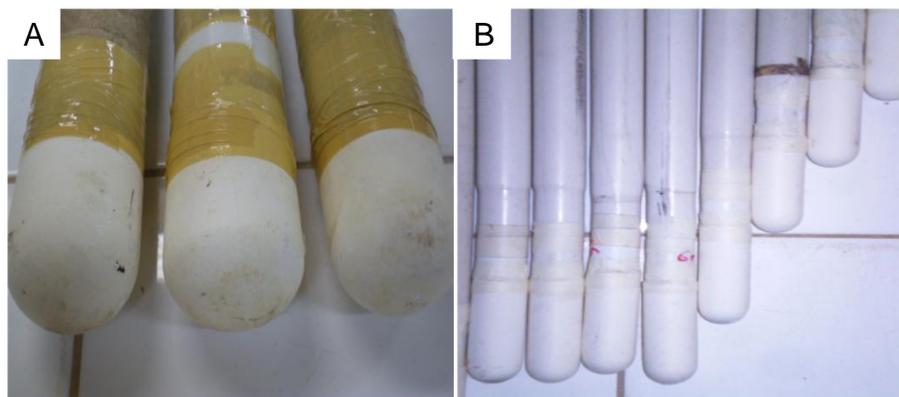


Figura 6. Cápsulas de cerâmica porosa com diâmetros de 60 mm (A) e 23 mm (B) de altura, coladas em um dos extremos dos tubos de PVC.

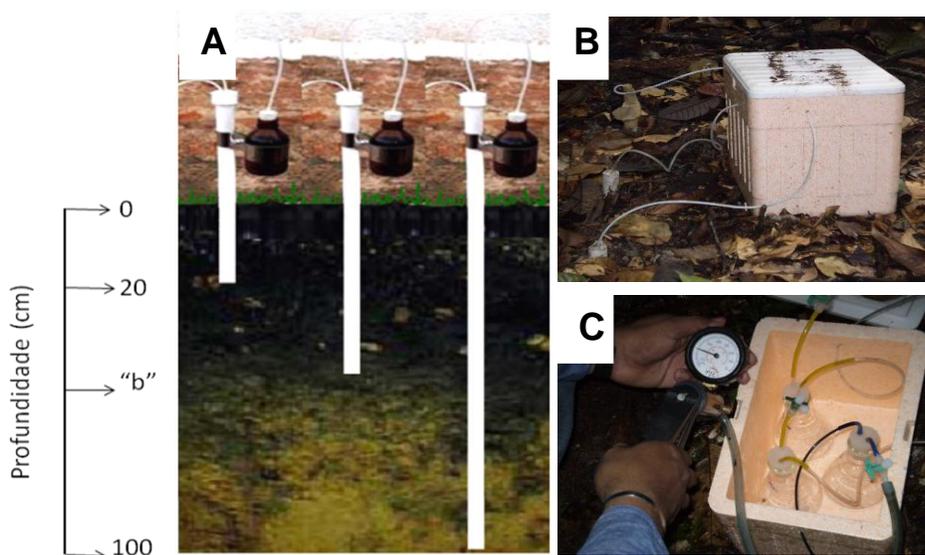


Figura 7. (A) Distribuição dos ESS em diferentes profundidades no solo; (B) Baterias de três unidades de ESS em caixa de isopor; (C) Bomba de vácuo para gerar diferença de pressão, aplicando-se uma pressão de 0,6 bar no sistema cápsula-solo.

Os sistemas de ESS (Figura 8A), além de cápsulas porosas coladas no extremo de tubos de PVC, estavam constituídos por outros componentes, como: capilares PU, interligados a um frasco erlemeyer de 250 ml, devidamente fechado com uma rolha de silicone com um pequeno furo para a inserção do capilar PU (Figura 8B), sendo possível o armazenamento da solução do solo dentro do erlemeyer.

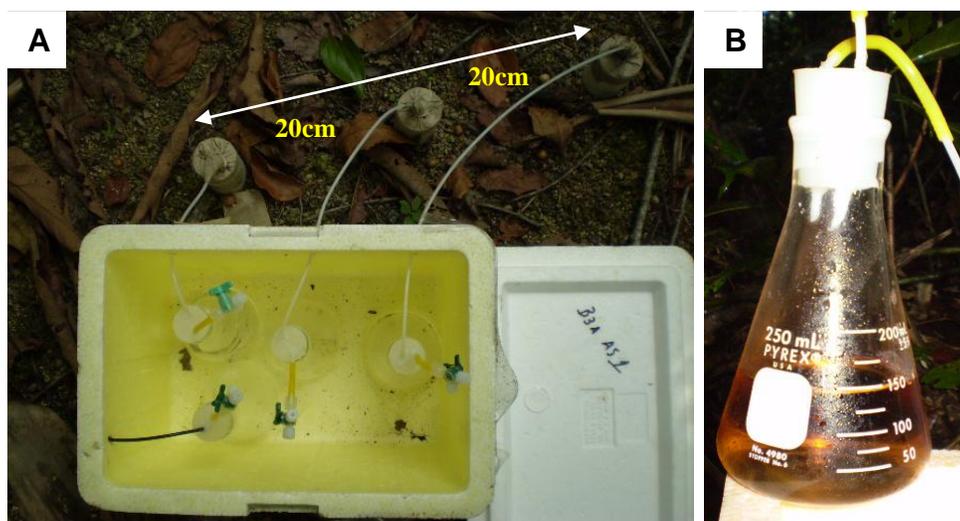


Figura 8. (A) Sistema de extração de solução do solo (SEE), instalado nas áreas de estudo; (B) Solução do solo coletada através dos SEE.

A solução do solo obtida por diferença de pressão era coletada com uma seringa de 50 ml previamente esterilizada (Figura 9C). Para determinação das concentrações de COD, estas amostras foram filtradas em filtros de membrana de vidro marca Whatman GFF de $0.7 \mu\text{m}$ (Figura 9D); após a filtragem as amostras foram colocadas em frascos de vidro borossilicatado I-CHEM. (neste caso de 20 ml), previamente calcinados à temperatura de $500 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 5 horas (Figura 9E). As amostras receberam no campo ou mais tardar no laboratório no mesmo dia da coleta, $0,25 \text{ ml}$ de cloreto de mercúrio (HgCl_2) com concentrações de até $300 \mu\text{M}$ de Hg como preservante. Posteriormente, as amostras foram mantidas em refrigeração, por um máximo de 30 dias, até serem analisadas.

Para as coletas de fase inorgânica, (concentrações de cátions e anions), as amostras receberam o mesmo procedimento da fase orgânica, só diferenciando-se o preservante e os frascos. Neste caso após a filtragem as amostras foram colocadas em frascos de polietileno HDPE marca Nalgene de 30 ml previamente esterilizados com água destilada, os quais já continham o thymol como preservante em concentrações de 100 mg / 100 ml de solução (Figura 9F). Foram mantidas em refrigeração até serem analisadas.

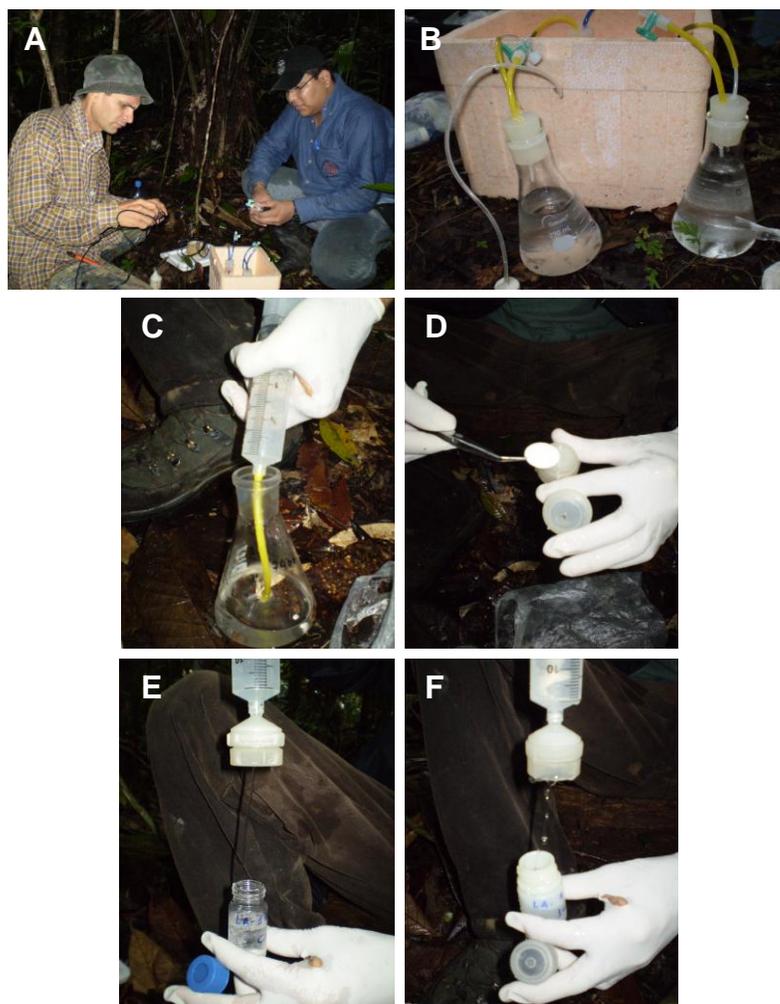


Figura 9. (A - D) Procedimento de amostragem da solução do solo; (E) Amostras orgânicas conservadas em HgCl_2 (300 μM de Hg) em vidros I-CHEM; (F) Amostras conservadas em thymol em frascos de polietileno HDPE.

A seringa utilizada para as coletas de amostras de solução do solo era lavá-las com água destilada uma vez terminada a coleta da solução de um extrator, antes de passar ao próximo extrator.

3.5. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

Todas as análises foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, com exceção das análises de carbono e nitrogênio totais que foram realizadas no laboratório de solos da Universidade Federal do Paraná.

3.5.1. Física do solo

3.5.1.1. Densidade aparente

Para estimar a densidade do solo foi utilizado o método do anel volumétrico, com amostras de solo de estrutura indeformada (Figura 10B). As amostras foram coletadas através de um anel de aço de bordas cortantes e volume interno conhecido (anéis de Kopecky) (Figura 10A). Depois de pesado, o conjunto de amostra e anel foi colocado em estufa a 105 °C durante 48 horas, para obtenção da massa do solo seco (EMBRAPA, 1997). O cálculo para obter a densidade aparente foi o seguinte:

$$\text{Densidade aparente (g/ cm}^3\text{)} = \text{Massa (g) / Volume (cm}^3\text{)} \quad (1)$$

Onde massa se refere ao peso seco da amostra e volume se refere ao volume interno do anel de Kopecky.

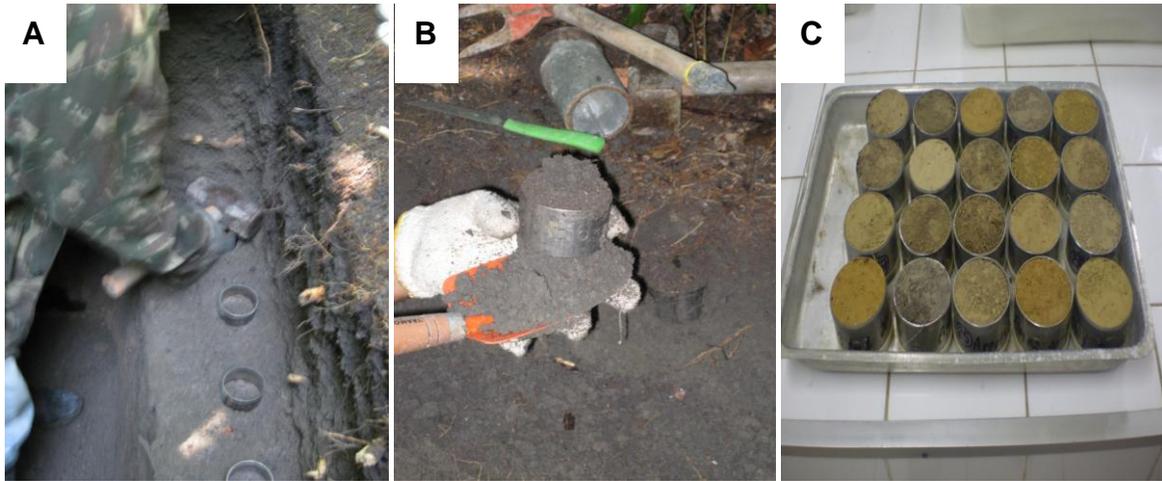


Figura 10. (A) Amostragem nos intervalos verticais dos horizontes do perfil modal; (B) Amostra indeformada com os anéis de Kopeck;. (C) Amostras prontas para serem secas em estufa.

3.5.1.2. Granulometria

Para determinar a granulometria do solo foram quantificados os teores de argila pelo método da pipeta, separando as frações de areias por meio de tamisamento, sendo o teor de silte calculado por diferença (Embrapa, 1997). Utilizou-se peróxido de hidrogênio (H_2O_2) para queimar a matéria orgânica das amostras de solo, foi utilizado o pirofosfato de sódio ($Na_4P_2O_7$) como dispersante químico, sob 15 minutos de agitação em um agitador mecânico de alta rotação. Após a dispersão do solo, a fração areia foi retida em uma peneira e a solução restante transferida para uma proveta onde então, pipeta-se 20 ml da suspensão para determinar a argila após determinado tempo de decantação (Figura 11).



Figura 11. Procedimento para determinação da granulometria do solo pelo método da pipeta e tamisação.

3.5.2. Análises químicas

3.5.2.1. Macronutrientes e micronutrientes do solo

A determinação de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, foi feita por meio de extração com cloreto de potássio ($\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$) (Silva, 1999). Cálcio, magnésio e alumínio foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica – EAA (Figura 12A), com a adição de solução de óxido de lantânio 0,5% para evitar interferências na leitura. Para a determinação de fósforo disponíveis e o potássio, ferro, zinco e manganês foram feitas extrações com solução Mehlich 1, também chamada de solução de duplo-ácido ou Carolina do Norte (Silva, 1999), que é constituída por uma mistura de $\text{HCl } 0,05 \text{ M} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ M}$. O emprego dessa solução como extratora de P, K, Fe, Mn e Zn baseia-se na solubilização desses elementos pelo efeito de pH, entre 2 e 3, sendo o papel do Cl^- o de restringir o processo de readsorção dos fosfatos recém extraídos, o K, Fe, Mn e Zn, foram medidos por espectrofotometria de absorção atômica, enquanto a determinações do P foram feitas por colorimetria no espectrofotômetro (Figura 12B), usando molibdato de amônio (MoNH_4) e ácido ascórbico a 3%.

3.5.2.2. Carbono orgânico total e nitrogênio total

Após as amostras terem sido secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm, as mesmas foram moídas e passadas em peneiras de 212 μm , com a finalidade de aumentar a homogeneidade das amostras; guardadas em frascos plásticos, foram posteriormente pesadas em cápsulas de estanho com aproximadamente 25 a 30 mg de solo. As análises do carbono e nitrogênio totais dos solos foram realizadas em analisador Vario Max CN. (Figura 12C).

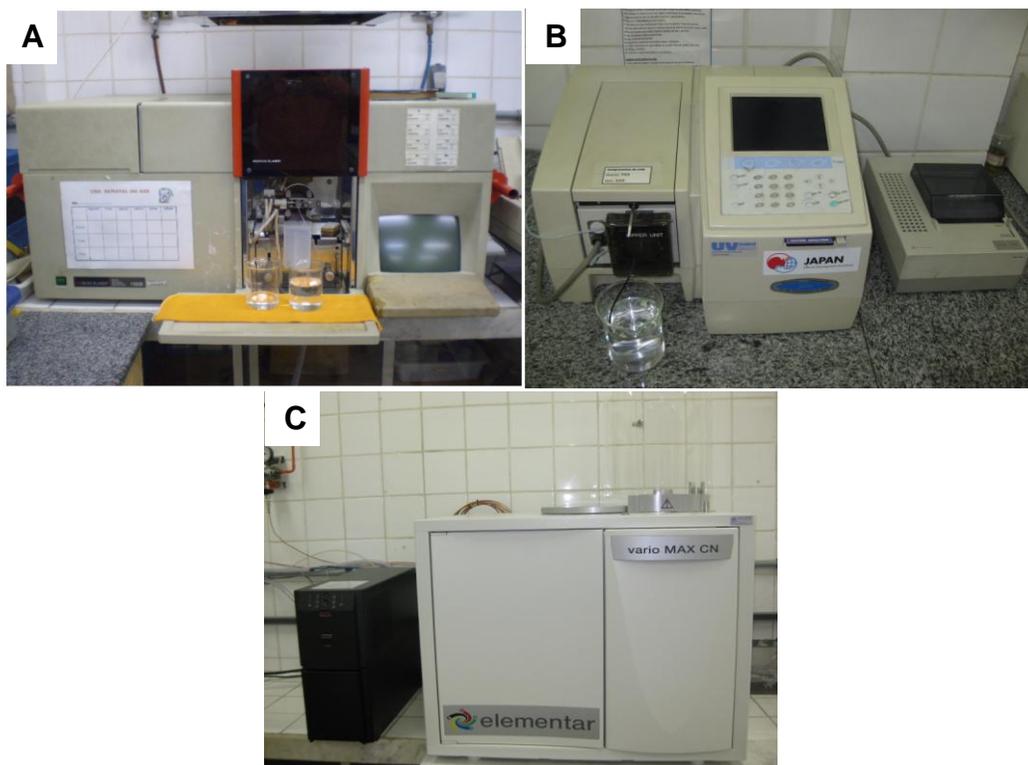


Figura 12. (A) Espectrofotômetro de Absorção Atômica, (B) Espectrofotômetro de Colorimetria, (C) Auto analisador de carbono e nitrogênio.

3.6. ANÁLISE QUÍMICA DA SOLUÇÃO DO SOLO

As análises de carbono orgânico dissolvido (COD), cátions e ânions da solução do solo foram realizados no laboratório de Águas da Coordenação de Pesquisas de Recursos Hídricos e Clima (CPRHC) do INPA.

A determinação do COD foi realizada em analisador de Carbono Orgânico Total (SHIMADZU modelo TOC 5000A) (Figura 13A), que tem como princípio analítico a detecção de CO₂ por infravermelho não dispersivo. É feita a combustão das amostras a 690°C e o CO₂ gerado é quantificado. A determinação das concentrações de cátions (Na, NH₄, K, Mg e Ca) e ânions (NO₂, NO₃, PO₄, SO₄, Cl) foi feita por cromatografia líquida, no equipamento DIONEX modelo DX1000 (Figura 13B).

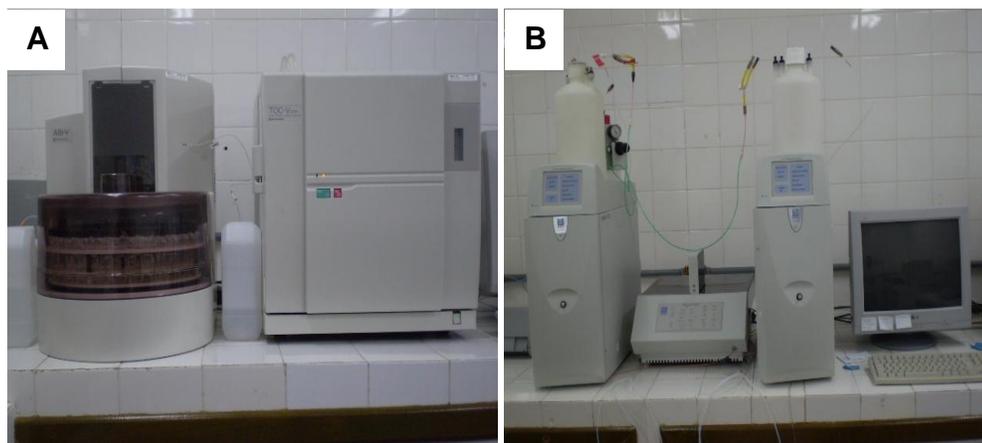


Figura 13. (A) Analisador de carbono total SHIMADZU 500A, (B) Cromatógrafo líquido DIONEX 1000.

3.7. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística utilizando o programa livre R 2.10. Foi feita análise de variância e posteriormente o teste de comparação de médias pelo teste de Tukey. Os dados foram analisados em blocos inteiramente casualizados com três tratamentos. Os blocos eram as localidades e os tratamentos eram as áreas com horizontes antrópicos (TP, TM) e horizontes não antrópicos (LA). As diferenças foram consideradas significativas de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Além de análises de regressão e correlação para alguns das variáveis.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização dos solos estudados

4.1.1. Caracterização física

Em geral, as áreas de Terra Preta (TP) mostraram-se muito variáveis quanto à granulometria (Figura 14) com a classificação textural variando de arenosa para argilosa. Na TP de Rio Preto da Eva (RPE), há o predomínio da fração areia (areia > 80%), enquanto na TP do Encontro das Águas (EA) há o predomínio da fração argila (70-80% respectivamente). Comparada às outras áreas, a TP do Autaz Mirim (ATM) possui textura média, com aproximadamente 60 % de areia, 30 % de argila e 10 % de silte. Nenhuma das áreas de TP apresentou variação textural acentuada com o aumento da profundidade.

Em geral, as áreas de TM se mostram homogêneas em relação os teores de areia. Contudo, duas das três áreas de estudo nas TM (EA e RPE) apresentaram um gradiente de argila aumentando com a profundidade, que varia entre 10% de argila na superfície até quase 50% a 1 m. Em contraste, na área de ATM a TM, que tem em torno de 20 % de argila, não apresentou variação em profundidade, sendo a textura da mesma semelhante à da TP de ATM.

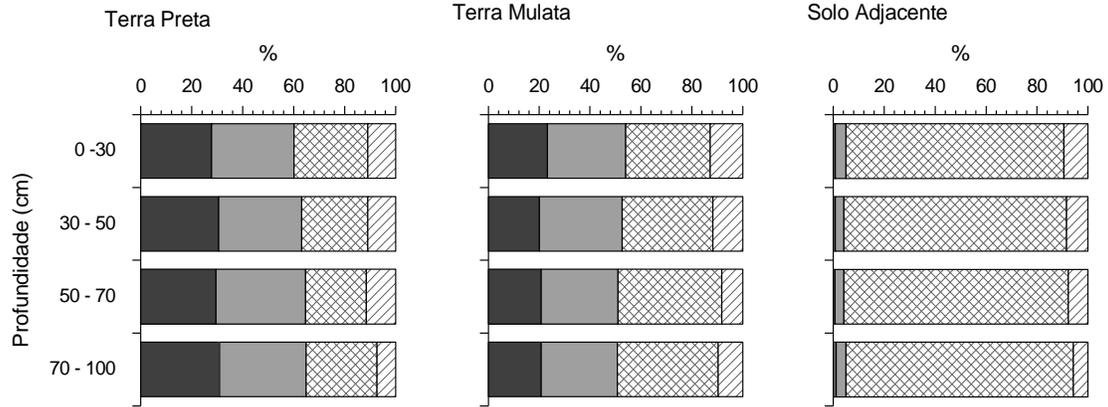
Nos horizontes não antrópicos dos solos adjacentes (LA) de todas as áreas estudadas, os teores de argila foram muito superiores aos dos solos antrópicos (Figura 14). Os LA de ATM e EA ambos tem teores de argila >85%, enquanto que o solo adjacente de RPE tem textura menos argilosa, em torno de 50%.

Tabela 2. Resultados das análises físicas e químicas dos três tipos de solo (TP, TM, LA) ate uma profundidade de 20 cm nas áreas de estudo (ATM, EA e RPE).

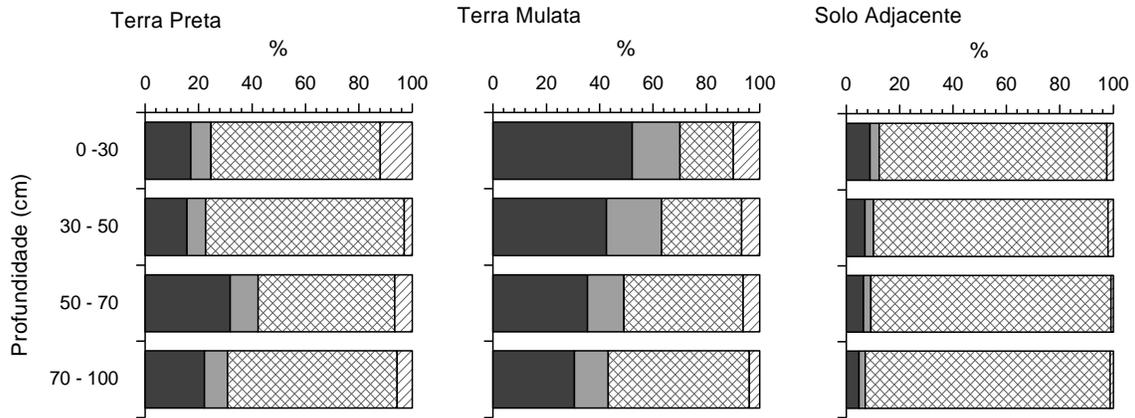
Local	SOLO	Prof.	AREIA	ARGILA	SILTE	DA	pH	pH	Ca	Mg	K	Al	P	Fe	Zn	Mn	SB	CTC	V	m
		(cm)	%	%	%	g/cm ³	H ₂ O	KClcmolc kg ⁻¹mg/kg.....			...cmolc kg ⁻¹ ...		%	%		
ATM	TP	0 - 20	60,14	28,91	10,94	1,10	4,21	3,80	0,93	0,05	0,07	2,20	7,05	102,60	0,46	0,70	1,05	3,25	32,42	67,58
	TM	0 - 20	54,11	33,10	12,79	1,29	3,84	3,55	2,07	0,08	0,06	2,10	5,97	165,36	1,62	0,88	2,21	4,31	51,34	48,66
	LA	0 - 20	4,95	85,62	9,43	0,90	3,90	3,58	1,47	0,09	0,52	5,51	2,48	133,72	0,88	2,78	2,09	7,60	27,46	72,54
EA	TP	0 - 20	24,65	63,36	11,99	1,12	5,58	5,10	4,85	0,82	0,08	0,22	63,79	10,48	10,98	21,75	5,75	5,97	96,32	3,68
	TM	0 - 20	70,09	19,95	9,95	1,40	4,16	4,07	0,36	0,09	0,03	1,81	17,21	95,70	1,37	4,92	0,47	2,28	20,68	79,32
	LA	0 - 20	12,41	85,16	2,43	0,78	3,57	3,68	0,07	0,05	0,05	5,07	5,13	82,48	1,08	1,43	0,17	5,24	3,30	96,70
RPE	TP	0 - 20	87,36	9,13	3,50	1,27	4,33	4,03	0,12	0,06	0,48	1,53	158,77	42,16	0,54	3,36	0,66	2,20	30,25	69,75
	TM	0 - 20	72,46	23,51	4,04	1,19	3,72	3,80	0,08	0,04	0,36	1,98	4,21	111,40	0,22	1,68	0,48	2,46	19,56	80,44
	LA	0 - 20	47,38	45,52	7,11	0,96	4,10	3,90	0,08	0,06	0,36	1,77	4,01	104,90	0,40	0,88	0,50	2,28	22,05	77,95

DA=Densidade Aparente;SB =Soma de bases; CTC = capacidade de troca de cations;V = saturação por bases; m = Saturação por Aluminio

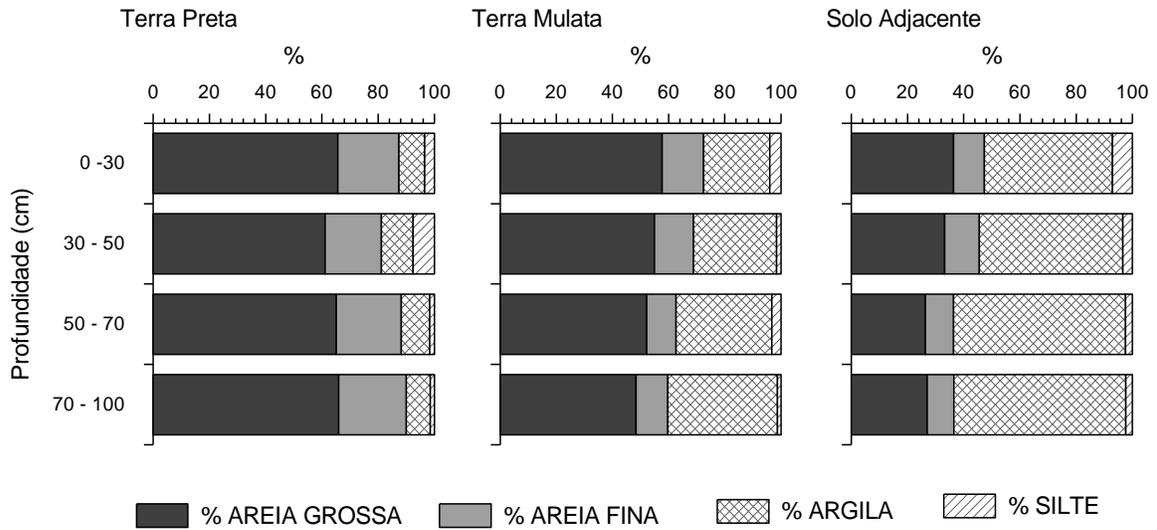
Autaz Mirim



Encontro das Águas



Rio Preto da Eva



% AREIA GROSSA
 % AREIA FINA
 % ARGILA
 % SILTE

Figura 14. Distribuição granulométrica (%) dos diferentes horizontes dos três tipos de solos (TP, TM, LA) nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RPE).

Os solos de TP e TM em geral apresentaram densidades do solo similares, variando entre 1,2 e 1,4 g/cm³, com a exceção da TM de EA que apresentou valores mais altos de densidade, variando de 1.4 g/cm³ na superfície do solo até 1.7 g/cm³ a 1 m de profundidade (Figura 15). Em contraste, os solos adjacentes apresentaram valores mais baixos do que os encontrados nas TP e TM, estando à densidade destes solos abaixo de 1,2 g/cm³.

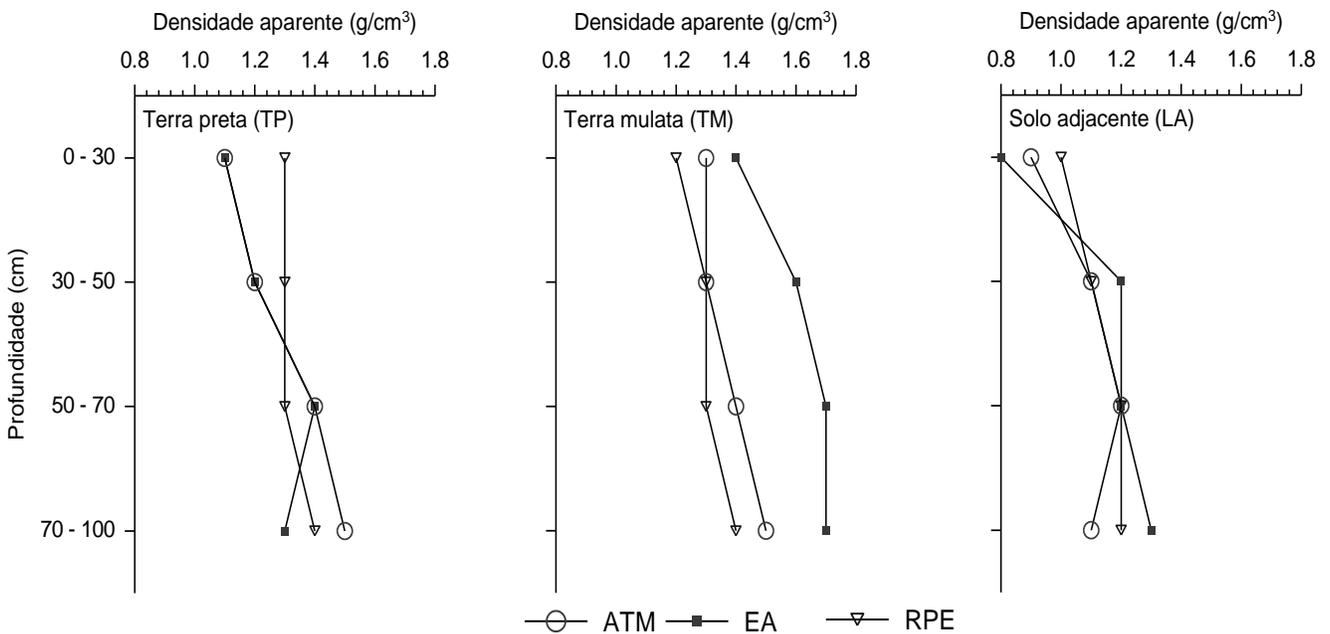


Figura 15. Densidade aparente dos diferentes horizontes dos três tipos de solos (TP, TM, LA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RPE).

4.1.2. Característica químicas do solo

4.1.2.1. Fósforo e Cátions trocáveis

As concentrações dos macronutrientes, P, K, Ca, Mg encontradas na superfície do solo (camada 0-20 cm), em geral obedeceram a ordem TP>TM>LA, enquanto os teores de Al seguiram ordem inversa (Tabela 2). Por conseguinte, teores de alumínio trocável (Al) tenderam a ser mais altos nos solos adjacentes do que nos horizontes antrópicos ($p<0,001$) (Figura 16). Em relação ao K, só houve diferenças significativas entre os solos antrópicos e adjacentes na área de ATM ($p<0,05$). Não entanto as áreas de EA e RPE, não apresentaram nenhuma diferença significativa entre os solos ($p=0,998$). Observando-se os perfis como um todo, os teores de Ca e Mg respectivamente não diferiram significativamente entre as áreas ($p>0,05$), com a única exceção da TP do ATM que apresentou altos teores de Ca quando comparada aos outros solos. Entretanto, nota-se também um efeito regional nos solos de EA e RPE uma vez os mesmos apresentaram concentração de Ca uniforme. Em termos de fósforo disponível (P), altas concentrações foram encontradas nas TP de EA e RPE, sobressaindo muito os solos antrópicos das três áreas estudadas, com diferenças significativas para os solos adjacentes ($p<0,001$). Ao contrário do que seria esperado para TP, em ATM os teores de fósforo formam similares a demais solos, variando entre 1 e 5 mg/kg. Com exceção do P, os solos mais arenosos de RPE tiveram os menores teores de nutrientes.

4.1.3. Micronutrientes

Na camada superficial de 0-20 cm do solo, com certa variação nas concentrações de Fe, Mn e Zn (Figura 17). Em relação ao Fe, as camadas de 0-20 cm do solo das três áreas apresentaram maiores concentrações nos solos de TM formando uma ordem de $TM > LA > TP$, mostrando diferenças significativas entre as TP e TM ($p < 0,05$). As TP mostraram diferenças significativas também com solos adjacentes ($p < 0,05$). Em relação ao Zn, os solos antrópicos e adjacentes na área de ATM, possuem baixa concentração de Zn, não mostrando diferenças significativas entre eles ($p = 0,22$). Na área de EA, as maiores concentrações estão nas TP com diferenças significativas entre as TP e TM e LA ($p < 0,01$). Na área de RPE os solos antrópicos e adjacentes não mostraram diferença entre si, mas as maiores concentrações foram maiores na TP ($p < 0,05$).

Autaz Mirim

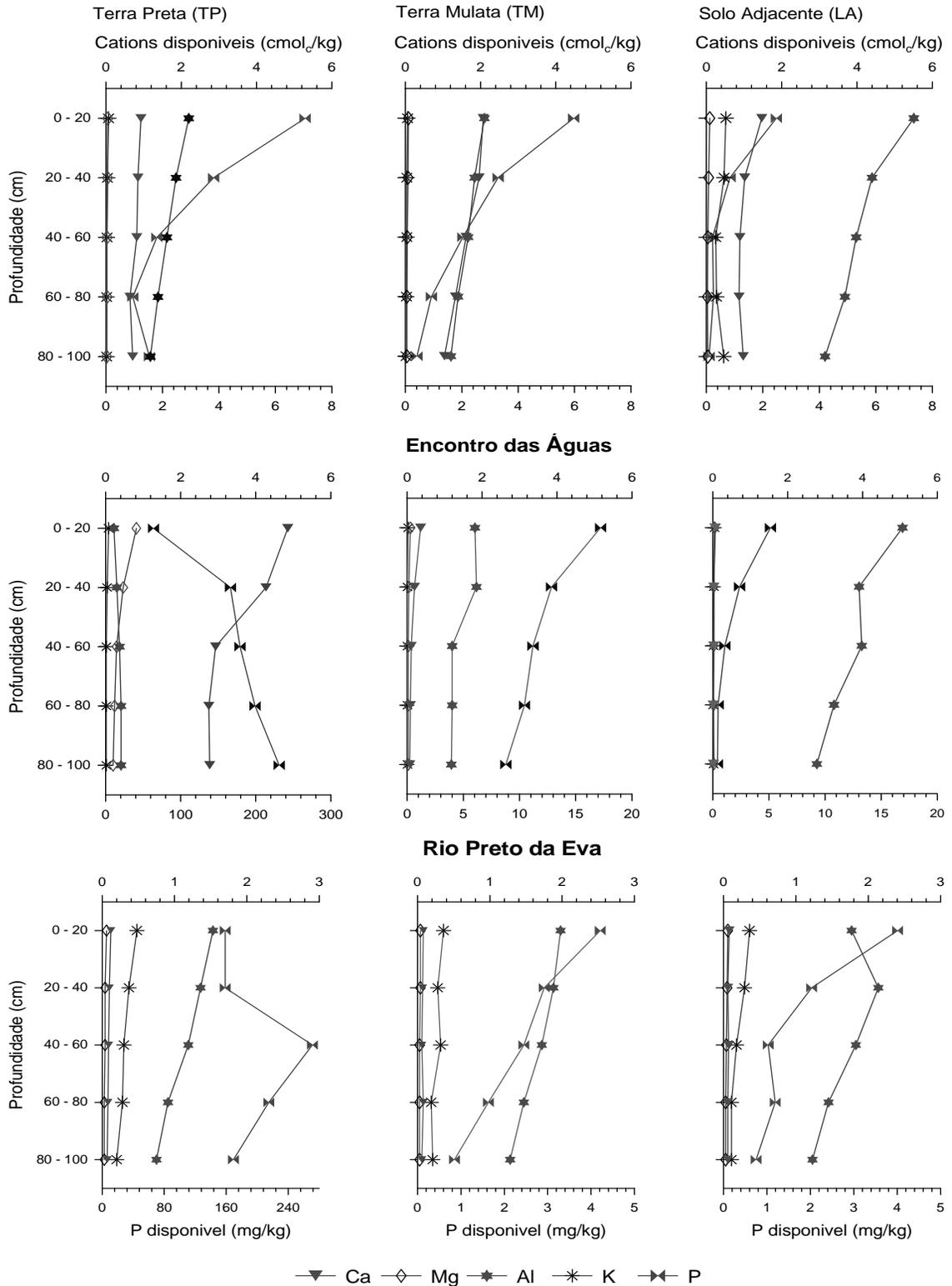


Figura 16. Concentrações de cátions trocáveis e fósforo até 1 m de profundidade, dos três tipos de solos (TP, TM, LA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RPE). Existem diferenças nos valores da legenda das TP, e nas TM e LA de EA.

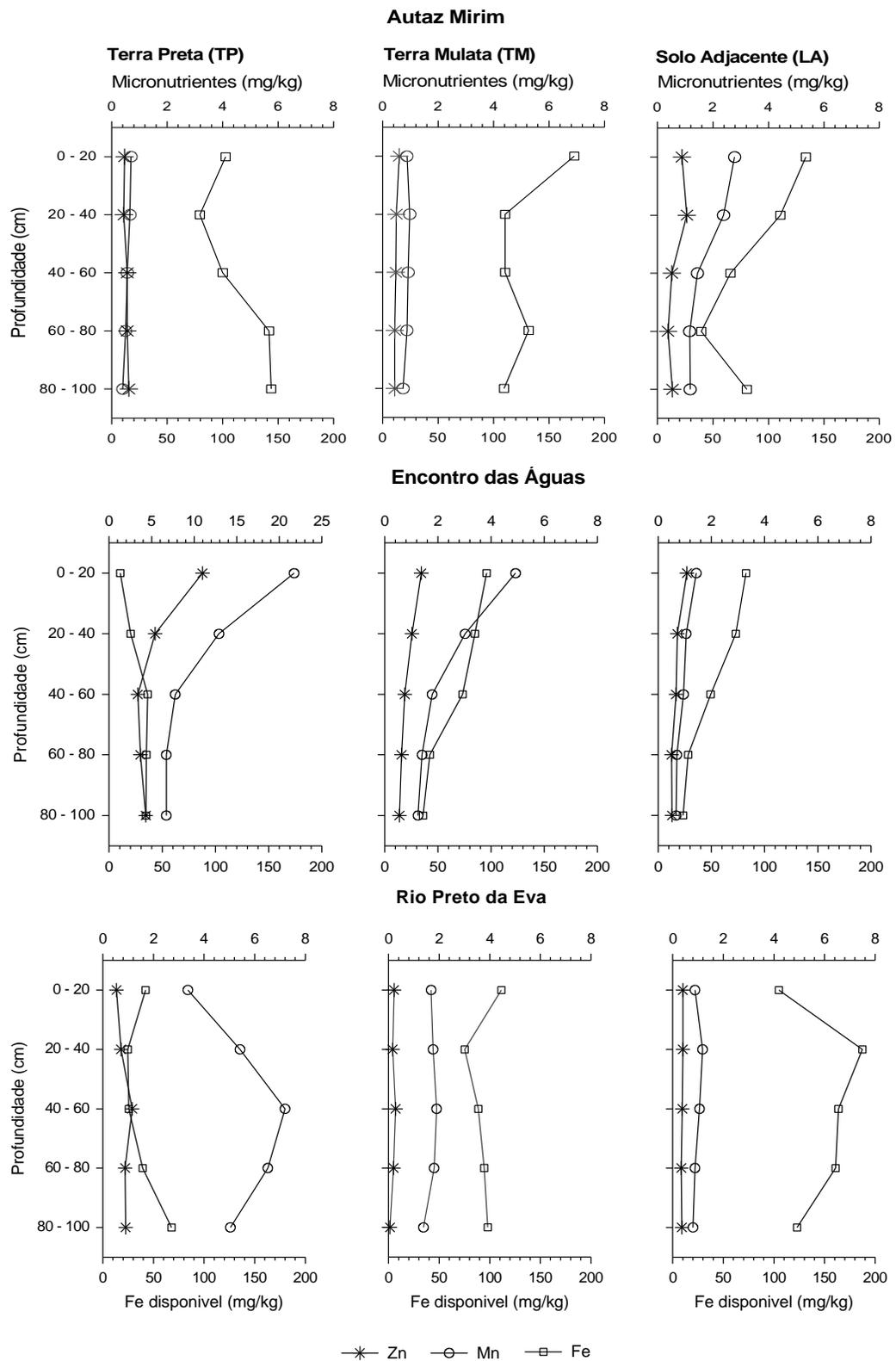


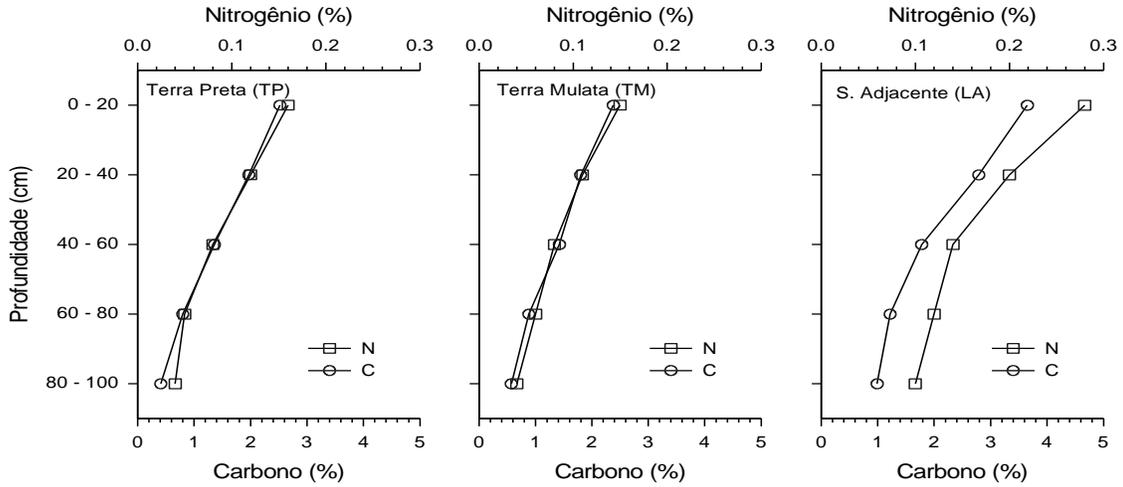
Figura 17. Concentração de micronutrientes trocáveis até 1 m de profundidade, nos três tipos de solos (TP, TM, LA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RPE), a unidade de micronutrientes (mg/kg) na TP de EA é diferente aos demais.

4.1.4. Carbono e Nitrogênio no solo

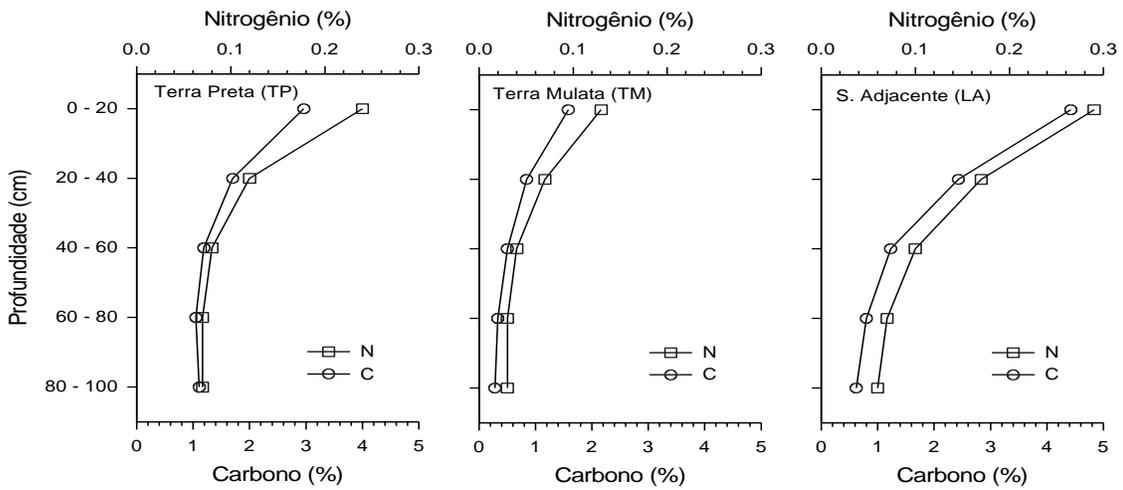
Em geral, as concentrações de carbono (C) para todas as áreas de estudo foram maiores nos solos adjacentes, apesar das diferenças morfológicas observadas nas TP e TM que poderiam sugerir maior concentração de C nestes solos. Os valores encontrados estão em torno de 3 - 4% nos solos adjacentes e 1,5 - 3% nos solos antrópicos; os maiores teores foram encontrados na camada superficial do solo, decrescendo em função da profundidade. A mesma relação foi encontrada nas concentrações de nitrogênio devido a que suas variações acompanham as de carbono (Figura 18). Os valores da concentração de nitrogênio estão entre 0,1% - 0,2% nos solos antrópicos e 0,2% - 0,3% nos adjacentes. Os solos adjacentes apresentaram diferenças significativas nas concentrações de carbono quando comparados com os solos antrópicos; por exemplo, em ATM as TP e TM não mostraram diferença, mas comparadas com o solo adjacente têm diferença significativa ($F=4,94$: $p<0,05$). Na área de EA, o resultado foi contrário, encontrando-se uma diferença significativa entre a TP e a TM ($F=9,09$: $p<0,05$), mas comparando TP e LA, não diferem significativamente nas concentrações de carbono ($p=0,93$). Em RPE, nenhum dos três tipos de solos (TP, TM e LA) difere significativamente ($p=0,84$) quanto às concentrações de carbono, Isso mostra a grande heterogeneidade dos solos antrópicos junto ao adjacente estudados neste trabalho.

Entretanto, observou-se que a concentração de C nos solos estudados variou em função da granulometria dos mesmos. Houve variação das concentrações de C em função dos conteúdos de areia e argila, em diferentes profundidades (Figura 19). Para a camada superior do solo, a concentração de carbono aumenta linearmente com a concentração de argila ($R^2 = 0.89$), enquanto que esta influencia decresce com o aumento da profundidade até a camada de 70-100 cm onde a importância da argila em influenciar o conteúdo de C volta a aumentar ($R^2 = 0.42, 0.02$ e 0.20 a 30-50, 50-70 e 70-100 cm, respectivamente). A areia destes solos provocou efeito contrário ao de argila, com concentrações de C decrescendo com o aumento de areia.

Autaz Mirim



Encontro das Águas



Rio Preto da Eva

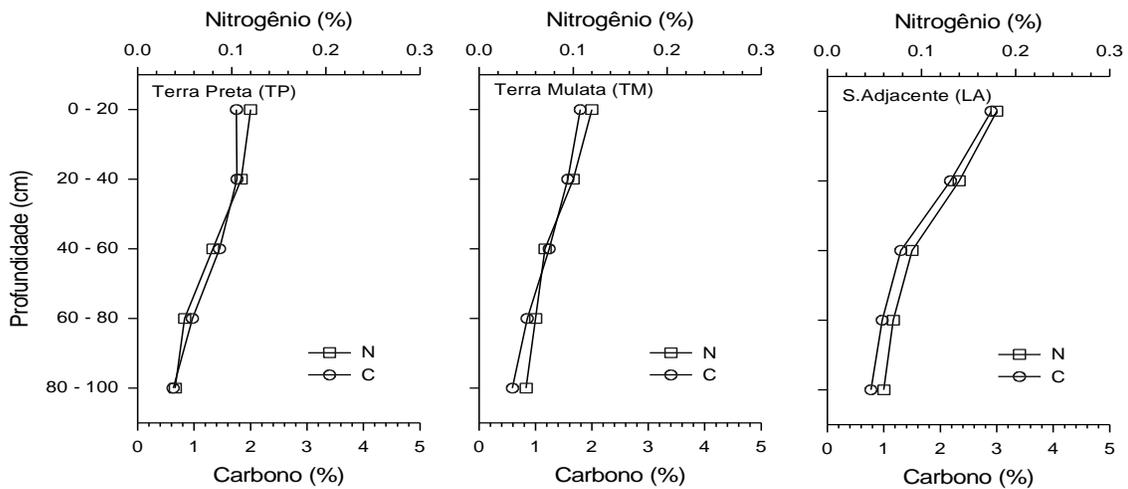


Figura 18. Concentrações de carbono e nitrogênio nos três solos estudados, nas diferentes áreas e profundidades até 1 m.

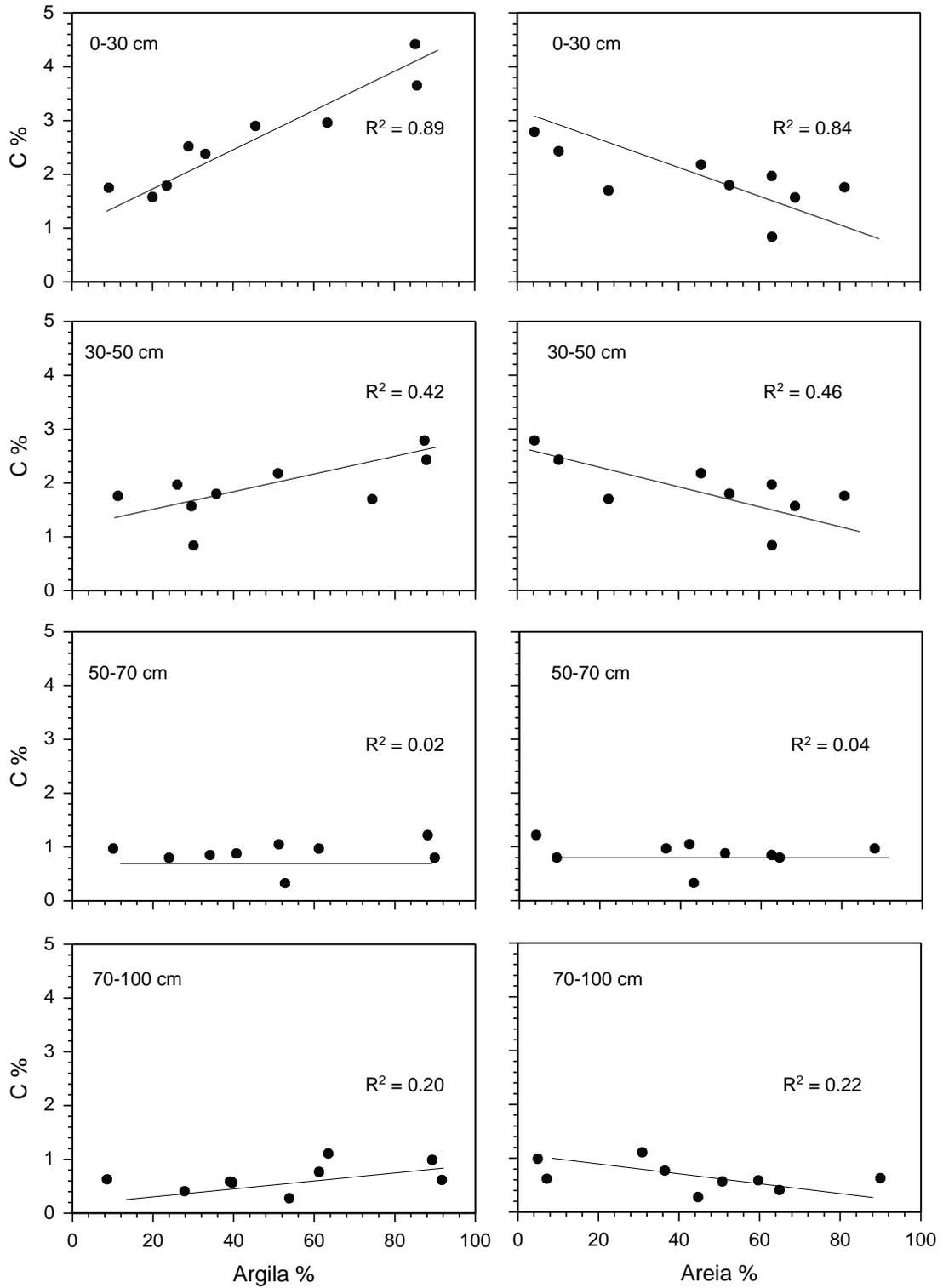


Figura 19. Relação entre concentração de carbono e a textura para todas as áreas de estudo.

4.1.5. Estoque de carbono no solo

Os solos adjacentes apresentaram os maiores estoques de carbono, a exceção no solo adjacente de EA, com valores entre 176 e 232 Mg C/ha até a profundidade de 1 m, enquanto que as TP variaram entre 165 e 213 Mg C/ha e as TM apresentaram os valores entre 112 e 193 Mg C/ha (Tabela 3).

As três áreas de estudos não apresentaram diferenças significativas entre si para as TPI, apresentaram diferença significativa entre as áreas de ATM e EA, além do ATM e RPE para os LA ($F=5,923$: $p<0,05$). As TM de ATM e EA mostraram diferença no estoque de carbono ($F=11,501$: $p<0,05$), as TM de RPE comparadas com as de EA, e as TM de ATM comparadas com a de RPE não mostraram diferenças significativas.

Os estoques de C (0-100 cm) nos solos adjacentes das áreas de ATM e EA foram maiores que nos solos com horizontes antrópicos ($p<0,05$). Entretanto os solos antrópicos e adjacentes da área de RPE, não mostraram diferença significativa entre eles no estoque de C ($F=2,138$: $p>0,05$).

Tabela 3. Somatório dos estoques de carbono nos três solos estudados até a profundidade de 1 m nas diferentes áreas

Áreas de estudo	TP	TM	LA
Mg C/ ha.....		
Autaz Mirim (ATM)	171,95	193,46	232,47
Encontro das Águas (EA)	212,87	111,55	176,45
Rio Preto da Eva (RPE)	165,36	151,37	178,82

Os somatórios dos estoques de carbono nos solos de TP, TM e LA divididos por profundidade, mostraram um gradiente que decresce em função da profundidade (Figura 20), o que pode estar relacionado à moderada densidade existente e à espessura dos horizontes variados. Estudos anteriores relatam que estoques de carbono total armazenados abaixo de 1m pode ser muito elevado do que os armazenados acima de 1 m (Trumbore, *et al*, 1995), O que não se mostra nesse estudo.

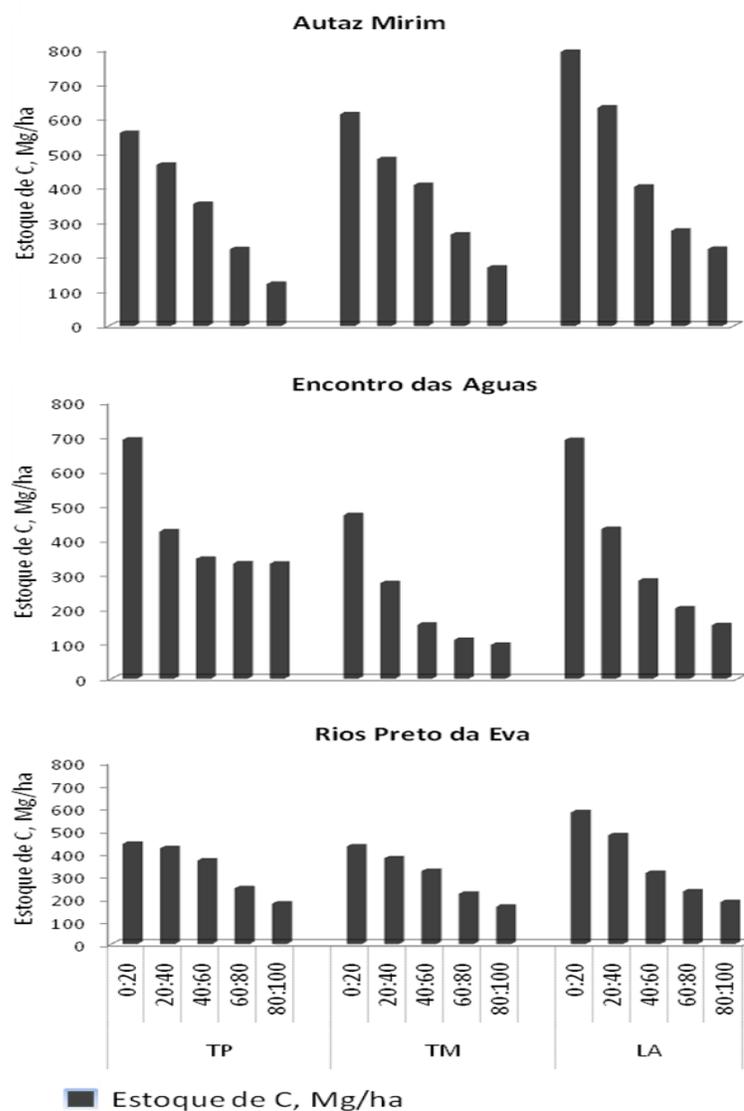


Figura 20. Somatório do estoque de carbono (Mg C/ha) nos três solos estudados divididos por profundidades.

4.1.6. Nutrientes na solução do solo

A Figura 21 apresenta valores acumulados de P, K, Ca, Mg, Na, na solução do solo. Estes valores representam a somatória das concentrações médias determinadas na água dos sistemas de extração da solução do solo (ESS), ao longo do período de estudo (12 meses, 10 coletas). Portanto, estes valores representam médias anuais de mobilização de nutrientes na solução do solo.

Em geral, o Na foi o elemento mobilizado em maior quantidade, com exceção das TP e TM do EA, onde o Ca foi o elemento em maior quantidade na solução do solo. Nas demais áreas, Ca aparece como o segundo elemento em quantidade, seguido por K e Mg. O fósforo por sua vez, apresentou valores acumulados muito menores do que os demais nutrientes: em geral, sua concentração ficou na ordem de 0 a 0,6 mg/kg (acumulado anual), enquanto que nas TP e TM de ATM os valores acumulados de P foram quase indetectáveis. Entretanto, as concentrações de P na solução do solo das TP e TM do EA foi ao menos uma ordem de magnitude acima das demais áreas. Em geral, as concentrações de elementos nos solos e em solução foram sistematicamente mais altas nas áreas do EA (Figura 16, 17, e 21).

Valores acumulados das diferentes formas de N em solução encontram-se na Figura 22. Onde um padrão pode ser observado: A mobilização de N na solução obedece à ordem EA>ATM>RPE (EA 299 mg/kg, ATM 98 mg/kg e RPE 27 mg/kg, acumulado das três formas de N em 1 ano). Contudo, se considerados em relação aos tipos de solo, observou-se que as TP foram os solos que menos mobilizaram N para a solução, com apenas 116 mg/kg ao longo de 1 ano. Os solos adjacentes mobilizaram 131 mg/kg enquanto que as TM mobilizaram a maior quantidade de N para a solução, em um total de 176 mg/kg. Seguindo esta mesma linha, houve diferença nas concentrações de bases dissolvidas que foram mobilizados de TP, TM e LA. Por exemplo, tomando-se a soma das bases mobilizadas para a solução do solo por cada tipo de solo ao longo do ano (Ca+Mg+K+Na dissolvidos), observou-se que os LA tendem a mobilizar menos nutrientes para a solução do solo (94 mg/kg) enquanto que TM foram as que mobilizaram a maior quantidade de bases (251

mg/kg). As TP por sua vez, apresentaram altos valores de mobilização de nutrientes, da ordem de 206 mg/kg, porém abaixo dos níveis encontrados nas TM.

Entretanto, quando se considera esta mobilização de bases em relação à quantidade de bases trocáveis nos solos (Figura 23A), observa-se que proporcionalmente os solos adjacentes são os que mobilizam mais bases, ou seja, apesar das concentrações mobilizadas em 1 ano serem comparativamente baixas (94 mg/kg), estas representam uma grande fração da reserva de bases trocáveis nestes solos. Por outro lado, as TP que apresentaram valores medianos de mobilização de bases (206 mg/kg), foram os solos com a menor proporção de mobilização, estando a mesma variando em torno de 10% apenas. As TM por sua vez, apresentam um padrão distinto em relação à mobilização proporcional de bases. A quantidade de bases trocáveis nestes solos é relativamente alta assim como é alta a proporção de bases mobilizadas nestes solos. Em outras palavras, em termos de proporção mobilizada, as TM se assemelham aos LA, porém, em níveis absolutos mobilizados, esta supera consideravelmente os das TP (251 mg/kg).

Similar análise foi realizada para concentrações de fósforo dissolvido mobilizados de TP, TM e solos adjacentes (Figura 23B). Durante o período de estudo, solos adjacentes mobilizaram a menor concentração para a solução do solo (apenas 1,5 mg/kg em 1 ano). Ao contrário do ocorrido com as bases, as TM mobilizaram níveis intermediários de fosfato para a solução do solo (3,3 mg/kg), o que representou aproximadamente a metade do mobilizado pelas TP (6,3 mg/kg). Quanto às proporções relativas a estes níveis de mobilização, estes valores mobilizados chegam a representar 100% dos estoques de P disponível em solos adjacentes, enquanto varia de 1 a 10 % em TP e TM. As Terras Pretas foram os solos com menor mobilização proporcional às concentrações de P disponível no solo.

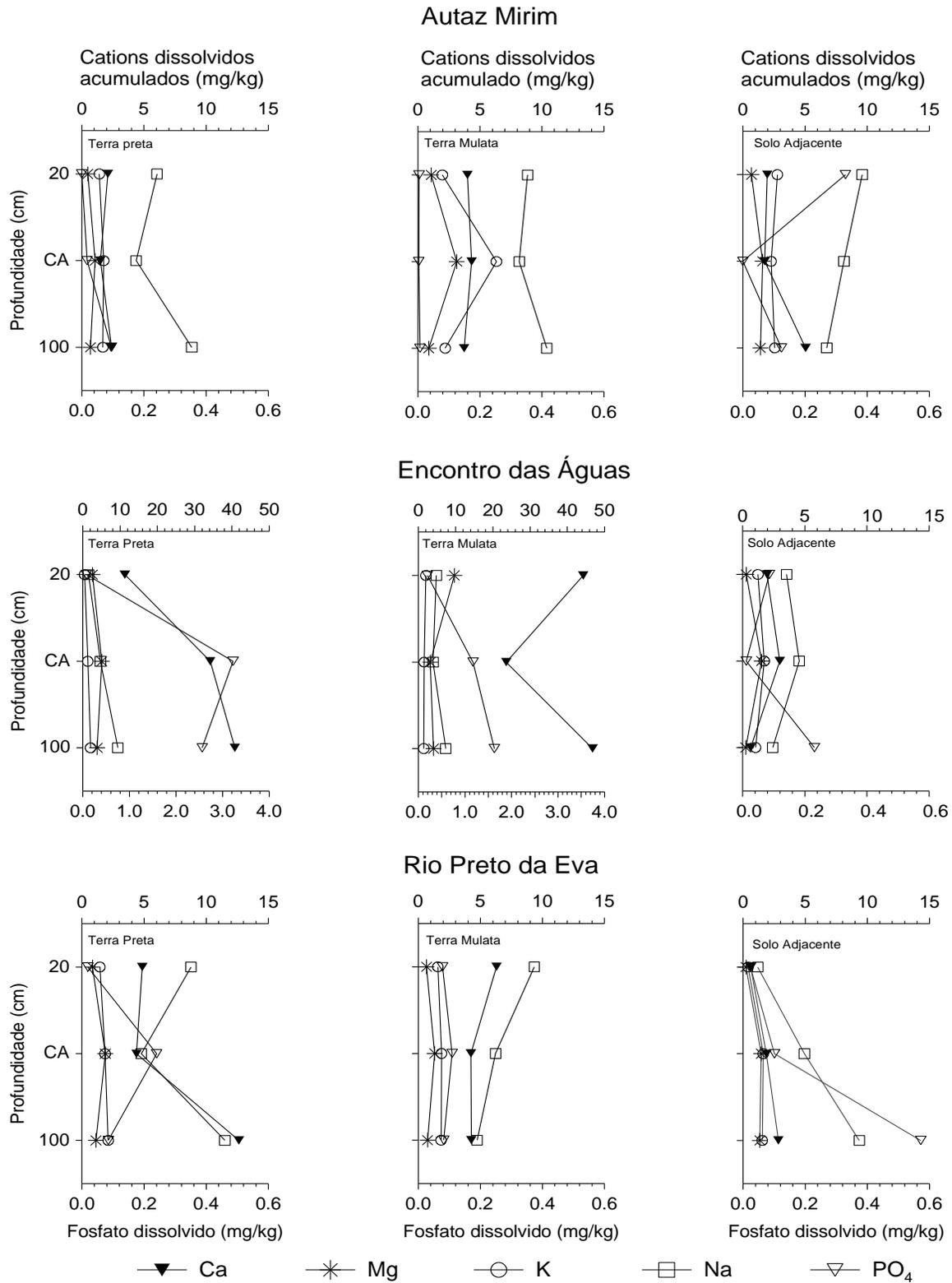


Figura 21. Macronutrientes e fósforo na solução do solo ao longo do estudo. Valores anuais acumulados para as três áreas. (nas TP e TM de EA mostram escala diferente no gráfico).

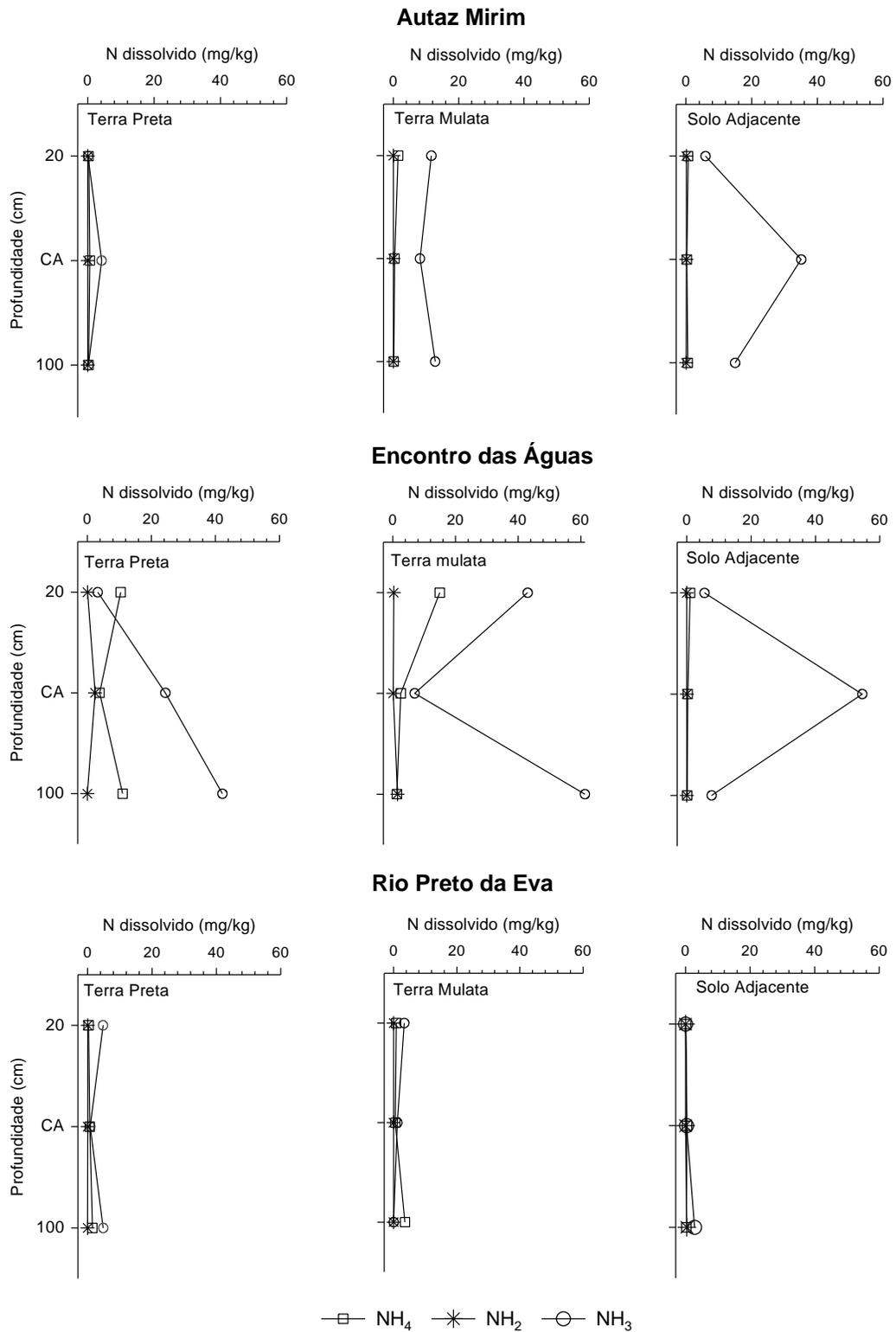


Figura 22. Valores anuais acumulados de formas de nitrogênio na solução do solo ao longo do estudo nas três profundidades dos ESS (20 cm, 100 cm e camada orgânica-CA).

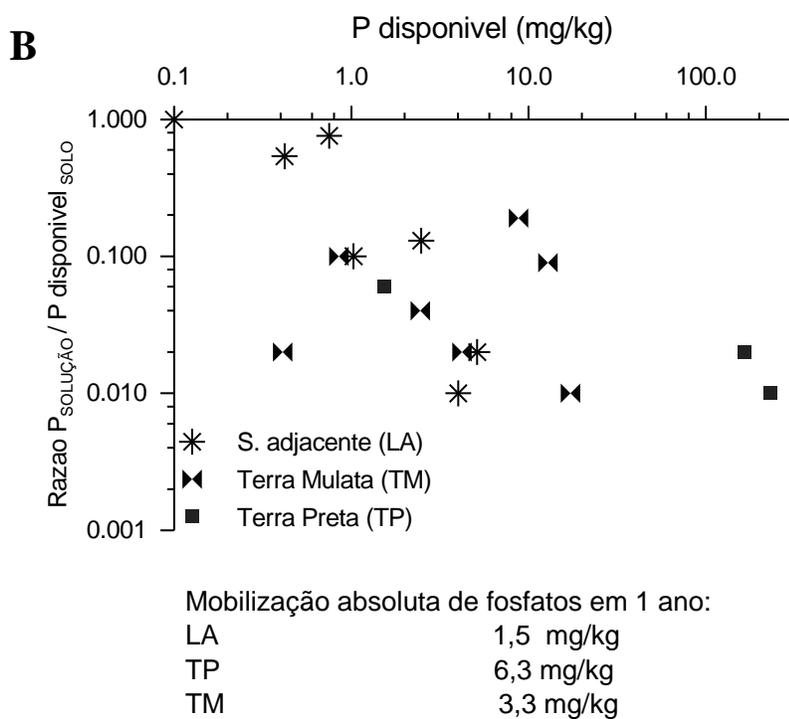
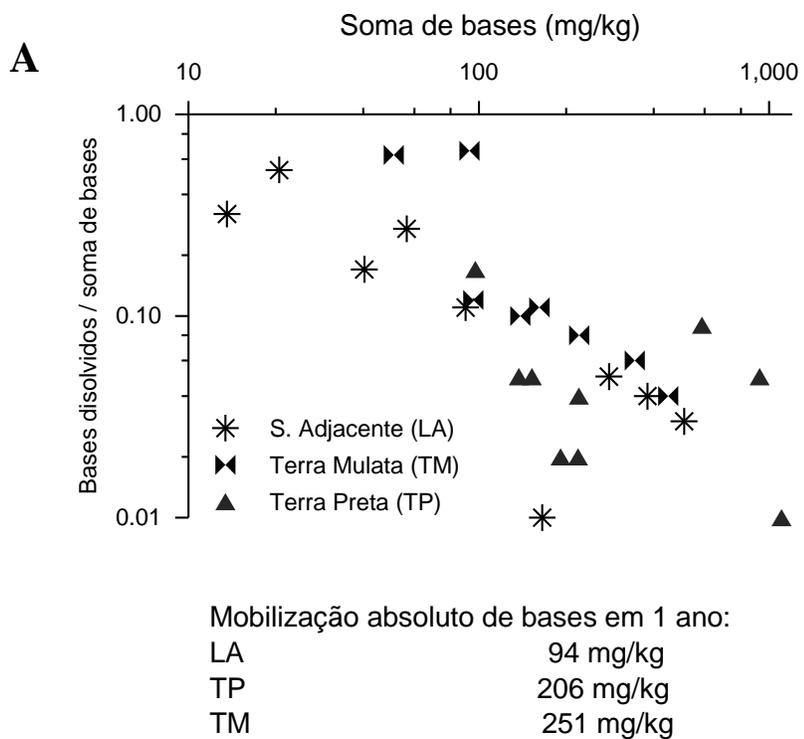


Figura 23. Proporções entre nutrientes dissolvidos e concentrações trocáveis nos solos. (A) bases, (B) fósforo.

4.1.7. Carbono Orgânico Dissolvido – COD no solo

A Tabela 4 apresenta os valores anuais de mobilização de COD, por profundidade. Os valores apresentados na Tabela 4 foram obtidos através do cálculo das integrais de cada linha de dados (Figura 24), determinando assim a área de cada uma, e, por conseguinte uma melhor estimativa do somatório anual de mobilização de COD. Se calculado os somatórios dos dados, os resultados não poderiam ser comparados diretamente por causa dos dados faltantes em algumas das áreas. Esta falta de dados ocorreu por falha dos coletores em extrair solução do solo em algumas datas, devido a potenciais de água no solo mais negativas do que os potenciais dos extratores. Portanto, para fins de comparação entre os tipos de solo, assumiu-se uma linearidade entre áreas das curvas e COD.

Aparentemente, a quantidade de COD mobilizada durante o período de estudo e o impacto da sazonalidade nestes fluxos varia com o tipo de solo. A mobilização de COD nas TP foi a menor entre todos os tipos de solo (COD das TP de 464, 189 e 465 mg L⁻¹ para ATM, EA e RPE, respectivamente). Os mais altos valores mobilizados de COD foram encontrados nos solos adjacentes (COD solos Adjacentes de 624, 297 e 662 mg L⁻¹ para ATM, EA e RPE, respectivamente), sendo intermediários para as TM (COD TM de 511, 371 e 634 mg L⁻¹ para ATM, EA e RPE, respectivamente).

Além de apresentarem os mais altos valores de COD acumulados durante o ano, os solos adjacentes apresentaram a mais alta variabilidade sazonal; a magnitude dos picos de COD dos solos adjacentes foi mais alta do que nos demais solos na maioria dos casos, mas em especial no EA (Figura 24). As TM apresentaram características intermediárias quanto à variabilidade sazonal, apresentando considerável variação nos fluxos de COD, principalmente na superfície do solo e a 1 m de profundidade. Em contraste, as TP foram os solos que apresentaram os menores valores acumulados de COD e a menor variabilidade sazonal (Figura 24, Tabela 4). Em geral, os fluxos de COD tenderam a ser menores durante a estação chuvosa, (fim de outubro a início de abril) e, por conseguinte

maiores na estação seca (abril a setembro), embora tenha havido alguma variabilidade entre as áreas.

A Figura 25 apresenta valores médios de COD nos diferentes perfis, para a estação seca e chuvosa. Observa-se que a variação em COD foi predominantemente micro regional, havendo padrões similares dentro de uma mesma área. A Figura 25 também demonstra com clareza as diferenças de COD entre os diferentes solos. Se traçada uma linha vertical imaginária na concentração de 20 mg/l de cada gráfico, é possível observar um gradiente de COD na ordem LA > TM > TP. No entanto, apesar dos fluxos aparentarem ser maiores na estação seca (Figura 25), as médias de época seca e chuvosa não conseguiram captar esta variabilidade.

Em termos dos fatores que afetam a mobilização de carbono orgânico para a solução, a Figura 26 apresenta a influência das concentrações de carbono nos solos sobre os fluxos de COD. Em geral, observa-se que os valores de COD tendem a decrescer com o aumento da concentração de carbono, porém este efeito ocorre em magnitude diferente nos diferentes tipos de solos, destacando-se as TP que apresentaram forte correlação negativa entre mobilização de COD e concentrações de carbono no solo. Entretanto, uma análise estatística envolvendo as variáveis do solo que possivelmente influenciariam a mobilização de COD para a solução, não produziu resultados significantes. A Figura 27 apresenta os resultados de Análise dos Componentes Principais (PCA) envolvendo as variáveis C, argila, Fe, Al e capacidade de troca catiônica (CTC), as quais são rotineiramente atribuídas como fatores passíveis de influenciar os fluxos de COD. Esta análise indicou que fatores como teor de carbono no solo, argila, Al e CTC encontram-se fortemente relacionados uns com os outros no ambiente do solo, porém não ficou evidenciada nenhuma relação com COD além da encontrada com os teores de Fe ($R^2 = 0.06$). Algumas relações entre COD e concentrações de carbono, argila e Fe, aparecem apenas no eixo PCA3, que explica 18% da variação encontrada. Estes resultados foram confirmados em regressões múltiplas, onde os valores de COD não puderam ser atribuídos satisfatoriamente a nenhum fator edáfico.

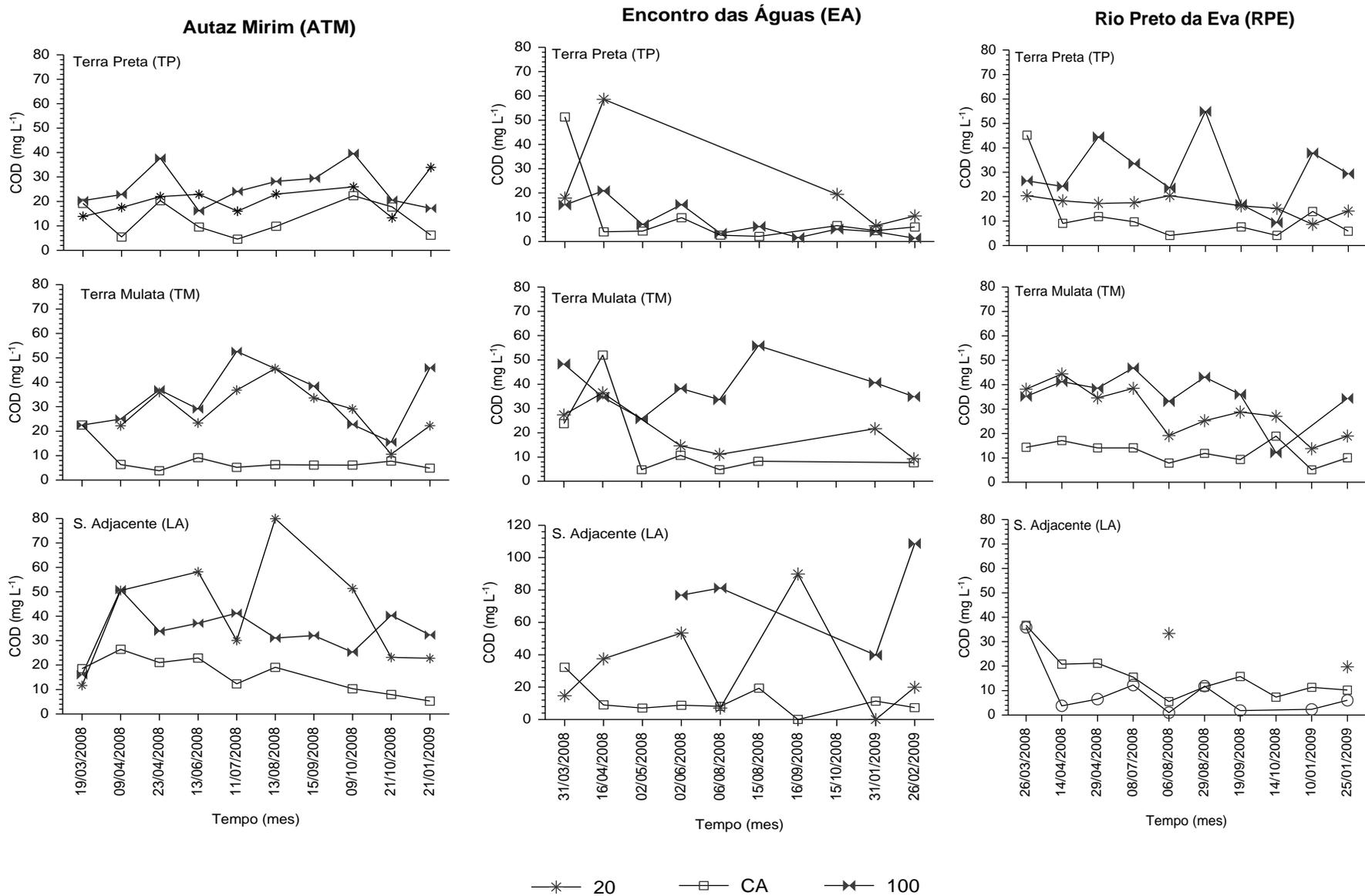


Figura 24. Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) até 1 m de profundidade (20 cm, 100 cm e camada orgânica - CA), nos três tipos de solo, nas áreas estudadas (ATM, EA e RPE).

Tabela 4. Áreas das curvas de COD, por profundidade, obtidas calculando integrais dos dados de variação sazonal em COD encontrados na Figura 24.

Área de estudo	Profundidade (cm)	COD (Mg/L)		
		Terra Preta TP	Terra Mulata TM	Solo Adjacente LA
Autaz Mirim	20	140	237	190
	CA	86	65	117
	100	237	209	316
	Total	463	511	623
Encontro das Águas	20	60	60	66
	CA	58	88	78
	100	72	222	153
	Total	190	370	297
Rio Preto da Eva	20	113	260	260
	CA	80	111	132
	100	273	263	271
	Total	466	634	663

CA = Camada orgânica.

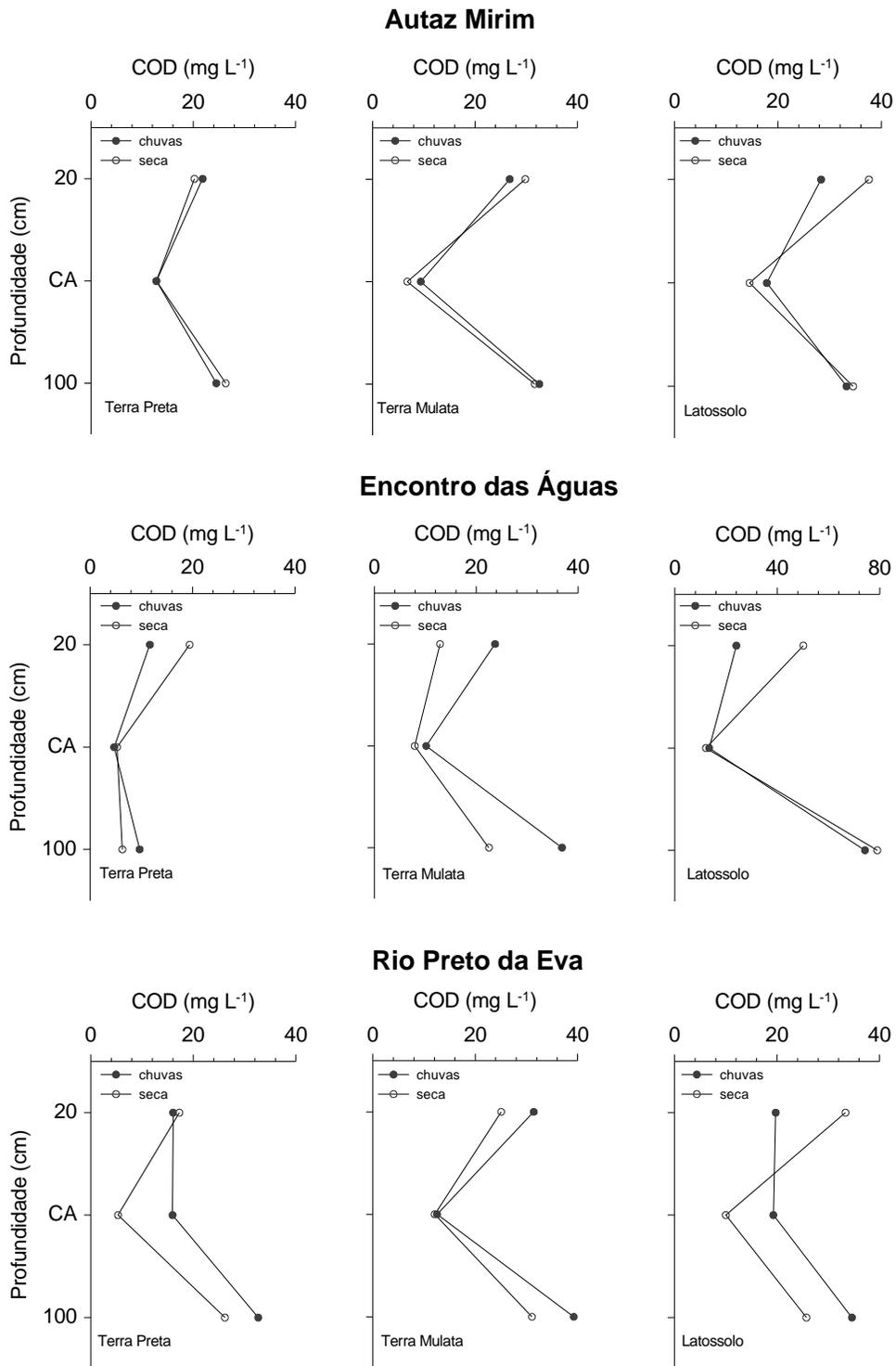


Figura 25. Concentrações médias de COD em três profundidades (20 cm, CA “Tabela 1”, e 100 cm) na solução do solo, nas estações seca e chuvosa nos três tipos de solo, nas áreas estudadas (COD de LA em EA mostra escala diferente aos demais gráficos).

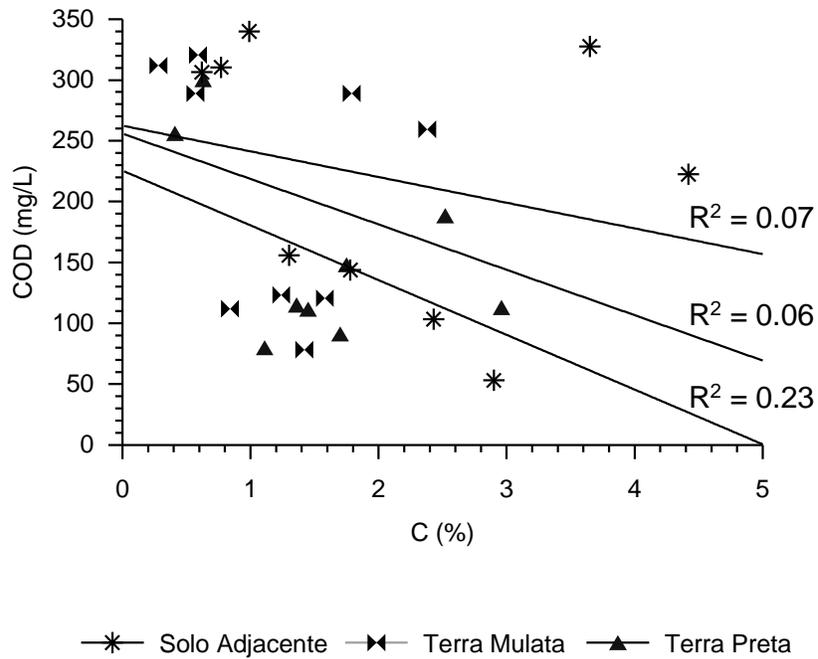
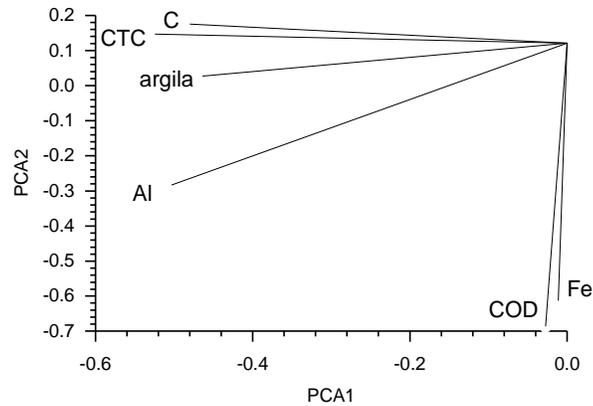


Figura 26. Relação entre teores de carbono nos solos e mobilização de carbono orgânico dissolvido para as três áreas de estudo.



	PCA 1	PCA2	PCA3
C	-0,480	0,175	0,442
COD	-0,027	-0,687	-0,463
Argila	-0,464	0,027	-0,505
Fe	-0,025	-0,629	0,575
Al	-0,503	-0,283	0,062
CTC	-0,547	0,147	-0,020
Prop. explicada	0,450	0,230	0,180
Total 3 eixos	0,857		

Figura 27. Análise dos componentes principais para variáveis passíveis de influenciar na mobilização do COD.

5. DISCUSSÃO

Densidade aparente

As áreas de TP apresentam os mais altos valores de densidade aparente nos sítios estudados. Isto é o contrário do que seria inicialmente esperado para solos com altos teores de matéria orgânica como são solos antrópicos, os quais são usualmente determinantes de algumas propriedades físicas do solo, entre elas a densidade aparente e a estrutura dos solos. (Teixeira & Martins, 2003).

Aparentemente esta diferença existente entre a TP e TM e os demais solos adjacentes está relacionada ao diferente histórico de uso das áreas. Nas três áreas de estudo as TP e TM foram intensamente exploradas, sendo utilizadas para diversos fins como, por exemplo, exploração madeireira, agricultura e o mais comum, pastagem (detalhes na seção 4.3). Embora os solos adjacentes também tenham sido explorados, seu histórico de uso foi menos intenso do que nas áreas dos solos com horizontes antrópicos. Além do diferentes usos da terra, observam-se outras diferenças em algumas áreas: a TP de RPE apresenta valores de densidade do solo mais altos que as demais, o que está relacionado ao seu maior conteúdo de areia (cerca de 600 g kg^{-1} ou 60%, Figura 15), enquanto o solo com horizonte antrópico da chamada TM de EA se encontra sobre uma área típica de Argissolos, que são solos que apresentam incremento de argila com a profundidade (West *et al.*, 1998), o que resulta em diferenças na estrutura do solo.

Textura do solo

As características químicas, físicas e morfológicas dos solos antrópicos e adjacentes estudados indicam a quais grupos estes solos pertencem. Os solos adjacentes podem ser classificados com certa segurança como Latossolos devido à sua alta concentração de argila, alta homogeneidade no perfil, presença da estrutura forte e granular além de suas características químicas típicas de Latossolos. Em revisão recente sobre os solos típicos da Amazônia, Quesada *et al.* (2009) descrevem os Latossolos como possuidores de textura argilosa a muito argilosa (apesar de poderem ser predominantemente arenosos em alguns casos), com transição difusa nos

horizontes sub-superficiais, estrutura fortemente desenvolvida, grande estabilidade dos agregados, alta retenção de água no solo e alta condutividade hidráulica e infiltração.

No caso dos solos antrópicos chamados aqui de Terra Mulata (TM), aparentemente os solos de ATM se desenvolvem sobre um Latossolo (LA) enquanto que os solos do EA e RPE parecem ter sido formados sobre Argissolos. Nestes solos observou-se um incremento de argila com o aumento da profundidade, além de valores de densidade aparente aumentando na mesma ordem o que nos permite classificá-los como Argissolos com certa segurança (West *et al.*, 1998). Uma característica que possuem os Argissolos é que a quantidade de argila aumenta com a profundidade, tem maior teor da fração areia nos horizontes superficiais, retenção de água no solo moderada a alta, boa infiltração e condutividade, estrutura fraca a moderada e ligeiramente dura e com maior existência de poros grandes (EMBRAPA, 1999). Então, estes solos podem ser classificados segundo EMBRAPA (1999) como: Latossolo Amarelo distrófico textura muito argilosa, e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa, enquanto que os solos antrópicos do tipo Terra Preta (TP), apresentam comumente uma textura grosseira, com predominância de areia (Kern & Kämpf, 1989; Costa & Kern, 1999).

Em termos da relação de textura e outras propriedades dos solos, observou-se que as concentrações de nutrientes e carbono nos solos estão nitidamente relacionadas com a granulometria.

Nutrientes trocáveis e fósforo

A TP de EA apresentou maiores concentrações de cátions trocáveis além do Al, o que aparentemente está relacionado com a maior concentração de argila. Comparando os três solos adjacentes das áreas estudadas em termos de argila e sua relação com disponibilidade de nutrientes, o solo adjacente de RPE é o que possui menor concentração de argila, e menor estoque de nutrientes trocáveis.

Os teores disponíveis de P e Ca são os que geralmente se apresentam muito diferentes entre as TP e TM e os solos adjacentes (Lehmann *et al.* 2003a). Estudos

mostram que os solos antrópicos possuem grande diferença nas concentrações de nutrientes em comparação com os solos adjacentes. Entretanto, as comparações entre solos antrópicos e adjacentes pode não ser bem clara em todas as situações, isto porque é difícil determinar onde o horizonte antrópico termina e quando o solo adjacente começa (Lehmann *et al.*, 2003b). Além disso, grandes diferenças texturais e de estoque de matéria orgânica entre os solos que estão sendo comparados podem incrementar ainda mais a diferença ou similaridade entre os solos antrópicos e adjacentes.

Neste estudo, houve pouca variação entre as concentrações de nutrientes disponíveis nos perfis dos solos antrópicos, não se diferenciaram com valores relativamente baixos solos adjacentes (com exceção óbvia da TP do EA) (Figura 16 e 17). Entretanto, no que se refere à camada superior do solo, as diferenças de fertilidade foram mais evidentes (Tabela 2), provavelmente por acentuarem-se as diferenças de fertilidade nos horizontes de maior influência antrópica. Resultados obtidos por Lehmann *et al.* (2003b) indicam que K, Fe, Zn em Terra Preta não mostram diferença significativa nas concentrações disponíveis e totais em comparação com os solos adjacentes. Entretanto Ca e P tiveram usualmente maiores concentrações em TP do que em solos adjacentes.

Apesar de uniformemente baixas na maioria dos solos, as concentrações de Ca e Mg encontradas na Terra Preta do EA são muito maiores do que nos demais sítios (Figura 16), o que pode estar relacionado com diferenças no históricos de formação antrópica do solo e uso da área. A TP do EA foi uma pastagem que pode haver recebido algumas formas de adubos como o calcário. Em geral, TP são campos onde resíduos domésticos e agrícolas foram continuamente depositados por grupos humanos; é de se esperar então que a fertilidade destes solos seja influenciada pela qualidade destes resíduos, que podem variar de uma área para a outra.

Quanto ao P, este é notavelmente maior nos solos antrópicos comparados com os solos adjacentes. Fatores influenciando o estoque de P nos solos podem incluir maior adição de compostos fosfatados, maiores quantidade de P orgânico armazenado nos horizontes antrópicos e maiores fluxos de P entre as formas orgânicas e

inorgânicas de P devido à alta concentração de biomassa microbiana nos solos antrópicos.

Fe e Mn são elementos considerados potencialmente importantes como elementos tóxicos (Lopes, 1980; Van Raij, 1991) uma vez que estes aumentam a solubilidade em solos ácidos, o que os faz ocorrer em maiores concentrações em solos intemperizados (Latosolos), como mostra a Figura 17. O Zn geralmente ocorre em concentrações elevadas nos sedimentos argilosos, apresentando menor concentração nos arenitos. O Zn está também diretamente relacionado com o conteúdo de matéria orgânica, já que este é fortemente adsorvido na mesma, o que torna altas concentrações de Zn uma característica comum às Terras Pretas (Prosad & Pagel, 1970; 1976; Pagel & Prosad, 1975)

Concentração de carbono e nitrogênio nos solos

Neste estudo observou-se que os solos adjacentes (LA) apresentaram uma maior concentração de C e N do que os demais solos, incluindo os de tipo TP e TM. A maior quantidade de matéria orgânica está relacionada com diferenças nos teores de argila, que notoriamente possuem maior superfície específica, e conseqüentemente mais cargas elétricas capazes de adsorver carbono (Dick *et al.*, 2005). Em adição aos óxidos amorfos de Fe e Al, os quais são importantes fatores controlando a retenção de matéria orgânica nos solos (Mikutta *et al.*, 2006). O aumento do teor de carbono em solos argilosos se deve as características dos minerais de argila cujo poder de retenção pode levar os solos mais argilosos como os LA a formar depósito de carbono passivos (Christensen 1992). Neste caso as TP apresentaram uma textura com concentrações de areia muito maior do que os solos adjacentes o qual pode indicar que possuem menor capacidade de adsorção de carbono e, conseqüentemente, menores concentrações de carbono (Telles *et al.*, 2003).

Com relação ao nitrogênio, em geral, este não é um fator limitante na Amazônia, pois o ciclo de N pode ser considerado aberto em face aos grandes fluxos de gases nitrogenados (óxido nitroso) e nitrogênio dissolvido em precipitação e solução do solo (Martinelli *et al.*, 1999).

As concentrações de N também decrescem com a profundidade da mesma forma que o C, o que é considerada uma característica dos solos amazônicos (Chauvel *et al.*, 1987), onde os altos teores de N nas camadas superficiais estão ligados com à atividade microbiana e à alta intensidade de mineralização do solo (Luizão *et al.*, 2004).

Estoques de carbono no solo

As diferenças nas concentrações de carbono entre as áreas foram refletidas nos estoques de carbono calculados para os diferentes solos (Tabela 3). Estes resultados têm uma importante implicação para o manejo de carbono nos solos, que vem sendo atualmente sugerido como uma importante via para a mitigação do efeito estufa (Roscoe, 2006). Muito se fala atualmente do papel das TP e TM em estocar carbono e por certo, muitas lições devem ser aprendidas com as TP, em especial quanto à estabilidade do carbono nestes solos. Porém, este estudo indicou que Latossolos típicos da Amazônia central podem possuir estoques de carbono no solo muito superiores aos de TP, o que alerta para a necessidade de manejo adequado nestas áreas. Por exemplo, florestas nativas sobre LA são muito mais susceptíveis a ser exploradas e convertidas a outros sistemas de uso da terra, o que pode resultar em grande parte deste carbono estocado nos solos retornando para a atmosfera sob forma de dióxido de carbono (20% ou mais, dependendo do solo e sistema de manejo, Veldkamp *et al.*, 2003). Os LA também estocam grandes quantidades de carbono em profundidade, devido às suas características físico-químicas (Veldkamp *et al.*, 2003).

No entanto, existe grande variabilidade de resultados de estudos publicados sobre estoques de carbono nos solos da Amazônia, e mais ainda comparando solos antrópicos. Estas diferenças podem estar relacionadas à escala de amostragem, número de amostras coletadas por área, à densidade do solo, dos tipos de solos identificados, assim como a outros atributos físicos do solo.

Nutrientes na solução do solo

A grande maioria dos solos antrópicos possui textura grossa, facilitando a percolação de água, mas com a diferença que a lixiviação de nutrientes é muito mais baixa (Lehmann *et al.*, 2003b). Segundo esse autor, a lixiviação de nutrientes é controlada pela liberação e adsorção a partir da matéria orgânica que é mineralizada muito lentamente ou em muito baixa intensidade, suficiente para que seja evitada a excessiva lixiviação.

Neste estudo, observou-se uma tendência do sódio (Na) a ser o elemento de maior concentração na solução em todas as áreas estudadas (Figura 21), o mesmo que foi encontrado por Neu (2005). Entretanto, este padrão é diferenciado na TP e TM de EA, onde o cálcio (Ca) e o potássio (K) foram mobilizados em maiores concentrações. Um dos fatores que potencialmente pode influenciar estes resultados é a textura do solo. Ca, K, Na e Mg podem ser retidos pela matriz do solos de forma mais eficiente, comparados com os solos arenosos, onde são liberados com maior facilidade (Figura 14). Outra causa da lixiviação preferencial de Ca e Na é que estes são os elementos mais móveis no solo, sendo facilmente adicionados à solução; magnésio (Mg) e potássio (K) também são igualmente móveis, porém estes tendem a se recombinar e formar argilominerais que não são facilmente lixiviados (Thomas, 1974).

O fósforo (P), porém, é mais complexo. O P na solução está em equilíbrio dinâmico com os estoques de P no solo. Portanto o fluxo de P depende muito de quanto P está armazenado em suas diferentes formas não imediatamente disponíveis no solo, como o P ligado a Ca, Al, Fe (Murmam & Peach, 1969). Assim, a quantidade de P mobilizada para a solução do solo é fortemente controlada pelos estoques de P encontrados em outras formas que não foram medidas neste estudo. Fósforo é também pouco móvel no solo (Smeck, 1973). Por tratar-se de um elemento limitante a produção vegetal nos trópicos (Walker & Syers, 1976), espera-se que o P seja retido eficientemente pela vegetação, especialmente onde este elemento é mais limitante (Jordan & Herrera, 1981).

Este estudo sugere que os solos estudados mobilizam nutrientes para a solução do solo de forma diferente (Figura 23 A e B). Para as bases, nota-se que os solos

adjacentes (Latosolos), têm baixa concentração de nutrientes no solo, mas em grande parte estes elementos estão disponíveis na solução. As TP, por sua vez, parecem demonstrar alta estabilidade quanto à mobilização de bases (e fósforo) o que pode ser atribuído à sua estrutura física. Entretanto, observou-se que as TM possuem um caráter distinto: têm relativamente alta concentração de nutrientes no solo, só que liberam grande parte destes nutrientes para a solução. Isto pode estar associado com uma menor estabilidade da matéria orgânica nestes solos que, por sua vez, liberaria mais nutrientes. Contudo, mais estudos são necessários para dar suporte a esta idéia.

Carbono orgânico dissolvido (COD)

A quantidade de COD mobilizada durante todo o estudo (somatório de 10 coletas) varia com o tipo de solo antrópicos e adjacentes de, 189 a 662 mg.L⁻¹ respectivamente.

As TP, apresentam uma textura franca arenosa, em comparação com a argilosa dos solos adjacentes (Figura 14). Apesar das TP possuírem esta textura, o que poderia permitir maior lixiviação de nutrientes devido à baixa capacidade de adsorção desses solos, impossibilitaria a estabilização do material orgânico, leva à maior disponibilização de COD para a solução do solo, os solos antrópicos não disponibilizam grandes concentrações de COD na solução quanto comparadas com o que foi liberado nos solos adjacentes (Tabela 4). Isto parece estar associado a uma maior estabilidade do carbono encontrado nestes solos e a uma reabsorção do COD na superfície de adsorção da matéria orgânica destes solos. Em geral, as TP parecem ser muito estáveis quanto à liberação de C e nutrientes para a solução do solo. Isto tem importantes implicações para o manejo de carbono nos solos, pois a recriação das técnicas usadas para preparação de TP poderia resultar em um grande incremento dos estoques estáveis de C nos solos agricultáveis, e, por conseguinte, contribuir para a redução do efeito estufa de forma mensurável. Os LA foram os solos que mais mobilizaram COD, indicando que apesar de estocarem grande quantidade de carbono, este está sujeito a uma maior ciclagem no meio ambiente. Quanto à liberação de C para a solução do solo, as TM apresentaram caráter intermediário, o que mais uma vez

sugere uma menor estabilidade da matéria orgânica destes solos quando comparados às TP. Isto pode ainda estar associado às formas de carbono encontradas nestes diferentes solos.

Quanto ao efeito das concentrações de C nos solos sobre a mobilização de COD, este fenômeno pode estar relacionado com a ação da superfície específica da matéria orgânica e sua capacidade de reter e re-adsorver COD. Mais uma vez, as TP com sua distinta estrutura física, apresentaram maiores capacidade do C do solo em *reter* COD, sugerindo uma alta capacidade de adsorção nestes solos.

Análises estatísticas conduzidas neste estudo não foram capazes de determinar quais fatores teriam influência direta sobre os fluxos de COD. Variáveis que são normalmente apontadas como capazes de influenciar taxas de COD não resultaram em relações significativas. Possivelmente, outras variáveis climáticas e edáficas que não foram medidas neste estudo podem ter forte relação com o COD. A precipitação pluviométrica é possivelmente um forte fator, assim como outras variáveis mais complexas do solo, como tipo e proporção das formas de matéria orgânica, tipo e quantidade de óxidos de Fe e Al, mineralogia e atividade microbiana.

Os resultados deste estudo parcialmente contrariam ao apresentados por Neu (2005), que sugere que os valores de COD em solos adjacentes seriam principalmente controlados pelos teores de Fe e Al no solo, tendo uma correlação negativa com eles. Nos solos antrópicos, que possuem baixas concentrações de Fe e Al, o COD na solução do solo é notavelmente mais baixo quando comparado com os solos adjacentes. Porém, pode-se então afirmar que esta correlação negativa entre o COD e os teores de Fe e Al não é conclusiva e não pode explicar claramente as concentrações de COD disponibilizado na solução do solo.

6. CONCLUSÕES

A granulometria dos solos foi correlacionado com as concentrações de nutrientes e do carbono, sendo, que nos solos adjacentes caracterizados como Latossolos com predominância da argila apresentaram menores concentrações de todos os elementos avaliados. E os solos com horizontes antrópicos com predominância da fração areia apresentam maiores concentrações de todos os elementos avaliados, especialmente fósforo e cálcio, na seguinte seqüência: TP>TM>LA.

Neste estudo, os solos adjacentes mais argilosos possuem maiores estoques de carbono até 1 m de profundidade quando comparados com os solos com horizontes antrópicos, diferentes dos resultados de outros estudos comparando solos com horizontes antrópicos na Amazônia central. Existe uma gradiente com diminuição dos estoques de carbono em função a profundidade.

Os solos adjacentes apresentaram as maiores concentrações de nutrientes (Ca, Mg, K, N, Na) e COD na solução do solo em comparação com os solos com horizontes antrópicos.

Os solos adjacentes mostraram que podem mobilizar quase o 90% de suas concentrações dos elementos estudados do solo para a solução. E os solos com horizontes antrópicos a pesar de possuírem maiores concentrações destes elementos não os disponibilizam em sua totalidade para a solução o que confirma que estes solos têm a propriedade de reter nutrientes e carbono.

7. BIBLIOGRAFIA

- Alvares, V.H.; Fontes, L.E.F. & Fontes, M.P.F. 1996. O solo nos grandes domínios morfo-climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável, Viçosa, UFV, SBCS, DPS, 930 p.
- Bechtold, G. 2007. http://www.gerhardbechtold.com/TP/gbtp1_port.php?vers=2
- Brinckmann, W.L.F. 1989. System propulsion of Amazonian lowland forest: an outline. *Geo Jornal*, 19: 369-380.
- Brown, S. & Lugo, A.E. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17: 8-18.
- Chazdon, R.L. & Coe, F.G., 1999. Ethnobotany of woody species in second-growth, old-growth, and selectivity logged forests of northeastern Costa Rica. *Conservation Biology*, 13: 7-14
- Chambers, J.Q.; Higuchi, N.; Schimel, J.P.; Ferreira, L.V. & Melack, J.M. (2000). Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. *Oecologia*, 122: 380-388.
- Chauvel, A.; Lucas, Y. & Boulet, R., 1987. On the genesis of soil mantle of the region of Manaus, Central Amazonia, Brasil. *Geoderma*, 48:154-162.
- Christianson, G.E. 1999. Greenhouse, the story of global warming. Walk Publishing Company, Inc.
- Christensen, B.T. 1992. Physical fractionation of soil organic matter in primary particle size and density separates. *Advances Soil Science*, 20: 1-90.
- Costa, M.L. & Kern, D.C. 1999. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 66: 369-385.
- Cunha, T.J.F. 2005. *Ácidos húmicos de solos escuros da Amazônia (Terra Preta do Índio)*. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 139 p.
- Denevan, W.M. 2001. Cultivated landscapes of native Amazonia and the Andes. Oxford University Press, Oxford.

- Derenne, S. & Largeau, C.A. 2001. A review of some important families of refractory macromolecules: composition, origin, and fate in soils and sediments. *Soil Science*, 166: 833–884.
- EMBRAPA. 1991. Características dos principais solos da Amazônia Legal. I Estado do Pará, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo, Rio de Janeiro, 170p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 1997. Manual de métodos de análises de solo. 2ª edição, Rio de Janeiro, p. 15–18.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. EMBRAPA - Serviço de Produção de Informação, (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 5), Brasília, Distrito Federal. 412 p.
- Ericksson, C. 2003. Historical ecology and future explorations. In: Lehmann J., Kern D., Glaser B. & Woods W. (eds.), *Amazonian Dark Earths - origin, properties and management*. Kluwer Academics Publisher, Dordrecht, Netherlands. pp. 455-500.
- Falesi. I.C. 1972. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazonia brasileira. In: *Zoneamento Agrícola da Amazônia (1ª. aproximação)*. Boletim Técnico 54, IPEAN, Belém.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2005. *Global Forest Resources Assessment 2005: progress towards sustainable forest management*. FAO Forestry Paper 147.
- Fearnside, P.M. 1993. Deforestation in Brazilian Amazonia: the effect of population and land tenure. *Ambio*, 22:537-545.
- Fearnside, P.M.; Graça, P.M.; Leal Filho, N.; Rodrigues, F.J.A. & Robinson, J.M. 1999. Tropical forest burning in Brazilian Amazonian: measurement of biomass loading, burning efficiency, and charcoal formation at Altamira, Pará, *Forest Ecology Management*, 123: 65-79.
- Fearnside, P.M. 1999. Biodiversity as environmental service in Brazil Amazonian forests: risks, value and conservation. *Environmental Conservation*. 26:305-321.

- Fearnside, P.M., 2009. Estoque e estabilidade de carbono nos solos da Amazônia Brasileira, in: *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso destes conhecimentos na criação de novas áreas*. Teixeira, W. G., 2009, EMBRAPA, CD-ROM, 421p.
- Gavin, M.C. 2004. Changes in forest use value through ecological succession and their implications for land management in the Peruvian Amazon. *Conservation Biology*, 18(6): 1562-1570.
- Glaser, B. 1999. Eigenschaften und Stabilität des Humuskörpers der "Indianerschwarzerden" Amazoniens. Bayreuther Bodenkundliche Berichte 68, University of Bayreuth, Germany, 196 p.
- Glaser, B.; Balashov, E.; Haumaier, L.; Guggenberger, G. & Zech, W. 2000. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry*, 31: 669-678
- Glaser, B.; Haumaier, L.; Guggenberger, G. & Zech, W. 2001. The Terra Preta phenomenon - a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88:37-41.
- Glaser, B. 2007. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 362: 187-196.
- Grace, J., Lloyd, J., McIntyre, J., Miranda, A. C., Meir, P., Miranda, H. S., Nobre, C., Moncrieff, J., Massheder, J., Yadvinder, M., Wright, I. & Gash, J. 1995. Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science*, 270: 778-780.
- Hartt, C.F. 1874. Contributions to the geology and physical geography of the lower Amazonas. *Bulletin of the Buffalo Society of Natural Sciences*, 1: 201-235.
- Hartt, C.F. 1885. Contribuições para a ethnologia do valle do Amazonas. *Archivos do Museu Nacional*, 6: 1-174.
- Hilbert, P. 1968. Archäologische Untersuchungen am Mittlern Amazonas. Berlin: DietrichReimer Verlag.

- Hinton, M.J., Schiff, S.L. & English, M.C. 1998. Sources and flowpaths of dissolved organic carbon during storms in two forested watersheds of the Precambrian shield. *Biogeochemistry*, 41: 175-197.
- INPE, Brasil. 2007
([http://www.inpe.br/noticias/arquivos/prodes apresentação dez 2007.pps](http://www.inpe.br/noticias/arquivos/prodes_apresentação_dez_2007.pps)).
- INPE, Brasil. 2007. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Nota informativa apresentada na Internet
(http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=1318).
- IPCC, 2007. Mudança do clima 2007: a base das ciências físicas – Contribuição do grupo de trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC. No site: www.natbrasil.org.br/Docs/ipcc_2007.pdf
- Kampf, N.; Woods, W.; Sombroek, W.; Kern, D. & Cunha, T.J.F. 2003. Classification of Amazonian dark earths and other ancient anthropic soils. In: Lehmann J., Kern D., Glaser B. & Woods W. (eds.), Amazonian Dark Earths - origin, properties and management. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Netherlands. pp. 77-102.
- Kalbitz, K.; Schmerwitz, J.; Schwesig, D. & Matzner, E. 2003. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties. *Geoderma*, 113: 273-291.
- Kern, D.C. & Kämpf, N. 1989. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná - Pará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 13: 219-225.
- Kern, D.C. 1996. Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã. Pará. Tese de doutorado, Universidade Federal do Pará. 98p.
- Kern, D.C.; D'Aquino, G.; Rodrigues, T.E.; Frazao, F.J.L.; Sombroek, W.; Myers, T.P. & Neves, E.G. 2003. Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. In: Lehmann J., Kern D., Glaser B. & Woods W. (eds.), Amazonian Dark Earths - origin, properties and management. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Netherlands. pp.51-75.

- Kern, D.; Costa, M.L. & Frazão, F.J.L. 2004. Evolution of the scientific knowledge regarding archaeological black earths of Amazonia. In: Woods W.I. & Glaser B. (eds.), *Explorations in Amazonian Dark Earths*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Lehmann, J.; Kern, D.; German, I.; McCann, J.; Martins, G. C. & Moreira, A. 2003a. Soil fertility and production potential. In: Lehmann J.; Kern D.; Glaser B. & Woods W. (eds.), *Amazonian Dark Earths - origin, properties and management*. Kluwer Academics Publisher, Dordrecht, Netherlands. pp. 105-124.
- Lehmann, J.; Silva Jr., J.P.; Steiner, C.; Nehls, T.; Zech, W. & Glaser, B. 2003b. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthroisol and a Ferrasol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249: 343-357.
- Lima, H.N.; Schaefer, C.E.R.; Mello, J.W.V.; Gilkes, Robert J. & Ker, J.C. 2002. Pedogenesis and pre-colombian land use of Terra Preta Anthrosols (Indian black earth) of western Amazonia. *Geoderma*, 110: 1-17.
- Lima, H.N.; Teixeira W.G. & Souza, K.W. 2007. Os solos da paisagem da várzea com ênfase no trecho entre Coari e Manaus. In: Fraxe, T. J. P.; Pereira, H.; Witkoski, A. C. 2007. *Comunidades Ameríndias Amazônicas: Modo de vida e uso dos recursos naturais*, Manaus, EDUA, pp. 35–52.
- Longo, R.M. & Esoindolo, C.R. 2000. Alterações em características químicas dos solos da região Amazônica pela introdução de pastagem, *Acta Amazonica*, 30: 71–80.
- Luizão, F.J. & Schubart, H.O. 1987. Litter production and decomposition in a terra firme of central Amazonia. *Experientia*, 43:259-265 p.
- Luizão, R.C.C.; Luizão, F.J.; Paiva, R.Q.; Monteiro, T.F.; Souza, L.S. & Kruijt, B. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology*, 22: 592-600.
- Madari, B.E.; Sombroek, W. & Woods, W. 2004. Research on anthropogenic dark earth soils. Could it be a solution for sustainable agricultural development in the Amazon? In: Woods W.I. & Glaser B. (eds.), *Explorations in Amazonian Dark Earths*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

- Mann, C. C. 2002. The real dirt on rainforest fertility. *Science*, 29: 922–923.
- McCann, J.M. Woods, W.I. & Meyer, D.W. 2001. Organic matter and Anthrosols in Amazonia: interpreting the Amerindian legacy. In: Rees R.M., Ball B.C., Campbell C.D., & Watson C.A. (Eds.), *Sustainable Management of Soil Organic Matter*. Wallingford: CAB International. pp.180-189.
- McClain, M.E.; Richey, J.E.; Brandes, J.A. & Pimentel, T.P. 1997. Dissolved organic matter and terrestrial lotic linkages in the central Amazon basin of Brazil. *Global Biogeochemical Cycles*, 11(3): 295-311.
- Meirelles Filho, J. 2004. O livro de ouro da Amazônia, Rio de Janeiro, *Ediouro*, 397 pp.
- Meyer, J.L. & Tate, C.M. 1983. The effects of watershed disturbance on dissolved organic-carbon dynamics of a stream. *Ecology*, 64(1):33–44.
- Miller, E.T. 1992. Arqueologia nos Empreendimentos Hidrelétricos da Eletronorte: resultados preliminares. Brasília: Eletronorte.
- Mikutta, R.; Kleber, M.; Torn, M.S. & Jahn, R. 2006. Stabilization of soil organic matter: association with minerals or chemical recalcitrance? *Biogeochemistry*, 77: 25–56
- Murrmann, R.P. & Peech, M. 1969. Effect of pH on labile and soluble phosphate in soils. *Soil Science Society of America*, 33:205-210.
- Neves, E.G.; Petersen J.B.; Bartone, R.N. & Silva C.A. 2003. Historical and socio-cultural origins of Amazonian Dark Earths. In: Lehmann, J.; Kern, D.C.; Glaser, B. & Woods, W.I. (eds.) *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management*. Kluwer Academic Publishers, *The Netherlands*, pp. 29-49.
- Neu, V. 2005. Influencia da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus-AM. Dissertação de mestrado, ESALQ, piracicaba, 93 p.
- Pagel, H. & Prasad, R.N. 1975. Comparative investigations into the content of available copper in soils of the arid and humid tropics. *Beitr. Trop. Landwirtschaft. Veterinaermed*, 13: 399-407.

- Pereira, L.C. 1987. Características químicas de Latossolos Amarelos da Região Amazônica Brasileira, Piracicaba, ESALQ, Tese de Mestrado, 96 p.
- Phillips, O.; Malhi, Y.; Higuchi, N.; Grace, J.; Laurence, W. F. ; Nuñez, P. ; Vasquez, R. ; Laurence, S.G. ; Ferreira, L.V. ; Stern, M. & Brown, S. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long-term plot data. *Science*, 282: 43–442.
- Prasad, R.N. & Pagel, H. 1970. Available zinc in important soils of the arid and humid tropics. *Beitr. Trop. Landwirtschaft. Veterinaermed*, 8: 145-156.
- Prasad, R.N. & Pagel, H. 1976. Comparative investigations into the content of available molybdenum in important soils of the arid and humid tropics. *Beitr. Trop. Landwirtschaft. Veterinaermed*, 14: 79-87.
- Quesada, C.A.; Lloyd, J.; Anderson, L.O.; Fyllas, N.M. Schwarz, M. & Czimczik, C. 2009. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences Discuss.*, 6: 3851–3921.
- Raich, J.W.; Potter, C.S. & Bhagawati, D. 2002. Interannual variability in global soil respiration 1980-94. *Global Change Biology*, 8: 800-812.
- Ranzani, G.; Kinjo, T. & Freire, 1962, Ocorrências de Plaggen Epipedon no Brasil. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. *Boletim Técnico*, 5: 1-12.
- Roosevelt, A.C. 1987. Chiefdoms in the Amazon and Orinoco. In: Drennan R.D., & Uribe C.A. (Eds.), Chiefdoms in the Americas. Lanham, MD. *University Press of America*, pp. 153-185.
- Roscoe, R. 2006. Seqüestro de carbono no sistema plantio direto: Possibilidades de contabilização. In: Roscoe, R.; Mercante, F.M. & Salton, J.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas. EMBRAPA – MS, p. 43 – 60.

- Salati, E. & Vose, P.B. 1984. Amazon basin: a system in equilibrium. *Science*, 255: 129-138.
- Schroth, G.; Seixas, R.; Silva, L.F.; Teixeira, W.G. & Zech, W. 2000. Nutrient concentration and acidity in ferralitic soil under perennial cropping fallow and primary forest in central Amazon. *European Journal of Soil Science*, 51(2): 219-231.
- Seiler W. & Crutzen P.J. 1980. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Climate Change*, 2: 207-247.
- Sioli, H. 1991. Amazônia. Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Vozes, Petrópolis, 3a ed. 72 p.
- Silva, F.C. 1999. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. Manual de análises químicas de solo, planta e fertilizantes. Brasília, DF. 370 p.
- Skole, D. & Tucker, H. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: Satellite data from 1978 to 1988. *Science*, 260:1905-09.
- Smeck, N.E. 1973. Phosphorus: An indicator of pedogenetic weathering processes. *Soil Science* 115: 199-206.
- Smith, N.J.H. 1980. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. *Annals of the Association of American Geographers*, 70: 553-566.
- Sombroek, W. 1966. Amazon Soils – a reconnaissance of soils of the Brazilian Amazon region. Centre for Agricultural Publications and Documentation, Wageningen, *Netherlands*, 292 p.
- Sombroek, W.G.; Nachtergaele, F.O. & Hebel, A. 1993. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, 22: 417-426.
- Teixeira, L.B. & Bastos, J.B. 1989. Nutrientes no solo de floresta primária e pastagem de *Brachiaria humidicola* na Amazônia central. Embrapa _CPATU. 286 p.

- Teixeira, W.G.; Martins G.C. & Lima, H.N. 2004. An Amazonian Dark Earth profile description from a site located in the floodplain (várzea) in the Brazilian. In: Congresso de Arqueologia en Colombia, Papayan. P
- TEIXEIRA, W.G.; PINTO, W.H.; LIMA, H.N.; MACEDO, R.S.; MARTINS, G.C.; ARRUDA, W.D.C. Os solos das várzeas próximas a calha do Rio Solimões – Amazonas no Estado do Amazonas. In: IBAMA (Ed.). Workshop Geotecnologias Aplicadas às Áreas de Várzea da Amazônia. Manaus: Ibama, 2007. cap. 36, p.29 - 36.
- Telles, E.D.C.; Camargo, P.B.; Martinelli, L.A.; Trumbore, S.E.; Costa, E. S.; Santos, J.; Higuchi, N. & Oliveira, R. C. 2003. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, 17 (2): 1125-1132.
- The Green Initiative. 2006. Neutralização das emissões de gases de efeito estufa. Artigo mostrado na Internet:
http://www.thegreeninitiative.com/files/pdf/premio%20eco_doc_pt.pdf
- Thomas, M.F. 1974 *Tropical Geomorphology*. The McMillan Press, London, 331p.
- Thurman, E.M. 1985. Organic geochemistry of natural watters. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 2: 497 p.
- Trumbore, S.E.; Davidson, E.A.; Camargo, P.B.; Nepstad, D.C. & Martinelli, L.A. 1995. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of Eastern Amazônia. *Global Biogeochemical Cycles*, 9: 515-528.
- Trumbore, S.E.; Schiff, S.L.; Aravena, R. & Elgood, R. 1992. Sources and transformation of dissolved organic-carbon in the Harp Lake forested catchment: the role of soils. *Radiocarbon*, 34:626-635.
- Veldkanp, E; Becker, A.; Schwendenmann, L.; Clark, D.A. & Schulte-Bisping, H. 2003. Substantial labile carbon stocks and microbial activity in deeply weathered soils below a tropical wet forest. *Global Change Biology* 9:1171-1184.

- Walker, T.W. & Syers, J.K. 1976. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, 15: 1-19.
- West, L.T. Beinroth, F.H., Summer, M.F. & Kang, B.T. 1998. Ultisols: characteristics and impacts on society. *Advances in Agronomy*, 63: 179-236.
- Whitmore, T.C. 1997. Tropical forest disturbance, disappearance and species loss. In: Lawrance, W.F.; Bierregard Jr.R.O. (Ed) Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities Chicago. The University of Chicago. pp. 3–12.
- Woods, W.I. & McCann, J.M. 1999. Anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. Yearbook, *Conference of Latin Americanist Geographers*, 25: 7-14.
- Woods, W.I. & McCann, J.M. 2001. *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. pp. 23-30.
- Woods, W.I. 2003. Development of anthrosols research. In: Lehmann, J.; Kern, D. C.; Glaser, B. & Woods, W.I. (Eds). Amazonian dark earths: Origin, properties and management. Kluwer Academic Publishers. *The Netherlands*, pp. 493.
- Zech, W.; Haumaier, L. & Hempfling, R. 1990. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: McCarthy P., Clapp, C.E. Malcolm, R.L. & Bloom, P.R. (eds) Humic substances in soil and crop sciences. Selected readings. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison Wis. USA, pp. 187–202.