

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

BRUNA GOMES ROSSIN

**EVOLUÇÃO PEDO-MORFOLÓGICA DE UMA BACIA DE ÁGUAS ESCURAS E DINÂMICA DAS SUAS
MATÉRIAS ORGÂNICAS NO DECORRER DESTA EVOLUÇÃO. BACIA DO ALTO RIO NEGRO-AM**

Rio Claro, São Paulo

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

BRUNA GOMES ROSSIN

EVOLUÇÃO PEDO-MORFOLÓGICA DE UMA BACIA DE ÁGUAS ESCURAS E DINÂMICA DAS SUAS
MATÉRIAS ORGÂNICAS NO DECORRER DESTA EVOLUÇÃO. BACIA DO ALTO RIO NEGRO-AM

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da “Universidade Estadual Paulista-Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do título de Mestre em Geografia (Área de concentração: Organização do Espaço).

Orientadora: Profa. Dra. Nádia Regina do Nascimento

Rio Claro, São Paulo

2013

551.41 Rossin, Bruna Gomes
R835e Evolução pedo-morfológica de uma bacia de águas
escuras e dinâmica das suas matérias orgânicas no decorrer
desta evolução, Bacia do Alto Rio Negro-AM / Bruna Gomes
Rossin. - Rio Claro : [s.n.], 2012
110 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Nádia Regina do Nascimento

1. Ciência do solo. 2. Amazônia. 3. Matéria orgânica do
solo. 4. Podzolização. 5. Técnicas espectroscópicas. I. Título.

Ao meu pai Bruno, minha mãe Adriana
e aos meus avós Terezinha e Braz

DEDICO

AGRADECIMENTOS:

Ao finalizar mais uma etapa de minha vida acadêmica, quero aqui agradecer todas as pessoas que fizeram parte dessa caminhada e contribuíram para a realização desse projeto.

Primeiramente, a minha mãe Adriana e meu padrasto João pela oportunidade que me deram em estudar, aos exemplos que sempre me deram e ao apoio no decorrer de todo esse processo.

À professora Nádia Regina do Nascimento pela orientação, as conversas, amizade e todo o apoio oferecido no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

Ao Guilherme por ter permanecido ao meu lado em todos os momentos, inclusive os que foram mais difíceis.

À toda minha família, meus tios e tias, pelo apoio.

Ao Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno e Prof. Dr. Alisson Duarte Diniz, pelos apoios nos trabalhos de campo, as conversas e a ajuda oferecida no decorrer do desenvolvimento do trabalho e também a amizade.

À Cristiane, colega de laboratório que se tornou uma amiga tão querida. Aos colegas Aline e Rafael também pelo apoio e amizade durante esses anos.

À Suely, técnica de laboratório pela importante ajuda nas realizações das análises.

Às amigas de Rio Claro Julimara, Kátia, Marina e Larissa, por todos os momentos que passamos juntas e pelas inúmeras conversas que contribuíram para o desenvolvimento do trabalho.

À minha grande amiga Ízide, pela longa jornada juntas e por estar sempre ao meu lado me apoiando. Às amigas de faculdade Daiane, Taís, Gabriela e tantos outros estiveram pelo caminho.

À todas minhas amigas de Piracicaba Carolina, Mariana, Keini, Tathiane, Jaqueline e Juliana, por tanto apoio sempre.

À professora Dra Rosely Pacheco Dias Ferreira, pelas sugestões no exame de qualificação. À Dra. Débora Milori e Prof. Dra. Célia R. Montes, pela oportunidade de utilização de seus laboratórios sempre que necessário.

Aos colegas de Belo Horizonte Bruna e Everton, por todo apoio e longas conversas sobre a pedologia. Ao Cléber e Lilian pela ajuda com as análises na Embrapa, e a paciência em ensinar. Ao Osvaldo pelo apoio com os mapas.

A todos os mateiros que ajudaram nos percursos na floresta Amazônica e os ensinamentos sobre os segredos da floresta.

À FAPESP e ao CNPQ pelo importante apoio financeiro.

A todos que de forma direta ou indireta me apoiaram no decorrer desta jornada muito obrigada.

RESUMO: O propósito do estudo foi compreender a significação da evolução de uma microbacia de águas escuras e da dinâmica da matéria orgânica para o aparecimento e manutenção das águas escuras de tal microbacia, no alto Rio Negro. O objetivo, então, foi estudar a distribuição e as mudanças na natureza da matéria orgânica presente nos solos no decorrer da evolução da microbacia de águas escuras e estudar a evolução pedo-geomorfológica desta bacia. A pesquisa apoiou-se no estudo morfológico dos solos; no levantamento e elaboração de mapa pedo-topográfico; na verificação da diferenciação das matérias orgânicas ao longo da micro-bacia, e na investigação do processo de humificação dos solos. O sítio de estudo foi escolhido a partir da interpretação de imagem de satélite seguida de prospecção de campo. Três trabalhos de campo foram suficientes para: 1) escolha da microbacia a ser estudada; 2) estudo dos solos em campo e levantamento topográfico para realizar o mapeamento dos solos; 3) coleta de amostras de solos e checagem do mapeamento. A morfologia dos solos foi descrita em perfis, em trincheiras abertas para esse fim, alinhadas em uma transeção NW-SE, adaptando-se os procedimentos da Análise Estrutural da Cobertura de Solos (BOULET et. al, 1982). As amostras coletadas foram preparadas para a realização dos diferentes procedimentos em laboratório: análise textural; extração de argila para análises de C orgânico N e H; pré-tratamento das amostras com citrato-bicarbonato-dithionito (CDB); análise elementar de carbono, hidrogênio e nitrogênio da amostra total e das argilas; determinação dos grupos funcionais da matéria orgânica por infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR); análise por fluorescência induzida por laser (FIL) para obtenção do grau de humificação. Os resultados obtidos revelaram que a evolução da microbacia estão intimamente ligado ao desenvolvimento e evolução da podzolização e à instalação da drenagem. À evolução morfológica dos solos e da microbacia, correspondem transformações na distribuição e na natureza das matérias orgânicas. As transformações caminham no sentido da humificação e mineralização das matérias orgânicas nos Podzóis Espessos e no sentido da acumulação de matérias orgânicas decorrente de novas fases de podzolização. A distribuição e a transformação das matérias orgânicas que ocorrem nas microbacias, nas depressões, nas unidades de relevo pouco abertas à drenagem, durante a evolução da podzolização que respondem pelo fornecimento de águas pretas aos pequenos igarapés, que irão alimentar, posteriormente, os rios maiores. Esses resultados são significativos para compreender o ciclo do carbono na bacia do Rio Negro, seu seqüestro e liberação.

Palavras-Chave: Amazônia, Matéria orgânica do solo, podzolização, técnicas espectroscópicas.

ABSTRACT: The purpose of the study was to understand the importance of the evolution of a micro-basin in dark waters and the organic matter dynamics for the appearance and maintenance of such dark waters of this micro-basin, in the upper Rio Negro. The goal then was to study the distribution and changes of organic matter nature in soils during the evolution of the watershed dark waters and to study the pedo-geomorphological evolution of this basin. The research was supported by the morphological study of soils; survey and development of pedo-topographic map; verifying the differentiation of organic matter along the micro-basin, and in the investigation of the soil humification process. The study site was chosen based on the interpretation of satellite imagery followed by prospecting field. Three field studies were adequate to: 1) choosing the studied watershed , 2) studying of soils in the field and surveying to perform the soils mapping , 3) collection of soil samples and mapping check. The soil morphology was described in profiles, in open trenches for this purpose, aligned in a NW-SE transect, adapting the procedures of the Structural Analysis of the Soil-Landscape (Boulet et. al, 1982). The samples were prepared to carry out the different procedures in the laboratory: textural analysis, clay extraction for analysis of organic C, N and H; pre- treatment of samples with citrate-dithionite -bicarbonate (CDB); carbon hydrogen and nitrogen analysis, from the total sample and clays; determination of the organic matter functional groups by Fourier Transform Infrared (FT-IR); analysis by fluorescence induced laser (FIL) in order to achieve the degree of humification. The results revealed that the watershed evolution is closely tied to the development and evolution of podzolization and to the drainage installation . Also, to the morphological evolution of soils and watershed and corresponding changes in the distribution and nature of organic matter. The changes move towards humification and mineralization of organic matter in Podzols Thick and the accumulation of organic matter due to new phases of podzolization. The distribution and transformation of organic substances that occur in the watershed, depressions, units of little relief to the open drainage during the evolution of podzolization are responding through supplying small black water streams to iguarapés that will later feed larger rivers. These results are important to understand the carbon cycle in the basin of Rio Negro, his kidnapping and release.

Keywords: Amazon, Soil organic matter, podzolization, spectroscopic techniques.

Índice de Figura

Figura 1: Localização da área de estudo.....	17
Figura 2: Igarapé de águas escuras que drena a microbacia de estudo, em sua confluência com o igarapé de águas claras.....	18
Figura 3: Ocorrência das principais classes de solos na bacia do rio negro.....	20
Figura 4: Esquema dos principais tipos de húmus orgânicos segundo Duchaufour (1960).	28
Figura 5: Representação da distribuição do Gleissolo sobre o relevo da Amazônia	33
Figura 6: Espectro de Infra-vermelho antes (linha preta) e após o pré tratamento (linha marrons) com H ₂ O ₂ e CDB e o espectro da diferença (linha azul).....	52
Figura 7: Perfil do Podzol espesso	56
Figura 8: Perfil do Podzol Hidromórfico	57
Figura 9: Perfil do Criptopodzol.....	58
Figura 10: Perfil do Gleissolo	59
Figura 11: Triângulo de Textura dos perfis de podzol espesso (a); Podzol Hidromórfico (b); Criptopodzol (c); e Gleissolo (d)	61
Figura 12: Aspecto da vegetação de caatinga Amazônica sobre o podzol espesso.....	63
Figura 13: Aspecto da vegetação de Campinarana encontrada sobre o Criptopodzol ..	64
Figura 14: Distribuição dos solos na microbacia de estudo	66
Figura 15: Bloco diagrama das sequências de solos estudadas: a)Podzol espesso/Podzol Hidromórfico/Criptopodzol; b)Criptopodzol/Gleissolo	68
Figura 16: Variação C,N e H e relação C/N e H/C na fração argila do solo em função da profundidade no Podzol espesso (a,b,e,f); Podzol Hidromórfico (c,d,g,h)	75
Figura 17: Variação C,N e H e relação C/N e H/C na fração argila do solo em função da profundidade no Criptopodzol (a,b,c,d).....	77
Figura 18: Variação C,N e H e relação C/N e H/C na fração argila do solo em função da profundidade no Gleissolo (a,b,c,d)	78
Figura 19: Espectro de FT-IR nos perfis de Podzol espesso (a); Podzol Hidromórfico (b); Criptopodzol (c); Gleissolo (d)	80
Figura 20: Espectro do FIL dos perfis de Podzol espesso (a); Podzol Hidromórfico (b); Criptopodzol (c); Gleissolo (d)	86
Figura 21: Valores de Hfil para todos horizontes de fração total do solo no Podzol espesso (a); Podzol Hidromórfico (b); Criptopodzol (c); Gleissolo (d)	88
Figura 22: Modelo Hipotético de evolução da microbacia	94

Índice de Tabelas

Tabela 1: Tabela das principais bandas de absorção do Infravermelho de transformada de Fourier (FT-IR).....	52
Tabela 2: Distribuição das Frações de C,N e H e relação C/N e H/C.	74

SUMÁRIO

1.Introdução.....	13
1.1.Sítio de Estudo e características geoambientais da área de estudo.....	15
1.2. Justificativa.....	18
1.3. Organização dos capítulos da monografia.....	21
CAPÍTULO I. Bases bibliográficas para o desenvolvimento do trabalho e objetivos ...	23
1.Base bibliográfica de apoio ao trabalho	23
1.1.Matéria orgânica do solo	23
1.2.Mineralização e Humificação.....	25
1.3.Tipos de Húmus.....	27
1.4.Relação C/N e H/C	28
1.5.Solos e processos maiores envolvidos na podzolização na região da Amazônia .	29
1.5.1.Empobrecimento dos solos lateríticos.....	30
1.5.2.Solos Hidromórficos: Gleissolos.....	32
1.5.3.Solos arenosos: Podzóis	33
1.6.Matéria Orgânica e Podzolização na bacia do Alto Rio Negro.....	36
1.7.Águas dos rios da bacia amazônica	39
2.Objetivos.....	40
CAPÍTULO II. Procedimentos de Trabalho	42
1.Identificação preliminar do sítio de estudo.....	42
2.Trabalhos de campo.....	42
2.1.Cartografia (Levantamento Cartográfico dos solos da área)	43
2.2. Estudos do solos em campo e coleta de amostras	44
3.Procedimentos de laboratório	44
3.1.Análise Granulométrica.....	45
3.2.Extração de argila para análises de C orgânico, N e H.....	47
3.3.Pré tratamento das amostras com Citrato-bicarbonato-ditionito (CDB)	47
3.4.Análise elementar Carbono, Nitrogênio e Hidrogênio	49
3.5.Determinação dos grupos funcionais da matéria orgânica por infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR).....	50
3.6.Análises por fluorescência induzida por laser para a obtenção do grau de humificação	53
CAPÍTULO II. Resultados	55
1.Estudo dos sistemas de solos em transeção.....	55
1.1.Sistemas de solos podzolizados	55
1.1.1.Podzol espesso	56
1.1.2.Podzol Hidromórfico.....	57
1.1.3.Criptopodzol.....	58
1.2.Sistema Hidromórfico	59
1.2.1.Gleissolo.....	59
2.Caracterização Textural.....	60
2.1.Variação das classes texturais nos perfis	60
3.Distribuição espacial dos solos.....	62

4.Distribuição dos horizontes dos solos ao longo da topografia	67
5.Distribuição e Natureza da matéria orgânica presente nos solos da sequência 1 e T2	71
5.1.Variação dos teores de C,N e H e das relações C/N e H/C nos solos da transeção	74
5.2.Grupos funcionais da matéria orgânica nos perfis da sequência de solos	79
5.3.Grau de humificação da matéria orgânica e associações entre os grupos funcionais e as relações C/N e H/C	84
5.3.1.Grau de humificação da matéria orgânica dos solos da sequência 1 e T2.....	86
CAPÍTULO VI. Conclusão.....	90
1.Evolução pedo-morfológica da microbacia de águas pretas e a transformação das matérias orgânicas: modelo descritivo	90
2.Significação da evolução da microbacia e da dinâmica da matéria orgânica para o aparecimento e manutenção das águas escuras da microbacia estudada, na bacia do alto Rio Negro	95
Referências Bibliográficas.	97
Anexos.....	104

1. Introdução

A Amazônia constitui-se em uma região de elevada temperatura, alta umidade atmosférica e enorme quantidade de rios, fato que caracteriza esta área como a maior floresta tropical do mundo – com grande diversidade de fauna e flora. Processos naturais que ocorrem nessa região correspondem à quantidade de matéria e energia que é exportada e também remobilizada entre os ambientes – principalmente entre as florestas, os solos e os rios. Desta forma, a Amazônia tornou-se uma área de interesse para pesquisas relacionadas aos impactos ambientais e conservação da floresta, como por exemplo, os estudos que envolvem a dinâmica do carbono (ciclo do carbono) e a interface entre hidrosfera, atmosfera e pedosfera.

A preocupação com as questões pedológicas da região inicia-se com o avanço tecnológico, principalmente da cartografia no Brasil – projeto RADAM Brasil, na década de 1970. Este desenvolvimento auxiliou nos primeiros diagnósticos sobre a distribuição dos solos na região e contribuiu para o crescimento e aperfeiçoamento dos estudos pedológicos. Pesquisas constataram que, na Amazônia, principalmente na bacia do alto Rio Negro, encontram-se extensas áreas de solos lateríticos (latossolos) que estão passando por empobrecimento que precede a instalação de um novo processo de formação dos solos conhecido como podzolização. (LUCAS, et. al. 1987; BRAVARD e RIGHI, 1990; FRITSCH, 2002; NASCIMENTO et. al., 2004,2008; BUENO, 2009).

Lundstrom et al. (2000) conceituaram que a podzolização é um processo de transformação dos solos que ocorre principalmente em meio redutor. Este processo leva à dissolução da matéria orgânica, formação de complexos organo-metálicos de Fe e Al mobilização, translocação e acumulação de parte da matéria orgânica em horizontes profundos (Bh). Devido à alta porosidade dos podzóis e à umidade elevada na região da

Amazônia, a matéria orgânica pode facilmente ser transferida dos podzóis para as redes de drenagem, causando a coloração preta nas águas. Assim, o entendimento sobre a dinâmica da matéria orgânica no processo de podzolização contribui para análise das condições pedoambientais, uma vez que ela influencia fortemente nos processos pedogenéticos atuantes no solo e na dispersão dos complexos metálicos aos ambientes aquáticos.

As investigações acerca da matéria orgânica dos solos usualmente são realizadas através das análises das substâncias húmicas, já que estas migram e se transformam no meio. Nessas substâncias húmicas encontra-se o carbono orgânico - um marcador das características das matérias orgânicas. Dessa forma, estudos acerca da dinâmica do carbono em pedoambientes podem contribuir para identificar sinais de maturidade e processos de transformações dos solos (BRAVARD e RIGHI, 1990) e sua capacidade de estocar carbono (SILVA et. al. 2008).

Estudo mais verticalizado das matérias orgânicas em ambiente podzolizado foi apresentado por Bardy et al. (2008) para uma topossequência de solos na Bacia do Rio Jaú –AM. Estes estudos foram realizados sobre a fração argilosa das amostras do solo da transição Acrissolo-Podzol visando melhor entender a dinâmica das matérias orgânicas durante o processo de podzolização na alta bacia do Amazonas. As análises micromorfológicas e espectroscópicas permitiram ressaltar os contrastes entre os dois sistemas de solos. Revelaram, pelo uso de análises micromorfológicas, as características de distribuição das matérias orgânicas em relação ao esqueleto quartzoso, típicas dos podzóis mal drenados, e ressaltaram a ocorrência dos mecanismos de iluviação e acumulação de complexos organo-metálicos; também apresentaram, por métodos espectroscópicos, informações adicionais quanto à natureza da matéria orgânica. Em

conjunto os dois tipos de técnica permitiram especificar as mudanças na natureza da matéria orgânica e por consequência documentar os processos que respondem pela podzolização das lateritas.

A investigação apresentada está baseada na caracterização das matérias orgânicas envolvidas nos processos de podzolização na bacia do alto Rio Negro.

1.1. Sítio de Estudo e Características Geoambientais da área de estudo

O sítio investigado neste estudo está situado no município de São Gabriel da Cachoeira, localizado no Estado do Amazonas (latitude 0° 14' N e longitude 66° 47' W), distante cerca de 850 km da Capital do Estado, Manaus (Figura 1). Trata-se de uma microbacia cujo principal igarapé possui águas coloridas escuras, que deságuam em outro pequeno igarapé de água “clara” (Figura 1 e 2). As águas escuras misturam-se ao igarapé de águas claras ao longo de 10m. Esta configuração revela, a princípio, compartimentos com sistemas de solos diferentes.

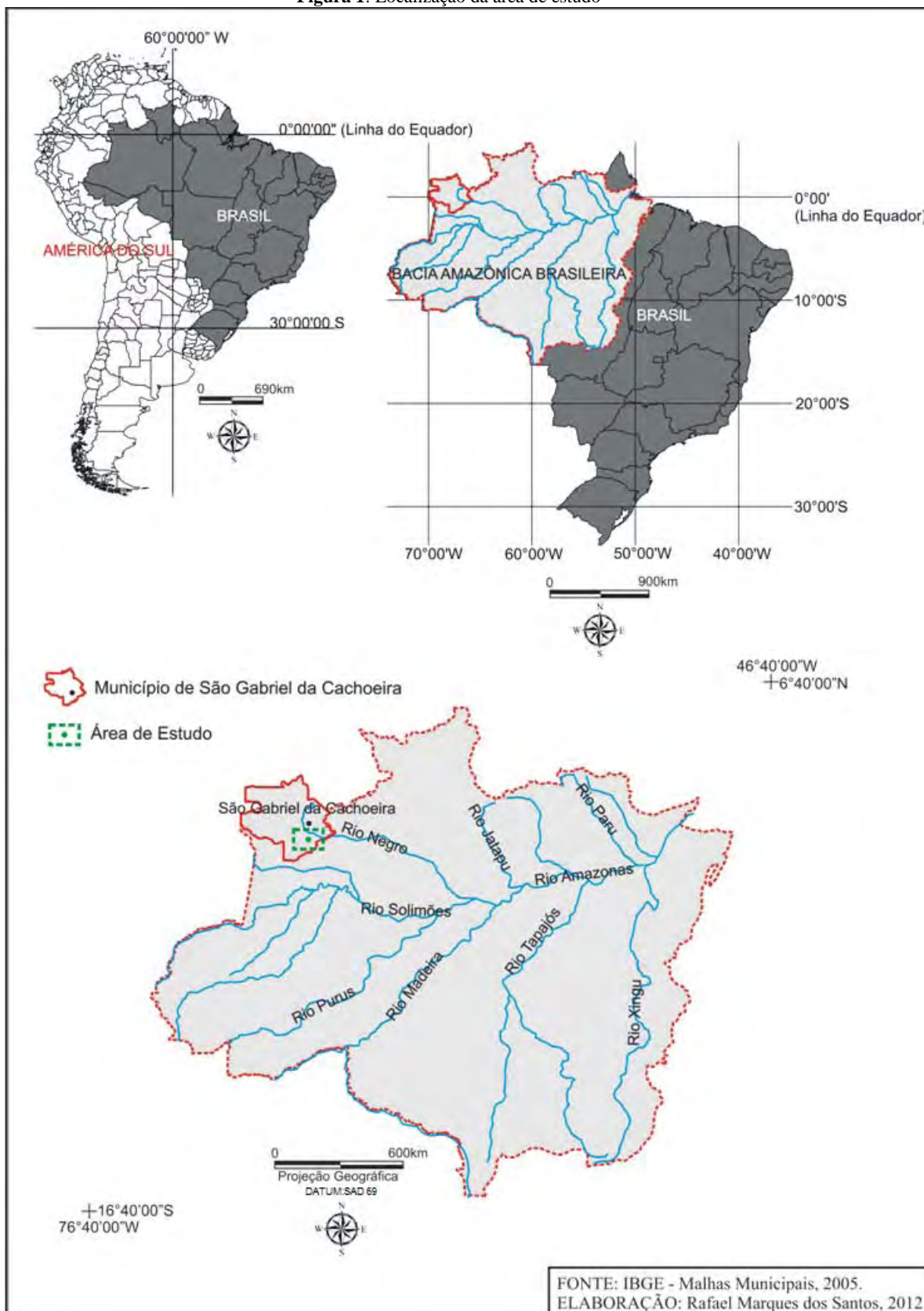
O estudo foi realizado em uma área que possui clima quente e úmido. Segundo a classificação de W. Köppen (1846-1940), está na zona Af (tropical chuvoso de floresta), que se caracteriza por médias de temperatura em torno dos 25°C e alta pluviosidade de cerca de 3000mm por ano. Os picos de pluviosidade ocorrem entre Março, Abril, Maio e Junho e as estações menos chuvosas estendem-se de Setembro a Novembro (RADAMBRASIL, 1977).

A cobertura vegetal é composta de uma floresta densa (RADAMBRASIL,1977), constituída por um adensamento heterogêneo de árvores, formando um domínio ao longo das margens do Rio Negro, ora descontínuo, ora estendendo-se para o interior por alguns quilômetros. Anderson (1981) aponta que, além da floresta densa, três outros

tipos de cobertura vegetal se encontram na região. Daquela de menor, para a de maior porte: 1) cerrado (pode ser chamado também de caatinga) aberto, com vegetação, estruturalmente homogênea, constituída por espécies de pequeno porte e aspecto raquítico, formando “ilhas” de vegetação entre espaços vazios arenosos; 2) campina sombreada, com cobertura mais contínua, indivíduos de maior porte (arbustos e árvores) e composição florística mais diversificada; 3) campinarana (“campina falsa”), com cobertura contínua e árvores de maior porte. A campinarana limita-se com a floresta de terra firme. Nesta transição, observa-se o aparecimento de um estrato inferior e a diminuição da espessura da serrapilheira. Pode-se falar, então, de uma sequência floresta-campina aberta. Em área com influência dos solos tipo Podzol Hidromórfico, predominam formações vegetais tipo campinarana (RADAMBRASIL, 1977).

Sob essa vegetação o baixo planalto é formado por relevos de platôs de baixa altitude que constituem largos interflúvios (RADAMBRASIL,1977), com homogeneidade da altimetria. Desta homogeneidade altimétrica destacam-se, abruptamente, as serras do Traíra e do Curicuriari, com 600 a 1000 m de altitude. A área pertence ao domínio morfoestrutural do Planalto Rebaixado da Amazônia, caracterizado por interflúvios tabulares e colinas com altitudes entre 80 e 100 m. A base desse relevo é constituída por rochas do embasamento. Pertencem ao Complexo Guianense, formado por gnaisses, migmatitos, granitos, granodioritos e anfibolitos (RADAMBRASIL,1977) com idades que variam entre 1300 e 1400 milhões de anos, e a Formação Içá, composta por arenitos amarelo-avermelhados, finos e organometálicos, friáveis siltitos e argilitos (CPRM/CIAMA-AM,2006).

Figura 1: Localização da área de estudo



Fonte: Malha Municipal IBGE, 2005

Figura 2: Igarapé de águas escuras que drena a microbacia de estudo, em sua confluência com o igarapé de águas claras.



Fonte: Bueno, 2009

1.2. Justificativas

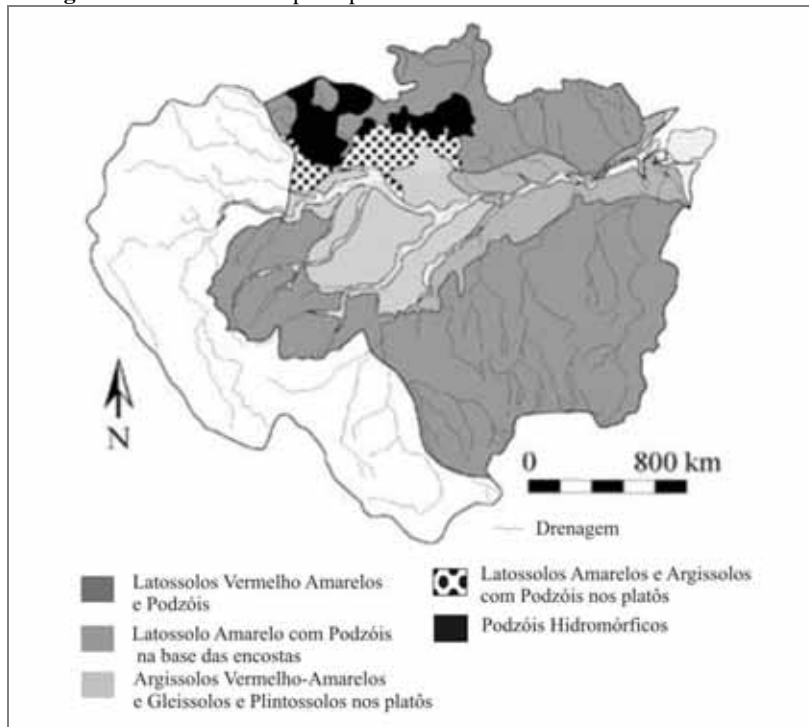
Os solos lateríticos são próprios dos ecossistemas de florestas tropicais, profundamente alterados e bem drenados, são pobres em sílica e bases e concentrados em Fe, Al e Ti. Na Amazônia os estudos pedológicos realizados (Projeto RadamBrasil, 1972-1978; VOLKOFF, 1990; FRITSCH et al. 2002, NASCIMENTO et al, 2004; BUENO, 2009) demonstraram que os solos na bacia distribuem-se seguindo uma tendência SE-NW, no qual os pólos mais argilosos ocupam as bordas da bacia; em contrapartida, os solos menos argilosos acompanham o centro, distribuindo-se em direção NW; para, finalmente, tornarem-se arenosos no extremo NW (Figura 3) .

A distribuição espacial dos solos lateríticos (Latosolos), como representado na figura 3 apresenta, como estes, progressivamente ser substituída pelos solos podzolizados. O processo de substituição de um solo em outro se dá através de uma frente de empobrecimento, primeiramente em ferro, por hidromorfia (NASCIMENTO et. al., 2004); e em seguida em argila (NASCIMENTO et. al., 2004; BUENO, 2009).

Os podzóis desenvolvem-se quando a matéria orgânica dissolvida é capaz de percolar através dos horizontes dos solos, indo em direção dos rios, ou acumulando-se nos horizontes mais profundos dos solos. Desta forma, levando alumínio e ferro complexados pela matéria orgânica, oriundos da dissolução das argilas e dos óxidos de ferro (LUCAS et al., 1996; LUNDSTRÖM et al., 2000; NASCIMENTO et al., 2004). Extensas áreas podzolizadas constituem, então, o estágio final da evolução dos solos e da evolução das paisagens equatoriais (DUBROEUCQ e VOLKOFF 1988).

Na bacia do alto Rio Negro os podzóis ocupam os baixos platôs amazônicos que se desenvolveram sobre rochas graníticas do Paleozóico; diferentemente dos podzóis mal drenados, da média bacia do Rio Negro que se desenvolveram sobre sedimentos. Os podzóis da alta bacia do Rio Negro são contíguos aos eixos de drenagem e podem ser drenados pelos rios maiores como o Rio Negro, Rio Curicuriari e Rio Uaupés. O fato dos podzóis dessas áreas serem fortemente drenados propicia uma maior remobilização das matérias orgânicas e dos metais, enquanto suas acumulações nas frentes laterais de podzolização são menos abundantes (NASCIMENTO et.al. 2008). As zonas bem drenadas propiciam uma mineralização mais intensa das matérias orgânicas e um *turnover* de C mais rápido, enquanto nas zonas mal drenadas a mineralização e o *turnover* são mais lentos (NASCIMENTO e FRITSCH, 2008).

Figura 3: Ocorrência das principais classes de solos na bacia Amazônica.



Fonte: Fritsch et. al. (2009)

Como resultado desta dinâmica, parte do carbono (C) é encontrada nos rios, incorporada nas matérias orgânicas coloidais e dissolvidas, e parte, nos horizontes mais profundos dos podzóis, na forma de matéria orgânica (LUNDSTRÖM et al., 2000), demonstrando, assim, o importante papel destes solos na dinâmica global de carbono.

Avalia-se que os solos possuem a capacidade de armazenar cerca de 2.500 Pg de C dividido em 1.550 Pg de carbono orgânico e 950 Pg de C inorgânico (CARVALHO et.al., 2010), o que pode equivaler a 2 vezes mais a quantidade de C contido na atmosfera (CARVALHO et.al., 2010). Montes et. al. (2011) investigaram a participação dos horizontes profundos (Bh) dos podzóis hidromórficos na bacia do alto Rio Negro, com relação ao acúmulo de C, demonstrando que este chega a $66,7 \pm 5,8 \text{kgC.m}^{-2}$, no horizonte Bh. Esse acúmulo está relacionado a altas quantidades de carbono orgânico dissolvido (DOC), percolada no lençol freático em profundidade e ao tempo de estabilidade desta matéria orgânica.

Dessa forma, a matéria orgânica é um importante indicador dos processos ambientais que ocorrem nos solos e compreender sua dinâmica nas regiões tropicais é relevante.

Buurman e Jongmans (2005) realizaram estudos sobre a caracterização da matéria orgânica e sua participação no processo de podzolização em zona temperada e ressaltaram a importância da expansão desses estudos, para as zonas equatoriais, o que vem ocorrendo (CAMARGO et al. , 1999; FONTANA, 2006, BARDY, 2008,2010; MONTES et. al.,2011). Tais informações contribuem para o entendimento das especificidades que estão diretamente ligadas ao aumento de gases do efeito estufa e, conseqüentemente, ao aquecimento global, principalmente no que se refere à participação da floresta amazônica neste processo. A matéria orgânica é, também, indicador paleoclimático, já que ela guarda registros importantes de climas pretéritos, que podem ser obtidos a partir do entendimento sobre os estoques de C. Pelas possibilidades que o estudo da matéria orgânica traz, o presente trabalho justifica-se como contribuição científica maior, para o entendimento da liberação e do sequestro de carbono no ambiente podzolizado.

1.3. Organização dos capítulos da Monografia

A monografia apresentada está organizada em quatro capítulos. O primeiro, Bases Bibliográficas para o Desenvolvimento do Trabalho e Objetivos procurou apresentar o referencial bibliográfico utilizado sobre a matéria orgânica do solo e os processos que levam a podzolização nos solos, e também apresenta os principais objetivos do estudo. O segundo capítulo, Procedimentos de trabalho descreve cada um dos métodos e as análises utilizados. O terceiro capítulo, intitulado Resultados, apresenta os resultados obtidos e a discussão com o referencial teórico levantado. Para

facilitar a leitura, o capítulo foi dividido em: 1. Estudo dos sistemas de solos em transeção; 2. Caracterização Textural; 3. Distribuição espacial dos solos; 4. Distribuição dos horizontes dos solos ao longo da topografia; 5. Distribuição e Natureza da matéria orgânica presente nos solos da sequência 1 e em T2; e 6. Grau de Humificação da Matéria Orgânica e Associações entre os grupos funcionais e as relações C/N e H/C. No capítulo 4, denominado Conclusão, também há duas subdivisões : 1. Evolução pedomorfológica da microbacia de águas pretas e a transformação das matérias orgânicas: modelo descritivo; e 2. Significação da evolução da microbacia e da dinâmica da matéria orgânica para o aparecimento e manutenção das águas escuras da microbacia estudada, na bacia do alto Rio Negro. Este capítulo apresenta conclusões obtidas com o estudo e uma proposta de modelo evolutivo a microbacia.

CAPÍTULO I: BASES BIBLIOGRÁFICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO E OBJETIVOS

1. Base bibliográfica de apoio ao trabalho

Dois tipos de base bibliográfica estão expostos neste item: artigos e livros que constituem as bases para o conhecimento sobre a natureza das matérias orgânicas e artigos que formam o arcabouço para o conhecimento da podzolização na bacia do Rio Negro.

1.1. Matéria orgânica no solo

A matéria orgânica do solo é o componente normalmente encontrado em pequena quantidade na vasta maioria dos solos (em geral, de 1-5% do total de solo), mas é, sem dúvida, o principal responsável pela estrutura, bom funcionamento e sustentabilidade do ecossistema. É constituída de uma mistura de resíduos orgânicos (animais e vegetais) de diversas naturezas e em diferentes estágios de decomposição, resultantes de degradação química, biológica e da atividade sintética dos microrganismos (STEVENSON, 1994; CAMARGO et. al., 1999).

Apesar de sua quantidade reduzida encontrada no solo, a matéria orgânica é importante fonte de nitrogênio para as plantas e fornecedora de elementos como fósforo, enxofre e diversos micronutrientes. Além disso, é constituída por diferentes compostos de carbono em vários graus de alteração e de interação com as outras fases do solo. Parte do carbono presente nos resíduos é liberada para a atmosfera na forma de CO₂ e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica, como componente do solo (BAYER e MIELNICZUK, 1999). A matéria orgânica interfere em várias propriedades do solo, tais

como: adsorção de cátions e ânions, auxilia na estabilização da estrutura do solo, retenção de água, influencia diretamente na cor, reduz a plasticidade e provoca sensível diminuição na compactação, por aumentar a porosidade do solo. Sua quantidade presente no solo varia de acordo com o clima, o tipo de vegetação ou cobertura, textura e regime de saturação hídrica e ainda, o manejo (SANTOS 2007).

O teor de matéria orgânica presente no solo é resultado do balanço entre processos de adição de material orgânico (restos de plantas e etc.) e perda (decomposição desses materiais pelos micro-organismos). Segundo STEVENSON, (1994) pode-se classificar a composição e estrutura em: a) resíduos orgânicos ou liteira; b) substâncias não húmicas ou substâncias não humificadas e c) substâncias húmicas ou húmus estável.

a) Resíduos orgânicos ou liteira é a fração leve da matéria orgânica do solo, composta por resíduos de plantas em vários estágios de decomposição incorporados ao solo, seu objetivo é fornecer energia para a superfície do solo e protegê-lo contra a degradação física (STEVENSON, 1994).

b) As substâncias não húmicas ou substâncias não humificadas são os compostos orgânicos de natureza e propriedades físico-químicas bem conhecidas, como por exemplo, os carboidratos, aminoácidos, lipídios, proteínas, ácidos orgânicos de baixo peso molecular entre outros. Geralmente correspondem aos compostos mais facilmente degradados por micro-organismos, possuem um tempo de vida mais curto no meio ambiente (dos SANTOS 2008).

c) Substâncias Húmicas ou húmus estável é um conjunto de macromoléculas ou estruturas supramoleculares que possuem massa molar variável e características físico-químicas não bem definidas (STEVENSON, 1994; dos SANTOS 2008). Podem ser

divididas em ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina, baseado nas suas solubilidades em ácidos e bases (Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS); STEVENSON, 1994).

Assim têm-se: Ácidos Húmicos - fração escura solúvel em extrato alcalino, que precipita após a acidificação. Representam também a porção mais estável da matéria orgânica;

Ácidos Fúlvicos - fração que permanece em solução quando o extrato alcalino é acidificado;

Humina - fração insolúvel em qualquer intervalo de pH.

1.2. Mineralização e Humificação

A mineralização está associada na sua origem a minerais solúveis ou gasosos (Duchaufour, 1960) e é definida por Zech et. al. (1997) como a transformação de elementos organicamente ligados (C, N, S, P) em compostos inorgânicos (CO_2 , CH_4 , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , HPO_4^{2-}), ou seja, é o processo de liberação de nutrientes minerais para os solos. A velocidade de mineralização e a quantidade de nutrientes liberados diferem muito entre as diferentes frações da matéria orgânica do solo.

A humificação é a transformação de substâncias macro-morfológicas identificáveis, em substâncias húmicas amorfas (ZECH et. al., 1997). É o processo no qual se dá a formação de húmus. São produtos mais estáveis e resistentes à ação microbiana. As substâncias húmicas originam-se a partir da celulose, lignina, proteínas, lípidios e de outras substâncias pela degradação química e biológica ou da ressíntese, em um grupo amorfo de substâncias de coloração castanho-escuro, com estruturas

químicas complexas de maior estabilidade do que os materiais que as originaram, bem como, estrutura e natureza particulares (STEVENSON, 1994). As principais transformações que ocorrem durante o processo de humificação a modificação das estruturas da lignina, perda de compostos fenólicos e polissacarídeos e enriquecimento em estruturas aromáticas não lignínicas recalcitrantes (ZECH et. al.,1997). Não apenas microorganismos, mas também animais do solo participam do processo de humificação e, assim, pode-se dizer que ocorrem transformações físicas, químicas e biológicas, ao invés de apenas microbiana e química (KUMADA, 1987).

A velocidade dos processos de mineralização e humificação é variada, e podem ser influenciados principalmente pelo clima e fatores físico-químicos como pH, relação C/N entre outros (ZECH et. al.,1997).

Na medida que a matéria orgânica se decompõe, novo húmus é formado. O equilíbrio entre os dois processos determina a quantidade de húmus presente no solo em dado momento. Quando se trata de solo jovem e virgem, a quantidade de húmus formada é superior à porção mineralizada e como consequência há acumulação gradual. À medida que o solo caminha para sua maturidade genética, a quantidade de matéria orgânica mineralizada aumenta e tende a equilibrar a quantidade de húmus que se forma. Nessa ocasião os dois processos, mineralização e humificação, atingem a mesma intensidade, em que o húmus tem por características constituir-se em cerca de 50 a 80% do total da matéria orgânica. E assim, possuir propriedades físicas, químicas, e físico-químicas inerentes, coloração entre parda escura a negra, altos conteúdos de lignina e proteína, com relação C/N em torno de 10 e sem composição química definida (KIEHL, 1979).

1.3. Tipos de Húmus

Duchaufour (1960) classificou os tipos de húmus dos horizontes orgânicos, a partir dos vários estágios de decomposição do material orgânico, para ecossistemas temperados na Europa. A classificação é, também, utilizada para os ecossistemas tropicais. Nos meios aeróbicos encontram-se três tipos de horizontes orgânicos (figura 4):

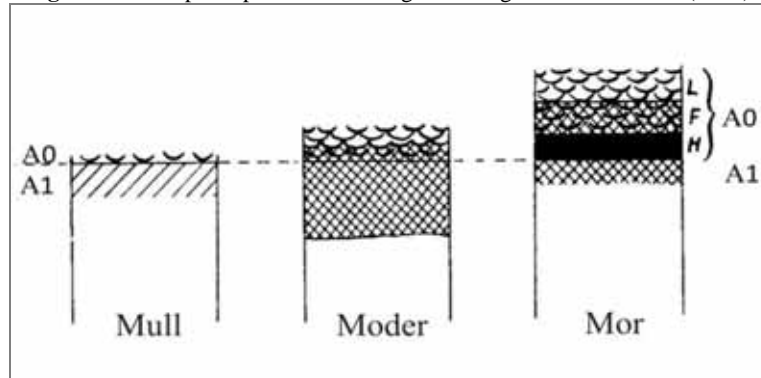
Mull (húmus leve): são formados sobre boas condições de temperatura e umidade, solos bem supridos de cálcio, mas não calcário. A rápida decomposição dos detritos forma serrapilheira fina sem a formação de um verdadeiro horizonte A_0 preto; o horizonte A_1 , bem desenvolvido, na cor brunada, apresenta uma estrutura da matéria orgânica característica, que consiste em uma mistura íntima de argila e elementos húmicos parcialmente saturado com cálcio (ácidos húmicos H^+Ca^{++}). O pH de formação é de 5 a 6,5 e a relação C/N encontrada é inferior a 20.

Moder: tipo de húmus intermediário entre o mor e o mull. A serrapilheira se decompõe um pouco menos rapidamente que o mull e dá origem a um horizonte A_0 de apenas 2 a 3 cm. O limite entre A_0 e A_1 é geralmente impreciso, o horizonte A_1 geralmente é espesso (10 cm), de coloração preta ou cinza. Ocorrem em ambientes com pH inferior a 5 e a relação C/N encontrada em A_1 varia entre 15 e 25.

Mor: conhecido também como húmus bruto. Húmus de decomposição lenta; o horizonte A_0 é espesso e formado por elementos não decompostos e intermediários o que causa a divisão desta em três outras camadas: camada L, formada por produtos ainda sem decomposição; camada F, de fermentação, e camada H, de humificação compreendida por complexos húmicos em mistura com produtos intermediários. O

horizonte A₁ é fino com a presença de produtos intermediários e compostos húmicos muito ácidos. O pH de formação encontra-se na faixa inferior a 5 (na maioria das vezes na ordem de 4 a 4.5) e relação C/N superior a 20 em A₁.

Figura 4: Principais tipos de húmus orgânicos segundo Duchaufour (1960).



Fonte: Duchaufour (1960).

1.4. Relação C/N e H/C

A matéria orgânica do solo, que exerce um papel fundamental na capacidade produtiva dos solos, é constituída principalmente de carbono (C), nitrogênio (N), hidrogênio (H) e oxigênio (O) (SPARKS, 1995).

Conhecer as proporções destes compostos nos solos é importante uma vez que indicam a qualidade, sistemas de manejo, o uso e ocupação do solo; para objetivos científicos são fortes indicadores de gênese dos solos. Para os estudos que envolvem a matéria orgânica os teores de C são importantes, uma vez que se encontram substancialmente proporcionais à matéria orgânica do solo (DUCHAUFOR, 1960).

Grande parte dos levantamentos para a caracterização das matérias orgânicas é realizado a partir do levantamento da composição elementar das substâncias húmicas a partir da detecção dos quatro elementos (carbono, nitrogênio, hidrogênio e enxofre). A

análise elementar é a técnica mais antiga e utilizada pelos pesquisadores para a realização desta detecção (STEVENSON,1994).

Porém, as percentagens de carbono (C), nitrogênio (N) e hidrogênio (H), individualmente, oferecem poucas informações, por isso as relações atômicas carbono-nitrogênio (C/N) e hidrogênio-carbono (H/C), são utilizadas a fim de conhecer alguns dos comportamentos da matéria orgânica nos sistemas de solos.

A relação C/N é um importante indicador do estágio de decomposição da matéria orgânica do solo, relacionada com a quantidade de carbono (C) nos solos e incorporação do nitrogênio (N), dando uma indicativa da maturidade e da intensidade da atividade microbológica dos mesmos (BRAVARD e RIGHI, 1990). Altas relações C/N podem significar baixas incorporações de N ou baixos graus de humificação do solo (STEVENSON, 1994).

Quanto à relação H/C ela oferece informações sobre a aromaticidade X alifacidez dos solos, sendo que esta relação tende a aumentar quanto maior for a alifacidez da amostra (STEVENSON, 1994; BARDY, et. al. 2008). O limite atinge 2, mas pode ser ultrapassado por causa da contribuição do H presente nas argilas e minerais dos horizontes organo-minerais. O grau de alifacidez tende a ser maior nos horizontes superficiais dos solos, porque ela está relacionada à matéria orgânica fresca, diminuindo em horizontes profundos dos solos.

1.5. Solos e processos maiores envolvidos na podzolização na região Amazônica

1.5.1. Empobrecimento dos solos Lateríticos

A lateritização é um processo de alteração presente nas regiões intertropicais do globo e ocorre, principalmente, em ambientes de drenagem aberta (FANNING e FANNING, 1989), é responsável pela acumulação residual de Al e Fe menos móvel em minerais secundários predominantemente, caulinita, óxidos de ferro e alumínio (principalmente gibsitita, hematita e goetita) (TARDY, 1993), formando os solos conhecidos como Latossolos. Esses solos caracterizam-se pela predominância de minerais de argila e óxidos de ferro, além de elevada estabilidade estrutural, alto grau de floculação, boa permeabilidade, baixos teores de silte e menor capacidade de troca catiônica (KER, 1997). São solos com típica coloração vermelha e amarela e apresentam horizonte orgânico de tipo Mull.

Na bacia do alto rio Negro latossolos são encontrados às margens dos platôs fortemente dissecados (BUENO, 2009) e, devido às fortes condições de intemperismo presentes na região (condições climáticas úmidas e pH moderadamente ácido (MELFI & PEDRO,1977)), apresentam processos de empobrecimento e regressão em função do avanço dos solos podzolizados sobre os mesmos (BRAVARD e RIGHI (1990);DUBROEUCQ E VOLKOFF, 1998; DUBROEUCQ *et.al.*, 1999; BUENO, 2001, 2009; NASCIMENTO *et. al.*,2004, 2008;FRITSCH *et al*, 2007,2009).

Bueno (2009) constatou que essa transformação das coberturas lateríticas ocorre através de processos de transformações na textura e na cor das coberturas, isto é, a partir do empobrecimento de frações finas, e amarelamento dos solos. É um processo de degradação dos horizontes superiores do solo, associada à nova formação da goethita rica em alumínio e que está relacionada à dissolução preferencial da caulinita nestes horizontes (FRITSCH *et. al.*, 2002). É o principal responsável pela degradação e

depleção das argilas, quebrando a estrutura dos solos lateríticos (Fritsch et. al., 2005) e por uma dinâmica, que segundo Bueno (2009) inicia-se com a dissolução de óxidos de ferro e alumínio e posterior produção de hidróxidos de alumínio (gibbsite).

Essa alteração possibilita maior atividade do alumínio e da água e menor atividade da sílica, marcando o início da mobilidade do alumínio no perfil de alteração e a formação de solos denominados de Acrissolos. São solos com argila de baixa atividade e com baixa saturação por bases (World Reference Base For Soil Resources-IUSS Working Group WRB, 2006). Para Nascimento et. al. (2004) os Acrissolos identificados na bacia do Rio Negro são antigos latossolos ou lateritas móveis, que inicialmente passaram pelo empobrecimento em materiais finos resultando em aumento forte e relativo de textura arenosa e aumento fraco e relativo de textura argilosa no horizonte B. Aos processos de transformação mineralógica e geoquímicos agregam-se mais dois de natureza físico-química: a lixiviação e a lessivagem, responsáveis pela perda dos materiais mais finos. Lixiviação associada à dissolução dos minerais e transporte de íons em suspensão e a lessivagem atribuída ao transporte de partículas ou colóides suspensos (Bueno, 2009). O autor ainda afirma que a perda de argila opera-se em duas etapas: 1) substituição de cátions trocáveis de argilas por Fe^{2+} (fase redutora); 2) oxidação do Fe^{2+} em Fe^{3+} (fase oxidante com formação de hidróxidos) e prótons de H^+ que ocupam os sítios de troca das argilas. A perda dos elementos finos promove o desenvolvimento da porosidade grosseira, principalmente da base para o topo do perfil (BUENO, 2009). Em regiões tropicais úmidas estas perdas foram atribuídas a umidade mais elevada dos solos e a mecanismos de alto desenvolvimento e envelhecimento das lateritas (FRISTCH et. al. 2005).

1.5.2. Solos Hidromórficos: Gleissolos

Além dos solos em processo de empobrecimento, solos hidromórficos são encontrados nas porções mais baixas do terreno e associados aos sistemas de águas subsuperficiais da bacia do Alto Rio Negro, chamados de Gleissolos.

O processo de formação desses solos é denominado Gleização, e ocorre em ambientes sobre fortes condições de redução, o que significa saturação de água por algum período do ano ou durante o ano todo (FANNING e FANNING, 1989; QUESADA et.al., 2011). A saturação de água prolongada nesses ambientes é favorável à ausência de oxigênio e à presença de microorganismos anaeróbicos, induzindo a redução de Fe^{3+} (goethita, hematita, ferridrita e lepidocrocita) para Fe^{2+} em partes do solo. O Fe^{2+} é então solubilizado favorecendo sua mobilidade no perfil. A redução é seguida pela oxidação de Fe^{2+} para Fe^{3+} e precipitação na forma de óxidos de ferro no perfil (FANNING e FANNING, 1989; QUESADA et.al., 2011). Esse processo de redução provoca o empalidecimento, coloração *gley* (baixo chroma), nas partes do perfil onde ocorre saturação pela água e consequente perda de Fe, contudo apresenta coloração mais forte (aumento do chroma) nos horizontes aonde há acumulação dos óxidos pela oxidação (FANNING e FANNING, 1989).

Na bacia hidrográfica do alto Rio Negro esses solos são encontrados nas planícies e depressões do platô, bem como nas bordas de platôs mais baixos (Fritsch et.al., 2007), como ilustrados na Figura 5, a presença desses solos é controlada pelo terreno. Nos dois primeiros casos do seu aparecimento (planícies e depressão do platô), a formação ocorre por branqueamento das formações lateríticas devido a constante presença de água, que provoca redução do ferro dos perfis dos solos enquanto, sobre a borda do platô podzolizado, o desenvolvimento ocorre a partir dos podzóis que foram

truncados pela rede de drenagem que dissecou a borda do platô, provocando o afloramento do lençol freático; este lençol existe sobre o horizonte espódico do podzol (Bh e Bs) e aflora na vertente, gerando ali um ambiente hidromórfico (BUENO,2009). Gleissolo é, então, formado a partir de um antigo horizonte C do podzol, que é argiloso (FRITSCH et. al., 2007).

Figura 5: Representação da distribuição do Gleissolo sobre o relevo da Amazônia



Os gleissolos apresentam uma textura mais fina (maior presença da fração argila) e acumulação de matéria orgânica nas partes superiores do perfil e baixa mineralização da mesma. Quesada et. al. (2011), avaliando alguns perfis de gleissolo na bacia Amazônica, encontraram teores mais elevados de carbono nas superfícies dos perfis estudados. Em profundidade estes valores foram mais baixos e constantes, demonstrando a migração do carbono que ocorre no sistema.

Sendo os gleissolos solos típicos de áreas alagadas, a cobertura vegetal sustentada por este tipo de solo está relacionada a árvores de menor porte que a floresta.

1.5.3 Solos Arenosos: Podzóis

Os Podzóis são solos que apresentam uma morfologia espetacular com forte diferenciação vertical, diagnosticada pela presença do horizonte espódico (Bh), no qual se acumulam matéria orgânica e compostos organo-metálicos e/ou compostos inorgânicos de Fe e Al (PETERSEN,1984; LUNDSTROM, et. al. , 2000). Sobre os horizontes espódicos encontra-se o horizonte oriundo de eluviação (A ou E), chamados

de álbicos, arenosos, que nos podzóis gigantes podem ultrapassar os 10 metros de espessura (KLINGE,1965; LUCAS et .al. 1996; DUBROEUCQ & VOLKOFF,1999).

A matéria orgânica possui participação ativa na gênese dos solos podzóis. Sendo assim, é uma influência importante no processo de podzolização (BUURMAN e JONGMANS, 2005). Durante a podzolização a matéria orgânica está envolvida em estágios de mobilização, transporte e precipitação (BUURMAN e JONGMANS, 2005).

A podzolização é o processo que dá origem a esses solos. O mecanismo principal na gênese dos podzóis é denominado ácido-complexólise e ocorre em ambientes ácidos (pH entre 3 -5), e sob a ação complexante dos ácidos orgânicos, o que favorece a mobilização de Fe, Al e matéria orgânica. Os ácidos orgânicos formados pela decomposição da matéria orgânica acumulada na superfície do solo reduzem o pH em meio ácido, dando início ao processo de acidólise. A ação desses ácidos altera os constituintes primários dos solos, solubilizando Fe e Al por complexação e mobilizando-os (LUNDSTRÖM *et al*, 2000). Seus produtos são, portanto, eluviados e precipitados no horizonte Bh em fases rarefeitas cristalina e inorganicamente do Fe, Al e Si. O resíduo desta alteração é o quartzo, constituinte quase que exclusivo do horizonte E, uma vez que o Si é o elemento menos solúvel neste ambiente (LUNDSTRÖM *et al*, 2000; BUURMAN e JONGMANS, 2005).

Geralmente, esses solos apresentam alta acidez, baixa fertilidade química, e matéria orgânica do tipo Mor (LUNDSTRÖM, et. al., 2000, QUESADA et. al., 2011). A matéria orgânica tem, geralmente, baixa atividade biológica e mineralização menos intensa o que reflete na acumulação de matéria orgânica pouco transformada, enquanto o meio pobre em argila impede a formação de agregados argilo-húmicos (van BREEMEN & BUURMAN, 2002).

A cobertura vegetal presente é de porte arbóreo, constituída de árvores de troncos finos e curtos.

1.6. Matéria Orgânica e Podzolização na Bacia do Alto Rio Negro

Os primeiros levantamentos sistemáticos sobre os recursos pedológicos da região Amazônica ocorreram no período entre 1972 e 1978 com o mapeamento realizado pelo projeto RadamBrasil, que disponibilizou mapas pedológicos na escala 1:1.000.000. O acesso ao material cartográfico e posteriormente o avanço da tecnologia permitiu a realização de trabalhos sobre a origem, a formação e o estado de transformação dos solos na região, e principalmente diagnosticar o avanço do processo de podzolização sobre os meios lateríticos (KLINGE, 1965; ERTEL *et al.*, 1986; LUCAS *et al.*, 1984; BRAVARD e RIGHI, 1989, 1990; DUBROEUCQ E VOLKOFF, 1998; DUBROEUCQ *et.al.*, 1999; BUENO, 2001, 2009; NASCIMENTO *et. al.*,2004, 2008;FRITSCH *et al*, 2007,2009; DINIZ, 2011).

Diversos estudos associavam a ocorrência dos podzóis a regiões de clima frio e úmido (PETERSEN,1976; CHAUVEL *et. al.*,1987), mas o avanço nos estudos, especialmente a partir da década de 1960 na Amazônia brasileira, apontou a presença deste tipo de solo em zonas tropicais (KLINGE,1965; SOMBROEK,1984).

A distribuição dos solos lateríticos e dos podzóis na bacia amazônica foi relatada, num primeiro momento, como resultante de uma erosão maciça de grande escala que permitiu, em parte, preservação das lateritas nas zonas erodidas e, de outra, o desenvolvimento de podzóis nos sedimentos arenosos de origem continental ou fluvial (KLINGE, 1965; SOMBROEK, 1990). Essas interpretações basearam-se no estudo de

perfis isolados, que não levaram em consideração filiações laterais entre esses dois tipos de solo.

Estudos de sequências de solos em pequenas unidades de modelado permitiram estabelecer filiações entre os dois solos. Elas mostram que as lateritas e os podzóis podem coexistir num mesmo tipo de unidade geomorfológica e de formação geológica, por exemplo, nos platôs com sedimentos do Cretáceo da média bacia amazônica (LUCAS, 1989), nas rochas cristalinas pré-cambrianas da plataforma guianense (VEILLON, 1990) e nos sedimentos Quaternários da zona costeira das Guianas (TURENNE, 1975).

Na bacia do Rio Negro os podzóis que não se encontram associados à rede de drenagem, são os chamados podzóis hidromórficos, sua distribuição na paisagem é controlada pelo relevo, muitas vezes são estes solos que estão relacionados aos rios de águas “negras”, pois a matéria orgânica é dissolvida com o Al e transportada lateralmente e subsuperficialmente (BUENO, 2009; QUESADA, 2011). Sua distribuição é semelhante aos gleissolos, porém sua origem é diferente, pois está associada ao empobrecimento das coberturas lateritas (BUENO, 2009).

Os podzóis Amazônicos são encontrados sobre os baixos platôs e ligados ou não à rede de drenagem principal. Na parte média da bacia do Rio Negro estes solos são pouco desenvolvidos e ocupam, como os solos hidromórficos (Gleissolos), zonas deprimidas sobre esses platôs (região do Jaú) (BUENO, 2001). Na parte da montante e mais chuvosa da bacia do Rio Negro (região de São Gabriel da Cachoeira), esses solos estão diretamente conectados aos eixos de drenagem principais da bacia do Rio Negro (Bueno, 2009). A coloração escura desses rios também confirma que a expansão dos

podzóis em áreas alagadas nos planaltos ainda está em curso. (NASCIMENTO *et. al.*, 2004).

Nascimento *et al.*, (2004) e Bueno (2009) reconheceram os dois principais estágios que envolvem a podzolização dos solos sobre os meios lateríticos na Bacia do Rio Negro. Nessa fase, os Acrissolos (amarelados) de montante passam a ser impregnados pela matéria orgânica em profundidade. Essas substâncias orgânicas são, portanto, responsáveis pela alteração dos minerais argilosos e pela transferência vertical de complexos orgânico-metálico; esse primeiro passo ocorre, na transição, onde os podzóis são fracamente diferenciados, caracterizados pela formação dos horizontes A, com a matéria orgânica tipo Mor e Bhs pouco diferenciados. O segundo passo marca a perda quase total de minerais de argila nos horizontes superiores e a formação de horizontes AE e E dos podzóis e a acumulação de matéria orgânica em maior profundidade e a geração de complexos organo-metálicos nos horizontes Bh e Bhs. Essa segunda etapa está estreitamente ligada ao desenvolvimento de condições redutoras e ácidas de um lençol suspenso que alimenta, sazonalmente, os canais de drenagem de jusante das depressões onde se encontram esses solos (NASCIMENTO *et. al.*, 2004, NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Estudos ressaltando a participação da matéria orgânica no processo de podzolização foram realizados na região da Amazônia. Bravard e Righi (1990) assinalaram a produção de complexos organo-ácidos e sua habilidade de migração no perfil, além de diferenciar a matéria orgânica encontrada nos Oxisols da encontrada nos Podzóis. Demonstraram ainda, que a matéria orgânica do solo pode ser um importante indicador das características de maturidade (análises de C/N) e idade dos solos (datação ¹⁴C). Bardy *et. al.* (2007, 2008) aprofundaram os trabalhos com o objetivo de

caracterizar a matéria orgânica e identificar sua relação com a complexação de metais na bacia do baixo Rio Negro (bacia do Rio Jaú). Bardy et. al. (2007) mostraram associação de substâncias orgânicas com Al e Fe, estando o Fe muito mais complexado que o Al nos podzóis hidromórficos. Esse trabalho também demonstrou que os complexos aluminosos acumulam-se mais nos horizontes Bs e Bhs e os férricos nos horizontes Bh e que as condições muito ácidas ($\text{pH} < 3.5$), dos compartimentos arenosos destes podzóis, são propícias à remobilização dos metais. Em Bardy et al. (2008) a preocupação foi realizar a caracterização da matéria orgânica encontrada nos podzóis. A autora revelou predomínio de unidades alifáticas nos horizontes A e AE, o que está associado à abundância de restos de plantas remanescentes nestes horizontes. Substâncias de húmus fino, com domínio de grupos ricos em oxigênio, especialmente ácidos carboxílicos, que possuem grande capacidade de complexação de metais, foram encontradas impregnando os horizontes Bhs dos podzóis fracamente desenvolvidos e, em maiores profundidades, no horizonte 2BCs dos podzóis bem desenvolvidos. As unidades aromáticas foram encontradas nos grânulos grosseiros orgânicos pretos dos horizontes A dos podzóis fracamente desenvolvido, e abundantemente, nos horizontes Bh dos podzóis bem desenvolvidos, enquanto as frações compostas por agrupamentos ricos em oxigênio localizavam-se nos horizontes menos permeáveis Bhs e 2BCs. Estas últimas contribuíram para a acumulação de Al ligado à matéria orgânica nos ambientes fracamente acidificados ($4.3 < \text{pH} < 5.5$). Os componentes orgânicos grosseiros, com unidades aromáticas, produzidas nas areias e nos horizontes mais ácidos ($3 < \text{pH} < 4.3$), preferencialmente, acumularam Fe ligado à matéria orgânica nos horizontes A13 e Bh. De acordo com Bardy et.al. (2008), isto está em conformidade com o caráter fúlvico dos componentes orgânicos acumulados com Al nos horizontes Bs (Bhs e 2BCs) e o caráter húmico comumente assinalado nos horizontes Bh com Fe dominante.

Outros trabalhos também se preocuparam com a questão da matéria orgânica na região da Amazônia, principalmente, com o objetivo de compreender a matéria orgânica dissolvida nos rios da região (ERTEL, et. al., 1986; PATEL-SORRENTINO, et. al., 2002; ALLARD, et. al. 2004; BARDY et. al., 2010).

1.7. Águas dos rios da bacia Amazônica

A Bacia Amazônica possui a maior área de drenagem do mundo. Ela fornece cerca de 20% do total de água descarregada no oceano (PATEL-SORRENTINO, et al, 2002). As áreas de drenagem nesta região estão muitas vezes conectadas aos tipos de solos e muitas vezes apresentam os principais materiais de origem desses solos na forma dissolvida (FURCH e KLINGE, 1989; GAILLARDET et. al,1997; QUESADA et. al. 2011). Sendo assim, os principais tipos de drenagem encontrados na bacia Amazônica são os chamados rios de “água branca”, rios de “águas claras” e rios de “água preta”.

Os rios de “água branca” possuem uma coloração que poderíamos definir como “barrenta”, essa coloração se deve à suspensão de partículas erodidas de encostas das montanhas e baixa concentração de matéria orgânica. Nessas águas os principais nutrientes encontrados são: Ca, P e Mg e seu pH varia entre 6 e 7. Na bacia Amazônica os principais representantes desses tipos de rios são: Solimões e Madeira. As águas marrons do rio Solimões, por exemplo, contêm alta carga de sedimento (53-226 mg L⁻¹), herdados da denudação física dos Andes e terraços aluviais, com Fe principalmente exportados como óxidos de Fe e minerais de argila (FRITSCH et. al., 2009).

Rios de “águas claras” são rios de águas praticamente transparentes que transportam baixa quantidade de material em suspensão, o pH é alcalino variando entre 4,5 e 7,8,

exemplo dessas águas podem ser encontradas no rio Xingu, Tapajós e Trombetas (SILVA, 2006).

Nos Rios de “água preta” encontram-se águas chamadas de escuras devido as altas concentrações de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos dissolvidos e baixa concentração de materiais em suspensão (PATEL-SORRENTINO *et. al.*, 2002), pH ácido (cerca de 4). Estão fortemente relacionadas com alto conteúdo de carbono orgânico e metais. Os melhores exemplos de rios de águas pretas são encontrados na bacia do Rio Negro. O rio Negro possui baixa carga de sedimentos ($5-12 \text{ mg L}^{-1}$), como Fe na forma de Fe III ligado a coloides orgânicos (ALLARD *et. al.*, 2002; FRITSCH *et. al.*,2009) e também como Fe^{+III} (NASCIMENTO *et. al.* ,2008). Os processos geoquímicos relacionados à formação, mobilização e precipitação/adsorção de complexos ácido-orgânicos contendo ferro e alumínio são um dos responsáveis pela qualidade da água nos sistemas hídricos da bacia do Rio Negro e influenciam fortemente na coloração das águas destes rios (NASCIMENTO *et. al.*, 2004).

2. OBJETIVOS

As contribuições da bibliografia nortearam o interesse em compreender qual a significação da evolução da microbacia e da dinâmica da matéria orgânica para o aparecimento e manutenção das águas escuras da microbacia estudada, na bacia do alto Rio Negro. Desta maneira, este trabalho tem como objetivo o estudo da distribuição e das mudanças na natureza da matéria orgânica presente nos solos no decorrer da evolução da microbacia de águas escuras e estudar a evolução pedo-geomorfológica. Este objetivo maior apoia-se no estudo morfológico dos solos; no levantamento e elaboração de mapa pedo-topográfico; na verificação da diferenciação das matérias

orgânicas ao longo da micro-bacia, e na investigação do processo de humificação dos solos.

Para cumprir com os objetivos explicitados foram realizadas as seguintes etapas de trabalho: estudos de campo, análises laboratoriais, preparação das representações gráficas, interpretação dos resultados e deduções a partir dos resultados para a elaboração de um modelo descritivo de evolução da microbacia decorrente do processo de podzolização e das características que envolvem a transformação das matérias orgânicas presentes nos solos.

CAPÍTULO II: PROCEDIMENTOS DE TRABALHO

1. Identificação Preliminar do Sítio de Estudo

O sítio de estudo foi, inicialmente, escolhido a partir da interpretação de imagem de satélite. Essa interpretação permitiu selecionar uma área potencial de estudo. Seguiu-se como critério de interpretação a textura indicativa da presença de vegetação do tipo caatinga (campinarana aberta) uma vez que esta está associada à ocorrência de podzóis.

A próxima etapa de trabalho foi realizar a prospecção de campo para encontrar uma microbacia que fosse conveniente aos objetivos do estudo.

2. Trabalhos de Campo

Foram realizados três trabalhos de campo na área com objetivos diversos: 1) escolha da microbacia a ser estudada; 2) estudo dos solos em campo e levantamento topográfico para realizar o mapeamento dos solos; 3) coleta de amostras de solos e checagem do mapeamento. A coleta de amostras de solos ocorreu em período de águas mais baixas (novembro de 2010), no total foram coletadas 18 amostras de quatro perfis de solos.

A morfologia dos solos foi descrita em perfis, em trincheiras abertas para esse fim, alinhadas em uma transeção NW-SE, adaptando-se os procedimentos da Análise Estrutural da Cobertura de Solos (BOULET et. al, 1982). Os perfis foram descritos quanto a sua cor, textura, estrutura, consistência do solo, porosidade e transição. As descrições foram realizadas da parte inferior para a parte superior do perfil.

2.1. Cartografia (Levantamento Cartográfico dos solos da área)

Inicialmente uma grade de pontos foi projetada sobre área de estudo, com intervalos de 15m entre os pontos, sendo 8 pontos no sentido do comprimento e 8 no sentido da largura, totalizando 64 pontos na grade. Esta etapa foi realizada com o uso da trena. Em seguida, a altura de cada ponto foi coletada com o auxílio de um par de altímetros. Um dos altímetros ficou estacionado em um local cuja altitude conhecida e serviu de referência para a leitura realizada com o outro altímetro. Seu uso permitiu realizar a correção da altitude segundo as variações da altura e, portanto, da pressão no decorrer do levantamento, no segundo altímetro. Nos pontos de intersecção foram coletadas as coordenadas geográficas, com o auxílio de GPS, afim de georreferenciar o mapa produzido.

De posse dos dados, estes foram inseridos no software ArcGis 9.3. Os dados de cada ponto foram interpolados por krigagem e a topografia foi então reconstituída. A krigagem consiste em um excelente método para a análise de dados (CAMARGO, 1998) espacialmente distribuídos.

Em cada intersecção de ponto foram realizadas tradagens para reconhecimento e descrição dos horizontes dos solos. Com as tradagens e a observação das mudanças no relevo e na vegetação, os limites entre os solos foram estabelecidos.

Um segundo trabalho de campo foi necessário para o reconhecimento e controle das informações levantadas e correção de erros no mapa produzido inicialmente. As correções foram introduzidas no ArcGis 9.3 e o mapa foi finalizado. O produto, assim obtido com o uso do ArcGis foi redesenhado usando-se do programa CorelDraw X4, o qual fornece uma melhor apresentação gráfica.

2.2. Estudo dos Solos em Campo e Coletas de Amostras

O objetivo da descrição morfológica dos solos foi reconhecer e investigar os materiais existentes na transeção; identificar limites; estabelecer relações geométricas entre as organizações dos solos, e relações destes com a topografia e a vegetação. Os materiais dos solos foram investigados em perfis por abertura de trincheiras.

Os solos foram descritos e amostrados em trincheiras abertas na transeção, do ponto mais alto do interflúvio seguindo na direção da jusante até o talvegue do pequeno igarapé de águas pretas, ultrapassando-o e seguindo até o lado oposto da vertente (Figura 14). A localização das trincheiras foi realizada observando-se os limites de unidades fornecidos pelas tradagens e pelo desenho do mapa previamente realizado.

A caracterização dos solos foi efetuada por meio de avaliação e descrição da aparência (morfologia) e do comportamento (inferido pela avaliação das características morfológicas) que os mesmos apresentam, segundo suas características visíveis a olho nu e/ou perceptíveis por manipulação.

3. Procedimentos de Laboratório

As amostras de solos coletadas foram preparadas para a realização dos diferentes procedimentos, requeridos para a obtenção dos objetivos propostos. Foram secas ao ar, destorroadas, peneiradas em malha de 2 mm, quarteadas e subdivididas em alíquotas a serem utilizadas em cada procedimento.

3.1. Análise Granulométrica

A análise granulométrica fornece as características texturais das amostras. Ela permite quantificar as frações texturais dos solos segundo os diâmetros das partículas.

Para as análises realizadas foram considerados os seguintes intervalos:

-areia grossa: 2,00-0,20 mm

-areia fina: 0,20-0,05 mm

-silte: 0,05-0,002 mm

-argila: menor que 0,002 mm.

A análise foi realizada conforme o boletim técnico de Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas (CAMARGO, et. al., 1986), no Laboratório de Análises de Formações Superficiais (LAFS) IGCE/UNESP. Visou a verificação da diferença textural entre os perfis e o delineamento de diferentes pólos texturais na transeção.

Do quartil separado para a realização das análises texturais foram pesadas 10 gramas que foram transferidas para uma garrafa de Stohmann. Nesta foram adicionados 50 ml de solução dispersante¹ e água deionizada. A mistura foi agitada por um período de dezesseis horas. A suspensão foi transferida para uma proveta calibrada de 500 ml (5 cm de diâmetro) e passada em uma peneira com malha de 0.2 mm. O material retido na malha (areia grossa) foi lavado e seco. Para a determinação da argila, silte e areia fina foi utilizado o método da pipeta.

¹ Solução para 1 litro (água destilada): 4 g. de hidróxido de sódio e 10g de hexametáfosfato de sódio.

O volume da proveta foi completado com água destilada. Em seguida o material foi agitado por 30 segundos com um bastão contendo na extremidade inferior um êmbolo de borracha com diâmetro um pouco menor que o do cilindro, com movimentos da boca para o fundo e vice-versa. Transcorrido o tempo necessário para a sedimentação da argila + silte e argila, seguindo a lei de Stokes, foi introduzida uma pipeta de 10 ml a uma profundidade de 10 cm para amostragem da argila + silte e de 5 cm para amostragem de argila, com sucção contínua para evitar turbilhonamento. O material foi transferido para cápsulas de porcelana previamente taradas, e secas por um período de nove horas. Depois de secas foram pesadas, obtendo-se o peso da argila + dispersante (A + D) e da argila + silte + dispersante (A + S + D). Do valor total obtido foi retirado o peso do dispersante, obtendo-se apenas os resultados das partículas existentes no solo. Os resultados são expressos em percentagem da terra fina seca ao ar. Das alíquotas pesadas foi subtraído o peso do dispersante (que foi de aproximadamente 0,014g):

Argila (%) na TFSA = (peso da argila (A + D) – peso do dispersante) x 500;

Silte (%) na TFSA = (peso da argila + silte + dispersante (A + S + D) – peso da argila – peso do dispersante) x 500

Areia Grossa = peso da areia grossa x 10;

Areia Fina = 100 – (%argila + %silte + %areia grossa)

Nas amostras que necessitaram de pré-tratamento para remoção da matéria orgânica, utilizou-se H₂O₂ (água oxigenada) e banho-maria a temperaturas de 30 a 40°C.

3.2. Extração de argila para análises de C orgânico N e H

As argilas foram extraídas sobre amostras sem tratamento para análise de C, N, H. Procedeu-se a extração da argila sobre 18 amostras no Laboratório de Análises de Formações Superficiais (LAFS) IGCE/UNESP.

A coleta das argilas sobre amostras sem tratamento foi adaptada de Robert *et al.* (1974).

Pesou-se de 20 a 30 g de terra fina seca ao ar. Em um Becker foram adicionados 100ml de água destilada e 03 gotas de hidróxido de amônia (NH₄OH); posteriormente a mistura permaneceu em repouso por uma noite. Na manhã seguinte agitou-se por 20 minutos no agitador mecânico. A suspensão foi passada em peneira com malha de 0,0053 mm; o resíduo foi lavado sucessivamente com água destilada. A suspensão foi transferida para proveta de 1.000 ml e agitada por 2 minutos. Depois de tempo conveniente para decantação das partículas maiores procedeu-se à sifonagem da argila. Esta última operação foi realizada durante vários dias até que se obtivesse quantidade suficiente de argila para se realizarem as demais análises.

Das 18 amostras apenas uma não tinha argila suficiente para extração. As argilas extraídas seguiram para outro laboratório para a determinação de Carbono, Nitrogênio e Hidrogênio.

3.3. Pré-tratamento das amostras com Citrato-bicarbonato-ditionito (CDB)

O tratamento por Citrato-bicarbonato-ditionito (CDB) seguiu as indicações preconizadas por Mehra e Jackson (1960). O CDB remove o Fe de compostos bem e mal cristalizados incluindo complexos organo-Fe. Como nos podzóis, esses complexos

organo-metálicos são, geralmente, abundantes. Utilizou-se esse tratamento como forma de eliminar as matérias orgânicas dos complexos.

Para a realização deste tratamento foi pesado 1g de solo e colocado em tubos de centrífuga de 100ml. Em cada amostra foram adicionados 50ml do reativo de extração². Posteriormente os tubos foram deixados em aquecimento aberto de 40 ° a 80° durante 15 minutos (agitando os tubos a cada 5 minutos). Após 15 minutos, adicionou-se 1g de ditionito de sódio e os tubos foram deixados novamente em aquecimento aberto de 40 ° à 80° por mais 30 minutos. Durante esses 30 minutos, agitaram-se os tubos de centrífuga a cada 5 minutos. Em seguida, os tubos com as amostras foram centrifugados a 4200 rpm durante 6 minutos. Posteriormente, o sobrenadante foi eliminado e o precipitado foi separado para a próxima etapa do tratamento. Se o precipitado ainda apresentar cor escura, todo o tratamento de extração deve ser repetido até a cor tornar-se branca.

O precipitado passou, posteriormente, por tratamento com H₂O₂ (adaptado de PANSU e GAUTHEYROU, 2003) para destruir a matéria orgânica grosseira ainda presente nas amostras.

Após o tratamento todas as amostras foram analisadas por Infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR).

²Solução para 1 litro (água deionizada): 78,42 g de tricitrato de sódio e 9,34g de hidrocarbonato de sódio.

3.4. Análise Elementar de Carbono, Hidrogênio e Nitrogênio

Esta análise foi utilizada para determinar a composição dos elementos C, H e N, presentes nas amostras. Os resultados foram utilizados para: entender a distribuição desses elementos no perfil de solos; calcularem-se as relações C/N e H/C e obter-se o grau de humificação das matérias orgânicas. A análise elementar foi realizada por cromatografia gasosa sobre as argilas e sobre as amostras totais (terra moída 150 mesh).

A cromatografia gasosa faz parte de um importante grupo de métodos que permite separar, isolar, identificar e quantificar substâncias, mesmo em misturas muito complexas. Uma das vantagens desta técnica é não utilizar grandes quantidades da amostra (1 a 5 mg).

A alíquota de argila não tratada para extração de matéria orgânica foi encaminhada ao Laboratório de Isótopos Estáveis do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde amostras foram analisadas por cromatografia gasosa em Analisador Elementar da Perkin Elmer Modelo 2400 série II, para determinar C, N, e H. Os resultados foram usados para calcular a relação C/N e H/C.

Alíquotas das amostras totais, ou seja, amostras de terra fina seca ao ar e moída a 150 mesh, foram encaminhadas ao laboratório da Embrapa Instrumentação, CNPDIA (São Carlos-SP). Nesse laboratório foi realizada a análise elementar para determinação de C, N e H, em analisador elementar Perkin Elmer, Modelo 2400. O resultado do C foi usado para a obtenção do grau de humificação. As medidas foram realizadas em duplicata.

3.5. Determinação dos Grupos Funcionais da Matéria Orgânica por Infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

A realização de tais análises objetivou verificar a distribuição e as transformações na natureza das matérias orgânicas ao longo dos perfis e da transeção. As análises foram realizadas em 18 amostras totais pré-tratadas com CDB e em amostras totais não tratadas.

O método de espectroscopia por infravermelho corresponde a um tipo de espectroscopia de absorção que utiliza a faixa de análise do infravermelho. Esse método é baseado no fato de que as ligações químicas possuem frequências de vibração diferentes. Essas aparecem em bandas características; com a identificação destas bandas é possível obter informações sobre a estrutura das moléculas pela observação dos espectros obtidos e por consultas de tabelas com valores pré-definidos para cada banda (STEVENSON, 1994).

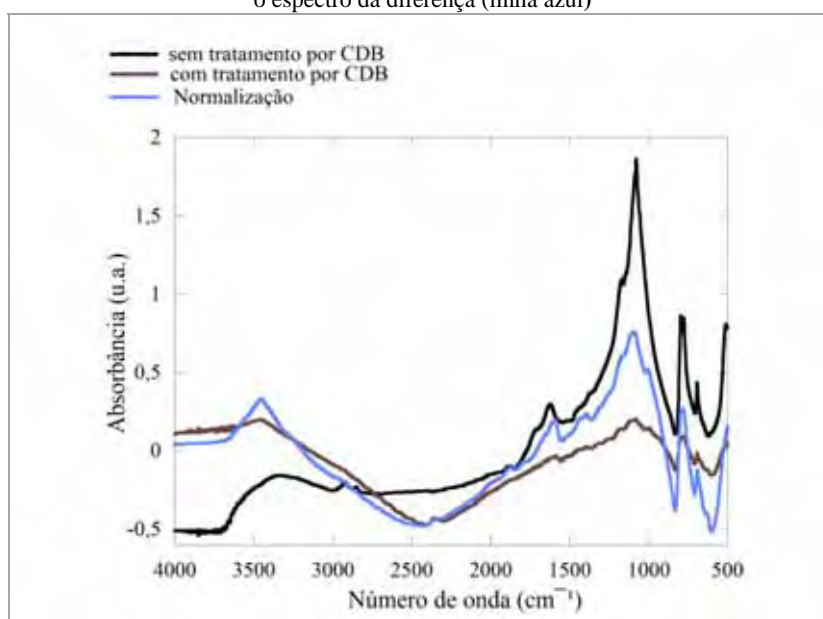
O estudo das matérias orgânicas por infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) quando utilizado para solos é uma técnica capaz de diagnosticar as características referentes aos grupos funcionais (COOH, fenóis e alcoóis, C=O, etc.) das matérias orgânicas (STEVENSON, 1994).

Stevenson (1994) apontou algumas das principais vantagens de utilização desta técnica: 1) fornece informações importantes sobre a natureza da reatividade, e sobre o arranjo estrutural dos grupos funcionais contendo oxigênio; 2) permite demonstrar a presença de proteínas e carboidratos; 3) revela a presença ou ausência de impurezas inorgânicas (íons metálicos) nas frações húmicas.

Neste trabalho as 18 amostras da fração total de solo foram analisadas em aparelho Infravermelho com Transformada de Fourier da marca “Varian 640-IR FT-IR Spectrometer, localizado no Laboratório de Análises de Formações Superficiais (LAFS) IGCE/UNESP. As amostras foram moídas a 150 mesh. Delas foi retirada uma alíquota de aproximadamente 0,1 mg que foi seca por 12 horas e à qual foram adicionado 300 mg de KBr, também seco em estufa por 12 horas. Amostra e KBr foram misturados para a preparação de pastilhas que voltaram à estufa para se desidratarem. Após 4 horas foram analisadas. Os resultados foram adquiridos na faixa de 400 a 4000 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} . Para a normalização dos espectros de infravermelho e produção dos gráficos foi utilizado o Programa Kaleida Graph, o que permitiu ressaltar os grupos funcionais das matérias orgânicas.

Os espectros já normalizados obtidos para as amostras pré-tratadas foram subtraídos dos espectros das amostras sem tratamento usando, novamente, do Programa Kaleida Graph. Esse procedimento foi realizado uma vez que as frequências dos minerais presentes nas amostras podem ser sobrepostos a algumas dos grupos funcionais, principalmente aqueles dos baixos e altos números de onda, por exemplo, 1200 cm^{-1} e 3400 cm^{-1} (Figura 6), como apresentado por Bardy et.al.(2008). A figura 6 mostra o comportamento do espectro de FTIR antes e após o tratamento.

Figura 6: Espectro de Infra-vermelho antes (linha preta) e após o pré tratamento (linha marrom) com H₂O₂ e CDB e o espectro da diferença (linha azul)



Cada pico apresentado no espectro correspondente a cada número de onda e pode ser comparado com o que já existe na literatura. A tabela 1 foi elaborada baseando-se nos estudos realizados por Stevenson e Goh (1971), Benites et. al. (1999), Fontana (2006) e Celerier (2008) e serviu como base para a comparação com os espectros obtidos neste trabalho.

Tabela 1: Tabela das principais bandas de absorção do Infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

Ligação	Tipo específico de ligação	Número de onda (cm ⁻¹)
C-H	-CH ₃ -	1450-1375
	-CH ₂ -	1465
	Aromática	3150-3050; 860- 700
	Alcinos	3300
	Aldeídos	2900-2700
C=C	Alcenos	1675-1600
	Anéis benzênicos	1625
	Aromática	1450, 1500, 1580, 1600 (todas as quatro juntas)
	Aromática	1598; 1600-2590
	Esqueleto aromático	1507-1515

<i>C=O</i>	Aldeído/cetona	1740-1720
	Ácidos Carboxílicos saturados	1710
<i>C-O</i>	Ácidos carboxílicos aromáticos	1720-1640
	Ésteres	1750-1730
	Amidas	1680-1630
	Alcoóis, ésteres, éteres, ácidos carboxílicos	1200-1050
	Éteres alifáticos	1120
	Éteres aromáticos	1220-1260
	Fenóis	1200
	Ácidos carboxílicos	1240-1265
	Estiramento C-O, deformação de OH de COOH	1220-1250
	<i>O-H</i>	H-estiramento da matéria orgânica
<i>Estiramento C-H</i>	Ácidos carboxílicos	3400-2400
	Alifáticas	2850; 2920
<i>C-N</i>	Aminas alifáticas	1020-1220
	C=N	1615-1700
<i>COO⁻</i>	Carboxilato	1425

Fonte: Stevenson e Goh (1971), Benites et. al. (1999), Fontana (2006) e Celerier (2008)

3.6. Análise por Fluorescência Induzida por Laser (FIL) para obtenção do grau de humificação.

A fluorescência induzida por laser (FIL) é uma técnica recente que é utilizada para avaliar o grau de humificação do material orgânico dos solos e estudar a matéria orgânica associada aos minerais da matriz dos solos (MILORI, et. al., 2002, 2006). As principais vantagens de utilização desta técnica é sua aplicação na fração total dos solos, eliminando os pré-tratamentos, fornecendo resultados de uma maneira ágil, limpa e em condições próximas das naturais (MILORI et. al., 2002). Outra vantagem de utilização deste equipamento é ser portátil com alto potencial para a realização de medidas em campo (MILORI et.al., 2002; SANTOS, 2008).

O sistema utilizado é constituído por um espectrômetro de fluorescência desenvolvido pela Embrapa- Instrumentação, que possui um laser de diodo (Coherent-CUBE) com emissão de 405nm e potência máxima de 50 mW (Ocean Optics), acoplado a um cabo óptico responsável por conduzir a luz de laser, excitar a amostra total do solo e coletar a emissão. A emissão da amostra é então decomposta através de uma grade de difração fixa, detectada pelo espectrômetro. Desta forma, obtém-se o espectro de emissão que será enviado para um computador e tratado por um software para tratamento dos dados.

Para este estudo as 18 amostras totais dos solos foram moídas a 150 mesh e, posteriormente, encaminhadas para o Laboratório de Óptica e Fotônico, localizado na Embrapa Instrumentação, CNPDIA (São Carlos-SP). Alíquotas das amostras foram preparadas como pastilhas de solos, resultantes da prensagem em moldes de aço (1 cm de diâmetro e 2 mm de espessura). Os parâmetros adotados foram: intervalo de varredura entre 475 à 750 nm; tempo de integração de 200 ms; boxcar 3; average 3.

Para a obtenção da humificação calcula-se o valor da área dos espectros de emissão (*ACF*) obtido com o sistema discutido anteriormente, normalizando-se pelo valor do carbono orgânico total (*CT*), obtido a partir da análise elementar (MILORI et. al., 2004, 2006):

$$H_{fil} = \frac{ACF}{CT}$$

CAPÍTULO III: RESULTADOS

1. Estudo dos sistemas de solos em transeção

As unidades pedoestruturais que se encontram isoladas ou embutidas nas unidades da paisagem geralmente, em relação com a morfologia das paisagens e com os grandes eixos de drenagem das bacias, e que representam um mesmo processo de alteração e pedogênese, são reconhecidas como sistemas de solos (RUELLAN e DOSSO, 1993; LUCAS, 1989; FRITSCH, PETERSCHMITT e HERBILLON, 1992).

Com os estudos realizados em campo foi possível identificar quatro tipos de solos na microbacia analisada que estão enquadrados em dois sistemas de solos. Da malha de 64 pontos prospectados em campo apresentam-se os quatro perfis, descritos em trincheira, representantes de cada tipo de solo, alinhados em uma transeção (Figura 15, ver no mapa localização da transeção).

1.1. Sistema de solos podzolizados

Na bacia do Rio Negro os Podzóis estão sobre os baixos platôs, ligados ou não à rede de drenagem principal. Eles distribuem-se nas zonas deprimidas sobre o platô (bacia do Rio Jaú) (BUENO, 2001; NASCIMENTO et al. 2004); conectam-se à drenagem principal na bacia do Alto Rio Negro (Município de São Gabriel da Cachoeira) (BUENO, 2009), ou distribuem-se na base das encostas na região de Manaus (LUCAS et al., 1987; LUCAS, 1989). Podem ser bem drenados e espessos quando conectados à rede de drenagem principal e hidromórficos quando no centro dos platôs e bases das encostas, como os Podzóis Hidromórficos e Criptopodzóis (BUENO, 2009). São solos que decorrem da superimposição da podzolização sobre solos lateríticos fortemente empobrecidos em argila por processos diversos (LUCAS, 1989;

BRAVARD e RIGHI 1990; DUBROEUCQ e VOLKOFF, 1998; DUBROEUCQ *et.al.*, 1999; BUENO, 2001, 2009; NASCIMENTO *et. al.*, 2004, 2008; FRITSCH *et al*, 2007, 2009)

1.1.1. Podzol Espesso

Figura 7 :Perfil do Podzol espesso



O perfil está localizado no terço superior da vertente sob vegetação de caatinga. Trata-se de um perfil de solo bem drenado, com profundidade de 150⁺ cm, e arenoso em todos os horizontes.

Na superfície do solo uma serrapilheira delgada assenta-se sobre o horizonte A de 13 cm de espessura, cuja cor é

bruna (2.5y3/1) e a estrutura é granular fraca, associada a grãos soltos de quartzo e a grânulos de matéria orgânica. A relação C/N confere à matéria orgânica estrutura tipo Moder, distribuída em grânulos. Esse horizonte passa gradualmente ao inferior que tem uma espessura de 32 cm e foi reconhecido como AE. A estrutura permanece a mesma embora se aumente a proporção da estrutura grãos simples de areia branca e diminua a proporção dos grânulos de matéria orgânica. A cor bruno claro (2.5y5/1) responde às áreas mais orgânicas do horizonte. Na direção do horizonte inferior (28 cm), os grânulos orgânicos tornam-se escassos e distribuem-se em zonas mais ou menos alongadas verticalmente (Figura 8), enquanto a cor torna-se mais clara (2.5y6/1) e justaposta à cor branca dos domínios menos orgânicos e mais quartzosos. Tal horizonte, reconhecido como E1, passa a horizonte E2 (80 cm) pela generalização da estrutura grãos simples e da cor branca da areia quartzosa. As zonas mais orgânicas são poucas e restritas a poucos domínios.

Deste horizonte passa-se abruptamente ao inferior. Trata-se de um Bh que se inicia a 153 cm da superfície e que não pode ser prospectado em toda sua espessura por causa dos desbarrancamentos das paredes da trincheira. A estrutura do horizonte é em blocos; sua cor bruna escura (2.5y2.5/1) revela que a distribuição da matéria orgânica é mais homogênea e distribuída sobre os grãos de quartzo, entretanto, ela é permeada por grãos de areia de quartzo de cor branca que ocorre associada à porosidade e às raízes.

1.1.2. Podzol Hidromórfico

Figura 8 :Perfil do Podzol Hidromórfico



O perfil do Podzol Hidromórfico encontra-se no terço inferior da alta vertente, sob vegetação de campinarana, árvores de menor porte, quando comparadas com as vegetação da caatinga Amazônica. Sobre este solo encontra-se uma serrapilheira de média espessura. O horizonte A apresenta 20 cm de espessura, sua estrutura é granular e a coloração bruno escura (2.5y3/1) ligada a matéria orgânica do tipo Mor, constatada a partir dos resultados obtidos para a relação C/N.

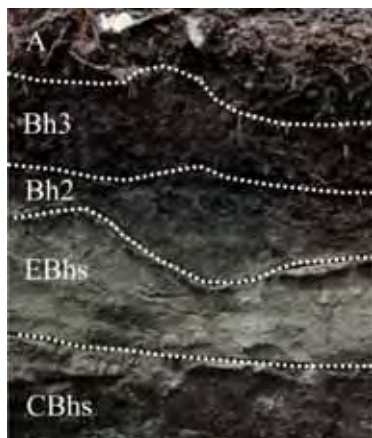
Gradualmente este horizonte dá lugar a um horizonte AE (22 cm), de coloração mais clara, heterogênea, tendendo ao bruno e ao bruno acinzentado claro (2.5y 6/2); a estrutura deste horizonte é grãos soltos e grânulos de matéria orgânica.

Gradativamente esse horizonte AE torna-se mais claro até ao branco (2.5y 8/1), formando o horizonte E1, cuja espessura é 45 cm e estrutura formada por grãos soltos e esparsos grânulos de matéria orgânica. Abruptamente esse horizonte dá lugar ao Bh que começa a 97 cm de profundidade. Sua coloração é bruna escura (2.5y2.5/1) e a matéria

orgânica cobre os grãos; sua estrutura em blocos é fraca. Acima deste horizonte Bh encontra-se o lençol freático suspenso (67 cm de profundidade).

1.1.3. CriptoPodzol

Figura 9: Perfil do Criptopodzol



O Criptopodzol está localizado na média vertente. A vegetação presente sobre este solo é uma campinarana. O horizonte A (22 cm) é precedido por serrapilheira espessa. A estrutura deste horizonte é granular e a cor é bruna escura (2.5y2.5/1); a matéria orgânica apresenta-se como do tipo Mor. Este horizonte, gradualmente, passa a um Bh3 (12 cm), caracterizado por estrutura em grãos soltos e coloração cinza escura (5y 4/1). A cor cinza torna-se gradualmente mais clara (2.5y 5/1), com leves raias de areia esbranquiçada, sobre 19 cm. A esse horizonte denominou-se Bh2; sua estrutura é formada por grãos soltos. O horizonte inferior foi reconhecido como EBh; tem espessura de 19 cm e estrutura em grãos soltos; sua cor cinza apresenta manchas brunadas (5y 6/1). A partir de transição abrupta, aos 72 cm encontra-se o horizonte CBhs; de estrutura maciça facilmente quebrável tem relíquias da rocha e se encontra fortemente impregnado por material orgânico o que contribui para a coloração marrom escura (2.5y 3/2) do material. Lençol freático encontrado à 67 cm.

1.2. Sistema Hidromórfico

Os solos do sistema hidromórfico, são solos que ocorrem em áreas mais baixas da topografia. Na bacia hidrográfica do alto Rio Negro, podem ocorrer em três situações: planícies e depressões no platô, e nas bordas de platôs mais podzolizados

(FRITSCH et.al., 2007). Sua ocorrência em planícies e depressões no platô está ligada ao branqueamento das formações lateríticas devido à presença constante de água. O gleissolo encontrado sobre a borda do platô podzolizado tem seu desenvolvimento possível a partir da exposição do saprolito quando da dissecação do platô, erosão dos podzóis e afloramento do lençol freático e do horizonte Bh (BUENO,2009). O processo de formação de tais solos é o redoximorfismo.

1.2.1.Gleissolo



O gleissolo localiza no terço inferior da média encosta. Está sob uma vegetação do tipo campinarana. A serrapilheira é espessa. O horizonte de superfície (A) apresenta 11 cm de espessura, cor bruna escura (2.5y 3/3), textura arenosa estrutura granular, A matéria orgânica é do tipo Moder, segundo sua relação C/N. Esse horizonte passa gradualmente ao inferior Bhs (23 cm). De estrutura granular pequena tem cor olivácea (5y 5/2) e textura franco-arenosa. A passagem para o horizonte inferior (Cg1) é nítida. Esse horizonte (34-64 cm) tem cor olivácea clara (5y 6/2) com algumas manchas brunadas, textura franco arenosa, estrutura maciça. Gradualmente, em transição difusa Cg1 passa a Cg2, cuja espessura é 20⁺ cm. A textura franco-arenosa torna-o ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. A estrutura é maciça e a cor é cinza (5y 7/1). O lençol freático é encontrado aos 80 cm de profundidade.

2. Caracterização Textural

A textura do solo corresponde à proporção relativa, em determinada massa de solo, dos diferentes tamanhos de partículas. Refere-se à proporção de argila silte e areia encontrada nas amostras dos solos.

As características de um solo dependem muito da sua composição granulométrica, bem como da constituição mineralógica de cada fração. Assim, a propriedade textural é uma das principais características do solo a ser considerada, pois a capacidade de retenção de umidade e nutrientes, bem como a permeabilidade, infiltração, penetrabilidade das raízes e aeração estão relacionadas à mesma. Por outro lado, a relação entre a textura e outras características dos solos tal como cor, e o modo de distribuição nos horizontes do solo tem forte significado genético.

2.1. Variação das classes texturais nos perfis

A textura dos perfis de solo está apresentada na figura 11 a,b,c,d. Nela observa-se que na transeção parte-se de solos mais arenosos a mais argiloso. O podzol espesso e o Podzol hidromórfico têm mais de 95% de areia em todos os horizontes, mostrando perfis fortemente empobrecidos em argila (de 0 a 4,3 %), sendo que o menos argiloso é o podzol hidromórfico, embora seu horizonte Bh tenha a maior quantidade de argila do grupo (4,3 %) (Figura 11 a; b). No Criptopodzol os horizontes da superfície até ao horizonte EBh têm percentagem de areia superior a 90 % enquanto a percentagem de argila varia de 0,35 a 5,5 % nos mesmos horizontes (Figura 11 c), entretanto o horizonte CBhs tem quantidade de argila que atinge 22,05 %. O Gleissolo é o pólo mais argiloso da transeção, a quantidade de areia é menor que 85 % (Figura 11 d) enquanto a percentagem de argila varia de 13,15 no horizonte A a 17,05 % no horizonte Cg1. Os

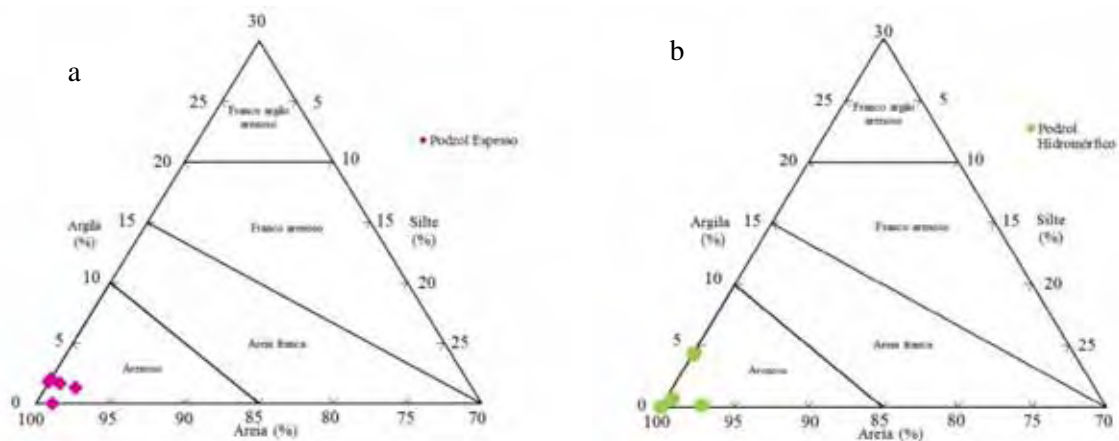
triângulos de textura dos diferentes perfis estudados, presentes na figura 11 a,b,c,d, revelam, então, 3 grupos texturais diferentes. Os perfis do Podzol espesso e do Podzol hidromórfico se assemelham quanto à textura formando um grupo textural predominantemente arenoso. O perfil do Criptopodzol tem horizontes que variam do pólo arenoso ao franco-argilo-arenoso, e mostra que o horizonte CBhs, da base do perfil é o mais argiloso. No gleissolo todas as amostras de todos os horizontes formam um grupo mais argiloso dentre todos os perfis estudados.

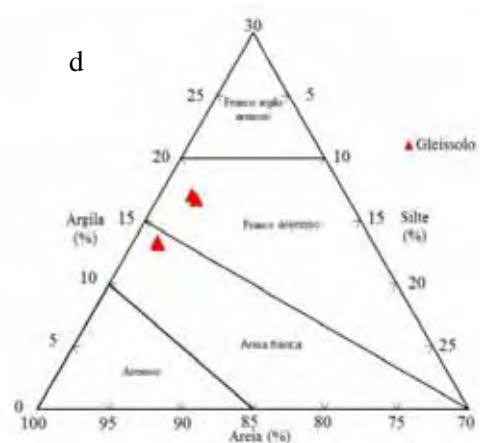
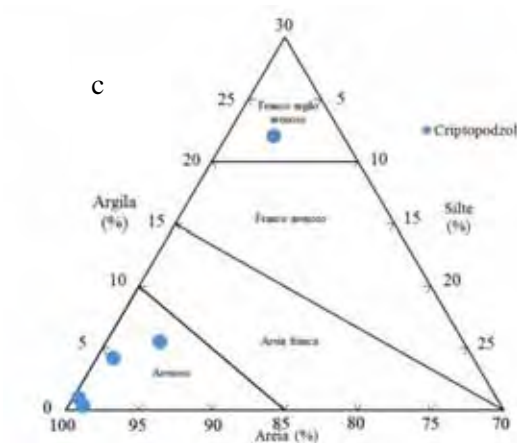
A compatibilização entre as descrições morfológicas e a análise textural permitiram fazer duas associações:

1. ao pólo arenoso corresponde maior escurecimento da cor dos horizontes, portanto maior incorporação de matérias orgânicas aos perfis;

2. que no pólo arenoso do ponto de vista da textura não há diferença entre os perfis do Podzol Espesso e o Podzol Hidromórfico, a distinção é que no primeiro o lençol freático suspenso foi encontrado a 150 cm de profundidade e no segundo a 67 cm, sobre o Bh.

Figura 11: Triângulo de Textura dos perfis de podzol espesso (a); Podzol Hidromórfico (b); Criptopodzol (c); e Gleissolo (d)





3. Distribuição espacial dos solos

A malha de pontos amostrados e descritos, juntamente com a descrição dos perfis de solos em trincheira na transeção, permitiu elaborar o mapa representado na figura 14. Essa figura mostra a distribuição dos solos em relação à topografia e à vegetação. A topografia aí representada revela que a microbacia é composta apenas por uma encosta de uma colina de baixa altitude, seccionada por um pequeno igarapé. A altitude desse relevo varia entre 79 e 89 metros e a sua declividade aumenta para o centro da microbacia. As partes mais altas (parte norte da área mapeada) correspondem ao topo aproximadamente plano da colina, cujo extremo sul da vertente, e já fora da microbacia, é drenado pelo igarapé de águas claras. A vertente sul da colina apresenta, em sequência, segmentos convexo, levemente retilíneo, e côncavo no qual está instalado o igarapé de águas escuras, que drena a bacia estudada.

Na extremidade norte da área mapeada, no topo, fora da bacia, ocorre podzóis mais espessos, assim denominados por possuírem horizontes alvícos (horizontes E) espessos. Esses solos são cobertos por horizonte orgânico contendo serrapilheira delgada. Essa serrapilheira pode, mesmo, ser inexistente, ficando as areias brancas

expostas à superfície. Abaixo de 1,5 m de profundidade um lençol suspenso é sustentado por horizonte espódico. Nesse solo a cobertura vegetal é de porte arbóreo, porém as árvores são mais baixas, têm troncos mais finos e folhas menores do que na floresta, deixando maior luminosidade atingir o solo (figura 12). Essa vegetação é denominada, regionalmente, caatinga amazônica ou campina amazônica.

Figura 12: Aspecto da vegetação de caatinga amazônica sobre o Podzol espesso



Ainda fora da área da bacia, na extremidade NE do mapa, em posição de topo, aparece uma área de Acrissolo, não mapeado neste trabalho. Esses solos são amarelos e mais argilosos; são cobertos por serrapilheira espessa e vegetação de floresta. O nível freático nesse solo é profundo.

No interior da bacia estudada, observa-se a seguinte sequência: nas partes mais elevadas, que correspondem à parte alta da vertente que parte do topo plano da colina, são encontrados podzóis hidromórficos. Esses solos diferem dos podzóis de topo devido à maior proximidade do nível freático em relação à superfície do solo. Isso decorre da menor espessura do horizonte E e da menor profundidade dos horizontes espódicos que sustentam o nível freático suspenso. A vegetação foi classificada como campinarana, nome dado às formações arbóreas de maior porte que a caatinga ou campina amazônica,

com folhas mais largas, que é encontrada comumente sobre solos hidromórficos. O tipo de vegetação e a proximidade do nível freático podem explicar a maior espessura da serrapilheira.

Nas partes média e baixa da bacia o solo foi denominado Criptopodzol, por apresentar horizonte álbico difuso ou inexistente sobre os horizontes espódicos. Nesse solo, o horizonte espódico e o nível freático por ele sustentado estão sempre próximo da superfície, ou mesmo aflorante. A vegetação é ainda a campinarana e a serrapilheira é sempre espessa (figura 13). A superfície do solo é muito escura devido ao acúmulo de material orgânico.

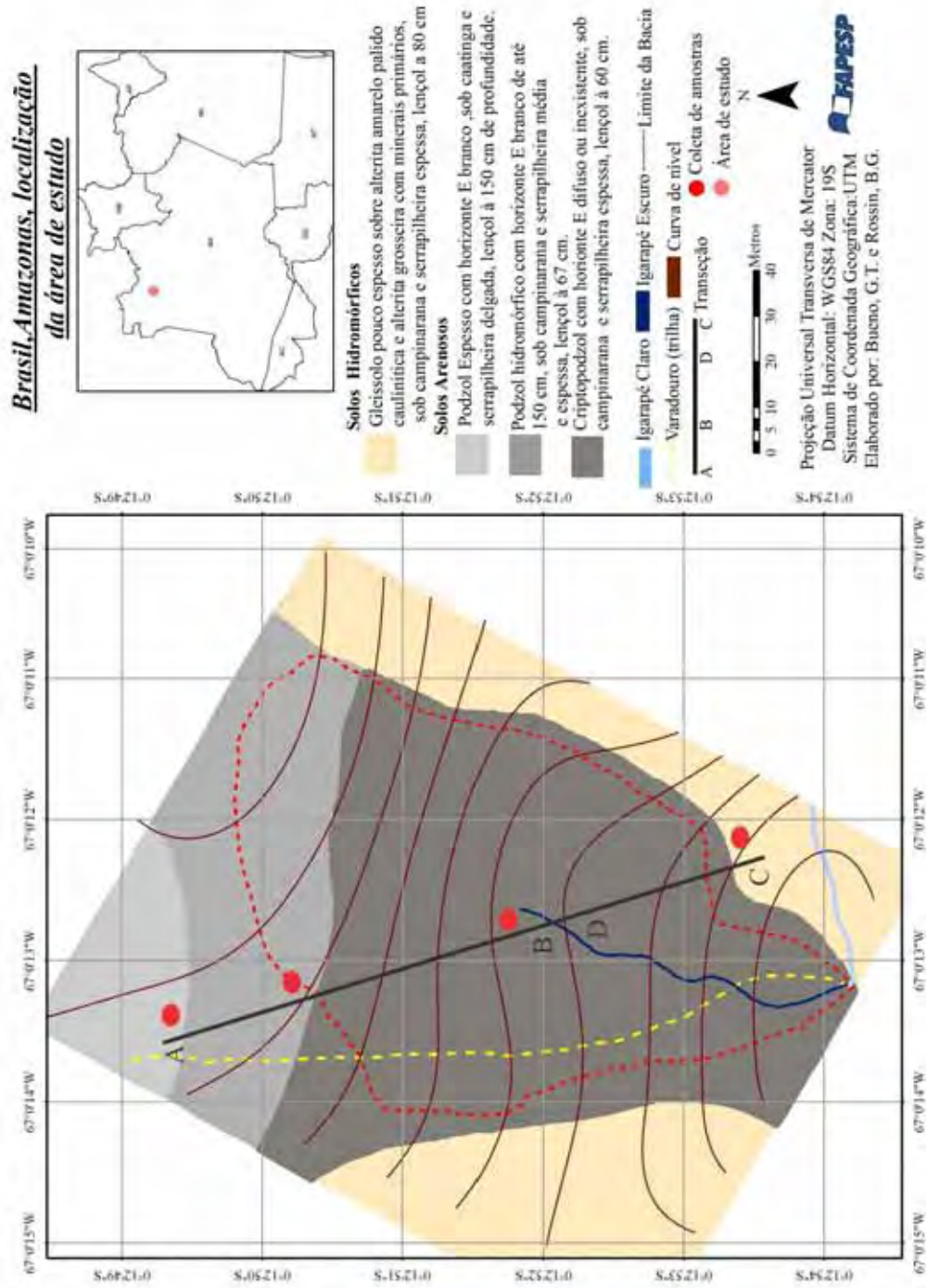
Figura 13: Aspecto da vegetação de Campinarana encontrada sobre o Criptopodzol



Aproximadamente na mesma posição topográfica que o Criptopodzol, mas fora da bacia, nas extremidades leste e oeste do mapa, aparecem Gleissolos. Esses solos se desenvolvem sobre material saprolítico amarelo pálido e argiloso caulínico, vindos da alteração de granito, às vezes apresentando, ainda preservados, minerais primários, menos resistentes ao intemperismo. O nível freático está próximo da superfície e a cobertura vegetal foi classificada como campinarana.

Observa-se que a área estudada apresenta solos espessos e com nível freático mais profundo no topo aproximadamente plano da colina, e solos mais rasos e com nível freático menos profundo ao longo da vertente. A gradual aproximação dos horizontes espódicos e, portanto, do nível freático por eles sustentado, da superfície do solo, à medida que se deixa o topo aproximadamente plano da colina e se desce a vertente, sugere que as organizações do solo da montante, Podzol espesso, estejam dispostas de maneira aproximadamente horizontal, concordante com o plano do topo da colina, mas em discordância com o plano da vertente. Isso é sugerido, também, pela distribuição do solo Acrissolo (topo não mapeado) e do Gleissolo (vertente) na microbacia, em que um solo espesso e com nível freático profundo (Acrissolo) passa a um solo formado sobre material ainda pouco intemperizado (Gleissolo), com nível freático raso. A relação existente entre os solos contidos na bacia, que estão em concordância com a pequena drenagem de águas escuras, e os solos do entorno, que são discordantes com esta pequena drenagem, sugere tratar-se da reativação da podzolização.

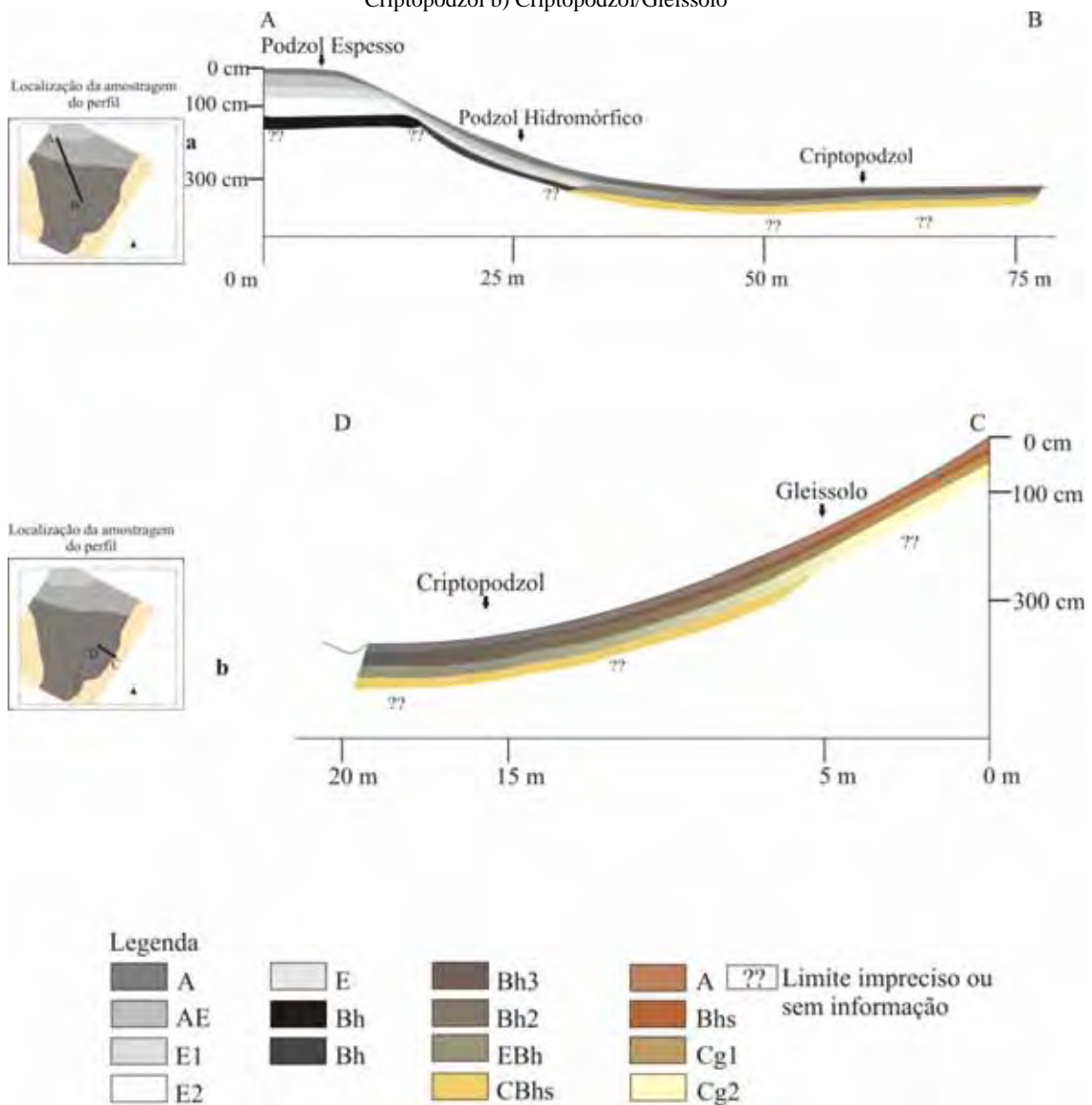
Figura 14: Distribuição dos solos na microbacia de estudo



4. Distribuição dos horizontes dos solos ao longo da topografia

A descrição dos solos em transeção, a análise textural e a distribuição espacial dos solos em relação à topografia e vegetação, permitiram reconhecer três fatos importantes: que os dois sistemas de solos encontram-se em pólos opostos da vertente, isto é, em posições topográficas diferentes; que existem dois pólos texturais diferentes, e dois pólos de concentração da matéria orgânica, opostos; que o lençol freático suspenso assenta-se sobre o Bh no Podzol espesso a 150 cm da superfície e no Bh do Podzol hidromórfico a 67 cm, e aflora em superfície a partir do Criptopodzol, e que o Podzol hidromórfico marca a passagem entre dois segmentos da encosta, convexo para o côncavo. Os dois pólos são interligados, portanto, por uma faixa de transição que é representada pelo Criptopodzol, que por sua vez, é incidido pelo canal de drenagem do pequeno igarapé de águas escuras (Figura 15). Isto significa que se pode dividir a transeção em dois setores. Um que parte da alta vertente, a NW da microbacia, e alonga-se até o igarapé de águas escuras, e o segundo, oposto ao primeiro, que parte da baixa vertente a este mesmo igarapé. O primeiro alonga-se sobre o Podzol espesso de topo, passando pelo Podzol Hidromórfico e finalizando sobre o Criptopodzol enquanto o segundo parte do Gleissolo e chega até ao Criptopodzol. Assim duas sequências de solos foram delimitadas (Figura 15).

Figura 15: Bloco Diagrama das seqüências de solos estudadas: a) Podzol espesso /Podzol Hidromórfico/ Criptopodzol b) Criptopodzol/Gleissolo



Fonte: a autora

Nas seqüências 1 e 2 (Figura 15 a, b) as tradagens da malha de pontos permitiram estabelecer a continuidade dos horizontes descritos. Nas duas seqüências os horizontes são paralelos entre si; apenas na primeira seqüência a leve concavidade que inicia a partir do Podzol hidromórfico e o desaparecimento abrupto dos horizontes E2 e Bh do podzol espesso marcam uma diferenciação lateral entre os horizontes de montante e aqueles de jusante.

A primeira sequência (Figura 15 a) expressa então uma diferença nítida entre um pólo mais eluviado e um menos eluviado e com maior acumulação de matéria orgânica na maior parte dos horizontes. Os horizontes da montante são mais eluviados do que os da jusante. Apenas o horizonte A tem continuidade na encosta até ao Criptopodzol embora este se torne gradualmente mais escuro devido a acumulação da matéria orgânica em superfície que começa a se espessar a partir do Podzol hidromórfico, indicador de que as condições de hidromorfia retardam a decomposição das matérias orgânicas recentemente incorporadas aos solos.

O horizonte AE do Podzol espesso tem continuidade no Podzol hidromórfico e dá lugar, lateralmente, por justaposição, a dois horizontes muito diferentes no Criptopodzol, Bh3 e Bh2 fortemente escurecidos. Tal fato sugere a mobilidade da matéria orgânica a partir de montante e a partir do horizonte do topo do Criptopodzol.

Dos horizontes eluviados E1 e E2, apenas o E1 tem continuidade até ao Criptopodzol, a partir do qual ele é mais escuro, portanto, mais colorido pela matéria orgânica (EBh). O horizonte E2 está sotoposto a um horizonte Bh profundo; estes só ocorrem no Podzol espesso. O contato do E2 com o horizonte de jusante do Podzol hidromórfico (Bh), é abrupto e discordante lateralmente. A partir do contato, segue-se um horizonte Bh que por sua vez se justapõe lateralmente ao horizonte CBhs do Criptopodzol. Esses dois seguem concordantes com a superfície topográfica atual. O contato entre o Bh do Podzol hidromórfico e CBhs só pode ser explicado a partir de uma frente de acumulação de matéria orgânica que iniciou impregnando o horizonte de alteração da rocha. Enquanto o contato entre o horizonte E2 e o Bh do podzol hidromórfico sugere discordância por erosão uma vez que os horizontes E2 e o Bh do Podzol espesso são discordantes com a topografia atual (Figura 15 a). A natureza dos

dois contatos indica que, a partir do Podzol hidromórfico, a podzolização progrediu diretamente sobre os produtos da alteração da rocha e que isto reafirma a existência de uma nova fase de podzolização diferente daquela que deu origem ao Podzol espesso.

A segunda sequência apresenta todos os horizontes paralelos entre si e concordantes com a topografia, significando que os solos desta sequência desenvolveram-se sobre o mesmo material de origem. Nessa sequência de solos dois pólos texturais são opostos: um argiloso na montante e outro arenoso na jusante (Figura 16 c, d). O pólo argiloso passa gradualmente ao arenoso. Esse *trend* é contrário ao do enriquecimento em matéria orgânica, significando que esta superimpõe as estruturas do Gleissolo após seu empobrecimento em argila revelado a partir do horizonte de superfície até ao horizonte EBh no Criptopodzol. Da montante à jusante da sequência 2 o horizonte Cg2 dá continuidade lateral a um horizonte fortemente empobrecido em argila, EBh, e ao CBhs. O horizonte EBh é o registro de que uma frente de eluviação dissolve e provoca a mobilização das matérias orgânicas para o horizonte CBhs da base do Criptopodzol.

A comparação entre as duas sequências sugere que o setor montante da sequência 1 é discordante e anterior ao setor jusante. Ao mesmo tempo essa comparação sugere que o setor jusante da sequência 1 pode estar em um estágio mais evoluído do que a sequência 2 e que, por isto, os horizontes gley da sequência 2 não aparecem na primeira sequência, entretanto, por analogia sugere-se que o horizonte CBhs da primeira representa a acumulação da matéria orgânica sobre as estruturas do Gleissolo, como ocorre na jusante da sequência 2, isto permite agrupar o setor jusante da sequência 1 com a sequência 2, que será reconhecida, doravante, como T2. Isto decorre de que o setor jusante da sequência 1 e a sequência 2 estão ligados através do lençol freático

suspensão de baixa profundidade, à drenagem do igarapé de águas escuras, enquanto o Podzol espesso não se conecta a este igarapé. Ou seja, o Podzol espesso está aberto à drenagem principal e suspensão em relação à incisão atual, enquanto esta última, certamente, influi na evolução de uma nova fase de podzolização em ambiente pouco aberto no qual se desacelera a mineralização das matérias orgânicas e a ciclagem de C torna-se lento. A área escolhida encerra, portanto, características dos ambientes podzolizados bem drenados e mal drenados da alta bacia amazônica.

5. Distribuição e Natureza da matéria orgânica presente nos solos da sequência 1 e T2

Os resultados obtidos até então permitiram avaliar que:

1. o setor montante da sequência 1 é discordante e anterior a T2;
2. os perfis do Podzol hidromórfico e Criptopodzol decorrem da podzolização do Gleissolo;
3. T2 conecta-se ao Igarapé de águas escuras enquanto o setor montante da sequência 1 (Podzol Espesso) está aberto à drenagem principal e suspenso em relação à incisão atual (igarapé de águas escuras);
4. uma nova fase de podzolização se desenvolve em ambiente pouco aberto no qual desacelera-se a mineralização das matérias orgânicas e o turnover de C torna-se lento.

Existe alguma mudança na natureza da matéria orgânica presente nos solos a partir do quadro de evolução apresentado para a sequência 1 e T2?

A matéria orgânica do solo é constituída basicamente por compostos orgânicos formados por C, N, H e O (SPARKS, 1995), estes elementos representam parte das características das matérias orgânicas dos solos e suas quantidades podem ser avaliadas através da utilização da técnica de análise elementar (STEVENSON,1994).

Do ponto de vista da transformação das matérias orgânicas dos solos as quantidades destes elementos não são suficientes para uma interpretação mais aprofundada; as relações C/N e H/N em conjunto com as quantidades dos elementos

oferecem maior subsídio para tal. Entretanto, essas relações não são suficientes para melhor compreender as transformações das matérias orgânicas nos solos, sendo necessário realizar uma análise em conjunto com novos dados.

As bandas de absorção no infravermelho dos principais grupos funcionais das matérias orgânicas foram apresentadas por Stevenson e Goh (1971), Stevenson, (1994), Benites (1999), Fontana (2006) e Celerier (2008) (tabela 1). Uma banda de absorção intensa é observada em 3418 e/ou 3150 cm^{-1} devido à água e o estiramento - OH dos grupos orgânicos. Os grupos alifáticos C-H podem ser observados em alta energia na faixa que varia entre 3700 a 2650 cm^{-1} (STEVENSON, 1994). Os grupos aromáticos estão presentes em baixa energia entre 700 e 860 cm^{-1} (C-H), enquanto os grupos carboxilatos são identificados em 1425 cm^{-1} (COO-), e os grupos carboxílicos na faixa de 1640 (C=O) cm^{-1} e 1715 cm^{-1} (C=O). O pico em 1625 cm^{-1} significa o C=C ligado ao anel benzênico e também é uma ligação aromática. Finalmente, a energia de 1050 a 1200 cm^{-1} resultam do estiramento C-O (éteres ou alcoóis).

O grupo funcional alifático da matéria orgânica do solo está relacionado a ligações simples envolvendo prótons pequenos (STEVENSON, 1994) e tem alta solubilidade (BARDY et al., 2008). O Grupo funcional aromático da matéria orgânica do solo demonstra maior estabilidade pela presença marcante de ácidos húmicos e humina nas frações do solo (STEVENSON, 1994). O grupo funcional carboxílico corresponde a agrupamentos de cadeia longa, ricos em oxigênio (BARDY et. al., 2008, STEVENSON, 1994).

5.1. Variação dos teores de C, N e H e das relações C/N e H/C nos solos da transeção

A tabela 2 apresenta os valores obtidos para C, N, H e as relações atômicas C/N e H/C, na fração argila ($\leq 0,002$ mm) extraídas das amostras de solo sem pré-tratamento; optou-se por utilizar os resultados das análises desta fração, uma vez que existe maior afinidade entre estas duas frações, portanto, aumento do teor dos elementos diferentemente do que seria obtido a partir das análises das amostras totais.

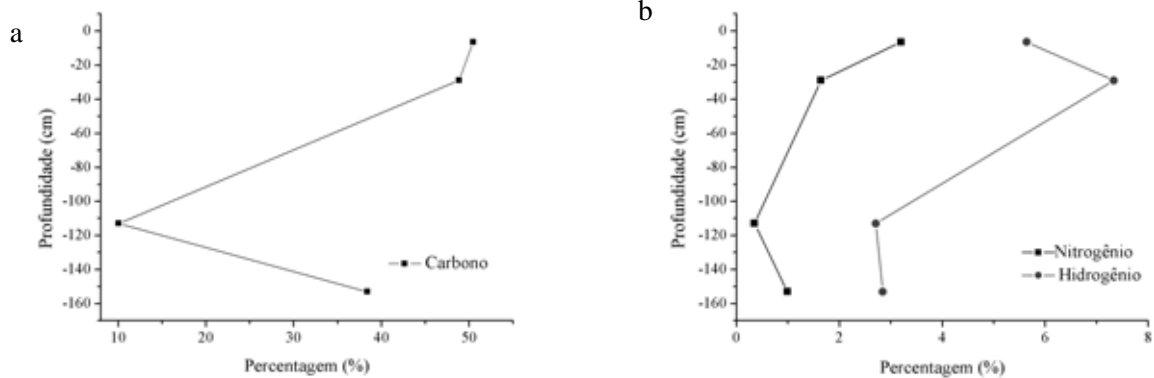
Tabela 2: Distribuição das Frações C, N e H e relação C/N e H/C

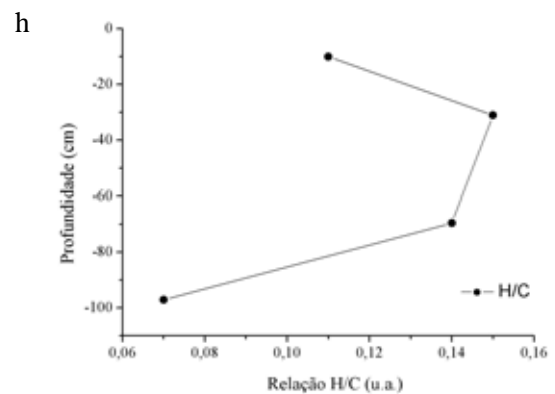
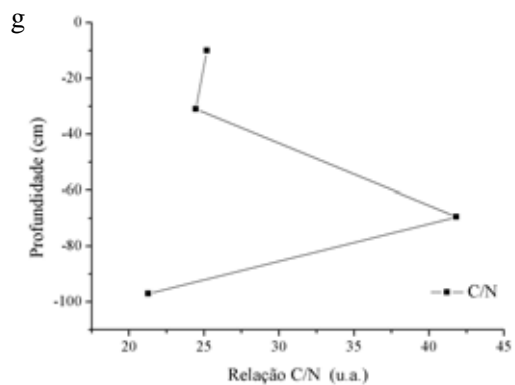
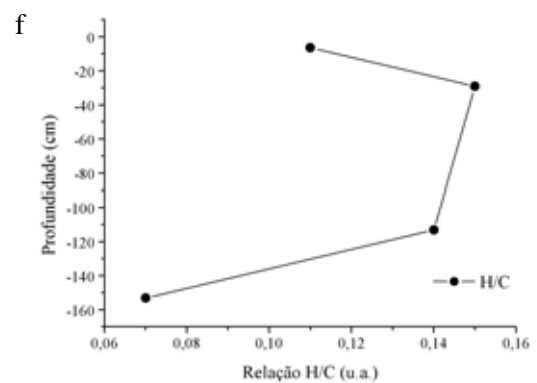
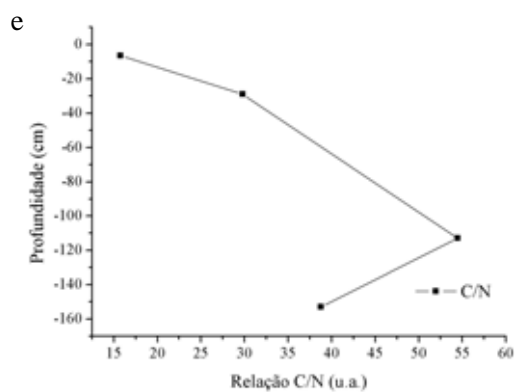
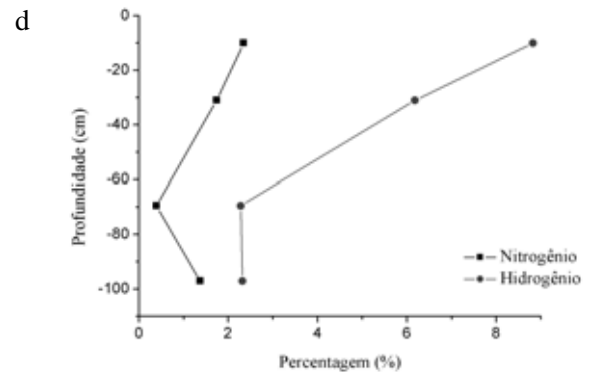
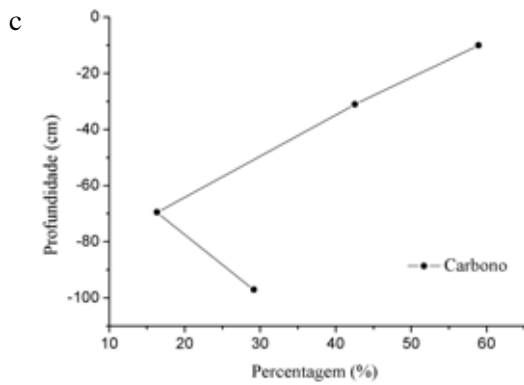
Tabela 2: Distribuição das Frações C, N e H e relação C/N e H/C						
Podzol						
Htes	Prof. (cm)	C (%)	N (%)	H (%)	C/N	H/C
A	0-13	50.46	3.2	5.64	15.76	0.11
AE	13-45	48.84	1.64	7.33	29.78	0.15
E1	45-73	-	-	-	-	-
E2	73-153	10.06	0.35	2.71	54.46	0.14
Bh	153+	38.4	0.99	2.84	38.79	0.07
Podzol Hidromórfico						
A	0-20	58.92	2.34	8.82	25.18	0.14
AE	20-42	42.54	1.74	6.18	24.45	0.14
E	42-97	16.31	0.39	2.28	41.82	0.13
Bh	97+	29.14	1.37	2.32	21.27	0.07
Cripto-Podzol						
A	0-22	52.28	2.5	7.59	20.91	0.14
Bh3	22-34	44.48	1.91	5.31	23.29	0.12
Bh2	34-53	46.69	1.52	4.75	30.72	0.1
EBh	53-72	32.56	0.94	3.94	34.64	0.11
CBhs	72+	10.49	0.35	1.81	29.97	0.17
Gleissolo						
A	0-11	14.04	1.38	2.38	10.17	0.16
ABhs	11-34	9.56	0.83	2.03	11.52	0.21
Cg1	34-64	4.78	0.41	1.52	11.66	0.31
Cg2	64-84	3.38	0.31	1.38	10.9	0.4

A figura 16 a, b, c, d, apresenta as percentagens dos compostos orgânicos C, N e H. O padrão de distribuição observado para o Podzol Espesso e para o Podzol hidromórfico se assemelham (Figura 16 a, b,c,d). Ambos têm teores elevados de C em superfície (50,45 e 58,92 %) que diminuem drasticamente no horizonte E (10,06 e 16,31 %) para se elevar no horizonte Bh (38,4 % e 29,14 %). Esse comportamento é também observado para N e H, cujas percentagens variam de 3,2 a 0,35 % para N no Podzol

Espero e de 2,34 a 0,39 % para N no Podzol Hidromórfico, e de 5,64 a 2,71 % para hidrogênio no Podzol Espesso, e 8,82 a 2,28 % para H no Podzol Hidromórfico. Essa distribuição decorre das migrações das matérias orgânicas em função do processo de podzolização. Os gráficos da figura 16 e,f,g, h, mostram que a distribuição da relação C/N e H/C tem configuração contrária às curvas que representam o C, N e o H, para os dois perfis. Em ambos os perfis a relação C/N varia de 15,76 a 54,46 no Podzol Espesso e de 21,27 a 41,82 no Podzol Hidromórfico. A relação H/C para o Podzol Espesso varia de 0,07 a 0,15 e para o Podzol Hidromórfico de 0,07 a 0,14. A relação C/N para os dois perfis é muito alta em todos os horizontes significando pouca maturidade das matérias orgânicas. A relação C/N contrasta com os valores da relação H/C uma vez que esta última é muito baixa (< 1) e indica maior aromaticidade das matérias orgânicas.

Figura 16:Variação de C,N e H e relação C/N e H/C na fração argila do solo em função da profundidade no Podzol espesso (a, b, e, f) ; Podzol Hidromórfico (c,d,g,h)

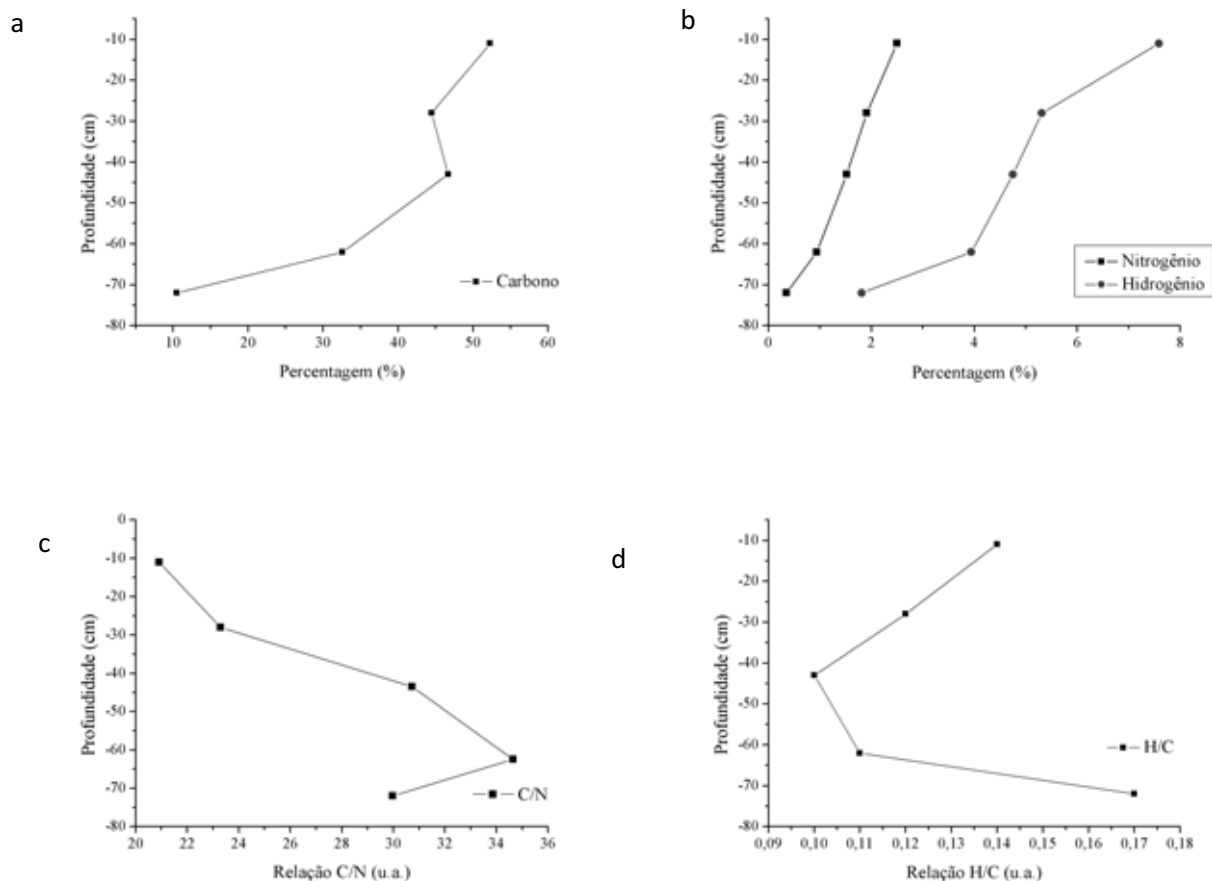




A figura 17 a, b, c, d representa a distribuição de C, N e H para o Criptopodzol. A configuração das curvas diferencia esse perfil do Podzol Espesso e do Podzol Hidromórfico. As porcentagens de C variam de 52,28 % no horizonte A 10,49 % no horizonte CBhs, mostrando a tendência de diminuição das concentrações na direção da base do perfil, um leve aumento de C ocorre no horizonte Bh3. Essa tendência revela,

portanto, que a podzolização está no seu estágio inicial. N e H têm a mesma tendência de diminuição: 2,5 a 0,35 % de N, e 7,59 a 1,81 % de H (Figura 17 b). A relação C/N é alta (Figura 17c), maior que 20,91, enquanto a H/C é baixa 0,17 (Figura 17 d). Ambas as relações são similares às dos Podzóis Espesso e Hidromórfico. Resulta, portanto, que o Criptopodzol apresenta a mesma oposição entre a relação C/N e H/C, como aquela apontada para os Podzóis Espesso e Hidromórfico, indicando menor evolução das matérias orgânicas e, ao mesmo tempo, maior aromaticidade das matérias orgânicas.

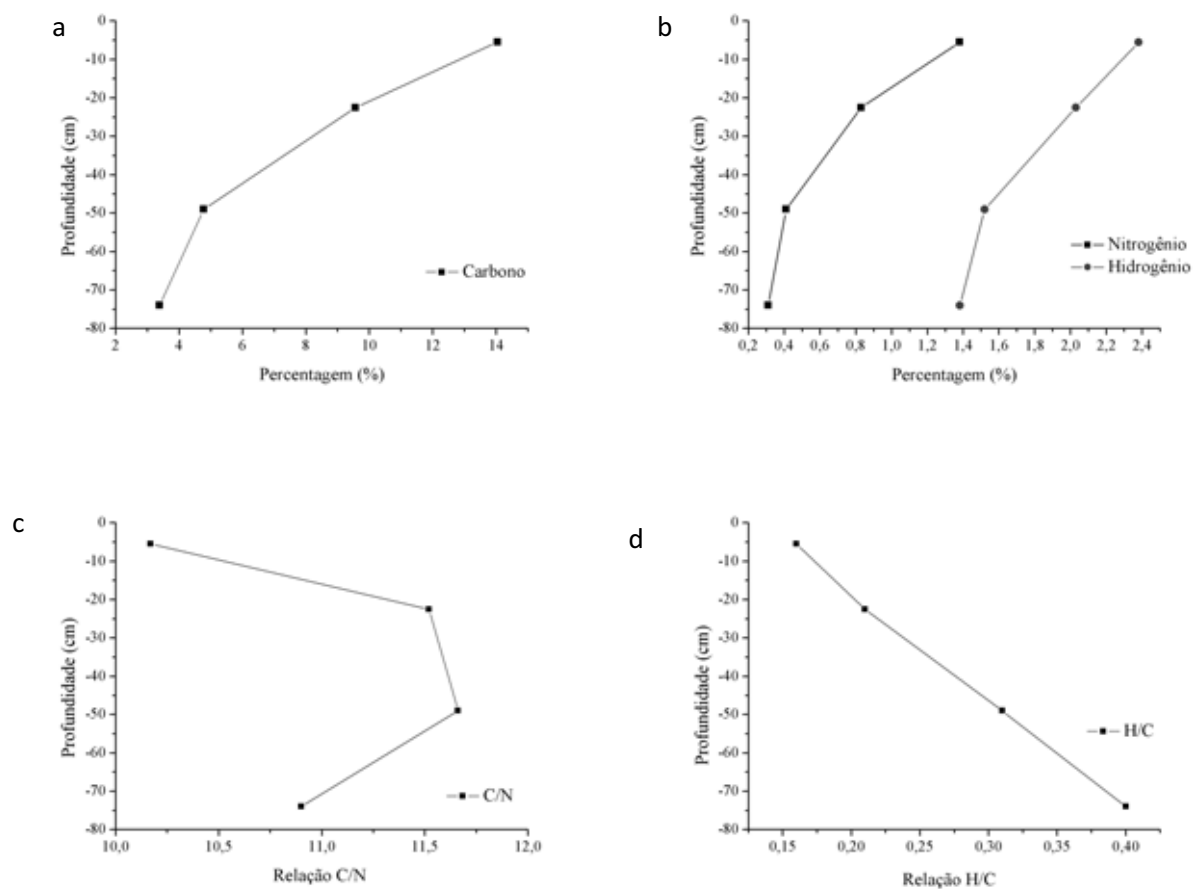
Figura 17: Variação de C,N e H e relação C/N e H/C na fração argila do solo em função da profundidade no Criptopodzol (a,b,c,d)



O Gleissolo tem menos carbono orgânico do que os precedentes (Figura 18 a). A tendência é de diminuição dos teores em direção da profundidade (14,04 a 3,38 %); o mesmo ocorre para N e para H (1,38 a 0,31 % de N; 2,38 a 1,38 % de H) (Figura 18 b).

Essa tendência mostra que a natureza das matérias orgânicas deste perfil é diferente da dos demais, não havendo acumulação de matérias orgânicas em horizontes profundos do solo, como a que ocorre nos podzóis e criptopodzol. Ao mesmo tempo essa tendência pode estar refletindo a impossibilidade de penetração das matérias orgânicas nos horizontes mais argilosos e, portanto, menos porosos do Gleissolo. A relação C/N(1,66 a 10,17) (Figura 18 c) é mais baixa do que todos os perfis precedentes, enquanto a relação H/C (Figura 18 d) é levemente mais alta (0,4 a 0,16), mas ainda se encontram abaixo de 1. Tanto a relação C/N como a H/C informam que as matérias orgânicas do Gleissolo são mais evoluídas do que os perfis precedentes.

Figura 18: Variação de C,N e H e relação C/N e H/C na fração argila do solo em função da profundidade no Gleissolo (a,b,c,d)



Os resultados da relação C/N e H/C para os solos Podzóis Espesso e Hidromórfico e Criptopodzol não fornecem muita informação a respeito da evolução das matérias orgânicas desses solos, devido à contraposição entre os resultados. Não é possível, portanto, com esses dados para apontar qual a relação é mais coerente. Para o Gleissolo tal contraposição não existe, indicando que as duas relações têm coerência entre si e que podem ser usadas para complementar os resultados que serão discutidos posteriormente.

5.2. Grupos funcionais da matéria orgânica nos perfis das sequências de solos

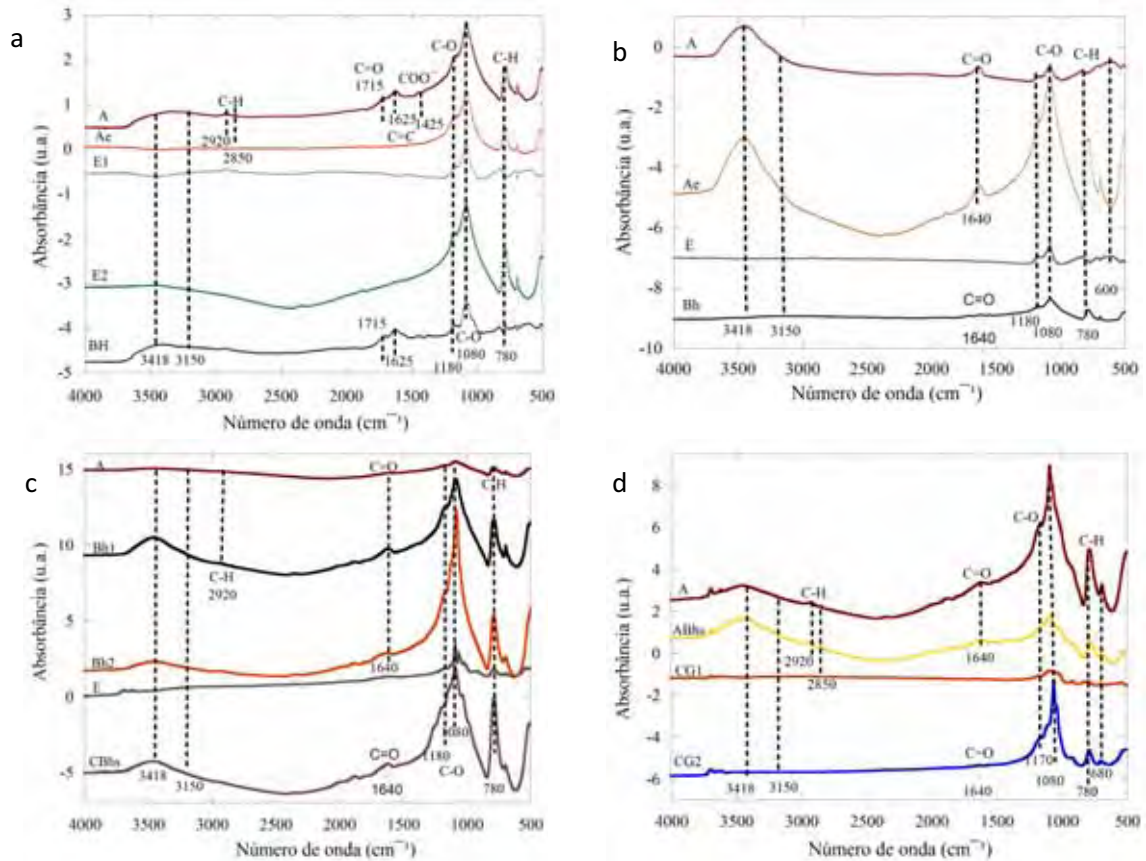
Na figura 19 a, b, c, d estão apresentados os espectros do infravermelho com transformada de Fourier para os quatro perfis de solos pesquisados.

A figura 19a do FT-IR refere-se ao perfil do Podzol Espesso. O gráfico apresenta em todos os seus horizontes espectros com número de onda que representam os grupos aromáticos C-H (780 cm^{-1}) e também o grupo no estiramento C-O ($1080\text{--}1180\text{ cm}^{-1}$), álcoois, isto é, compostos orgânicos mais estáveis. O horizonte A e o horizonte Bh desse perfil apresentam grupos funcionais, em comum, nas seguintes bandas de baixa energia dos grupos carboxílicos: em 1625 cm^{-1} (C=C), e em 1715 cm^{-1} (C=O), revelando compostos orgânicos menos evoluídos, de cadeia longa. Existe, apenas, no horizonte A o prolongamento dos grupos alifáticos (C-H) das altas energias (2850 e 2920 cm^{-1}), representando cadeias de tamanho pequeno e mais solúveis, e grupo carboxilato (COO^-) nas baixas energias em 1425 cm^{-1} , representando cadeia grande e pouco evoluída. Nas altas energias ocorre o prolongamento em 3150 e 3418 cm^{-1} do (-OH), nítido no horizonte do topo e nos dois horizontes da base. O horizonte A se difere dos demais por apresentar o estiramento do grupo funcional alifático (C-H) e o grupo carboxilato (COO^-). O AE, E1 e E2, se individualizam dos demais por não

apresentar os grupos funcionais carboxílicos C=O e C=C, carboxilato (COO⁻) e C-H alifático, enquanto o Bh é diferente destes últimos horizontes justamente por conter tais grupos funcionais, exceto C-H (alifático) e COO⁻ (carboxilato).

Essa distribuição dos grupos funcionais no perfil ressalta, por um lado o caráter mais solúvel e mais móvel de alguns grupos (C-H alifático), o caráter menos solúvel e mais estável de outros grupos (C-H e o COO⁻, aromáticos e alcóois) que estão desde o topo até a base do perfil, e por outro lado, o caráter mais recente e menos móvel de outro grupo (C=O e C=C, carboxílicos), mas que estão ocorrendo na base do perfil. O grupo carboxilato COO⁻, presente apenas no horizonte de superfície do perfil indica a sua complexação com metal, alumínio ou ferro.

Figura 19: Espectro de FT-IR dos perfis de podzol espesso (a); podzol hidromórfico (b); Criptopodzol (c); Gleissolo (d)



O perfil que representa o Podzol Hidromórfico (figura 19b) difere do anterior por ter menor quantidade de grupos funcionais e não possuir o C-H alifático e COO⁻ carboxilato. Apresenta em todos os seus horizontes o grupo aromático (C-H) 600 à 780 cm⁻¹ e os alcoóis (C-H) 1080 e 1175 cm⁻¹. Somente nos horizonte A, AE e Bh é encontrado a frequência dos carboxílicos 1640 cm⁻¹ (C=O). O estiramento em -OH (3450 cm⁻¹) encontra-se nitidamente nos perfis superficiais A e AE. Essa distribuição dos grupos funcionais difere daquela do Podzol espesso, pela ausência dos grupos alifático (C-H) e carboxílatos COO⁻ (1425 cm⁻¹) e anel benzênico C=C a (1625 cm⁻¹), sugerindo a alta solubilidade e mobilidade do grupo alifático e que não está havendo ionização dos grupamentos carboxílicos e, portanto, complexação de metais pelo COO⁻ na superfície do Podzol Hidromórfico.

No Criptopodzol (Figura 19c) novamente encontram-se presentes as bandas do grupo aromático 680 e 780 cm⁻¹ (C-H) e dos alcoóis 1080 e 1180 cm⁻¹ (C-O), em todos os horizontes. No A, Bh3, Bh2 e CBhs nota-se a presença da ligação C=O carboxílica em 1640 cm⁻¹. Nos horizontes Bh3 e A, estão presentes as ligações alifáticas C-H. Somente nos horizontes Bh3, Bh2 e CBhs é possível verificar a presença bem definida do estiramento -OH da matéria orgânica. A distribuição dos grupos funcionais da matéria orgânica nesse Criptopodzol assemelha-se ao do Podzol Hidromórfico, ressaltando, entretanto picos altos dos grupos aromático C-H e alcoóis C-O, no horizonte Bh2.

Em todos os horizontes do Gleissolo (Figura 19 d) ocorrem ligações aromáticas 680 -780 cm⁻¹ (C-H) e também estiramento de C-O 1070 e 1170 cm⁻¹ (alcoóis). A banda em 1640 cm⁻¹ (C=O) está presente, apenas, nos horizontes A e Bhs. A banda em 2930 cm⁻¹ da ligação alifática é observada somente nos horizontes mais superficiais A e

Bhs enquanto a banda em 3450 cm^{-1} (estiramento -OH), que apesar de ser observada em todos os perfis, sua maior definição encontra-se nos horizontes superficiais A e Bhs. Este perfil tem distribuição dos grupos funcionais da matéria orgânica que o distingue dos demais, ressaltando picos maiores dos grupamentos aromático C-H e alcoóis C-O no horizonte A.

Nos perfis estudados podemos observar semelhanças entre o Podzol Hidromórfico e o Criptopodzol, quanto à distribuição dos grupos funcionais e diferenças entre estes e o Podzol espesso e o Gleissolo. O Podzol espesso é bem drenado enquanto os demais são hidromórficos. No Podzol espesso já existe formação de complexos metálicos com o grupamento COO^- , já no horizonte de superfície do perfil. Nos demais perfis não há complexação de metais pelo grupamento COO^- e os picos das ligações carboxílicas são baixos, pois são sensíveis à hidromorfia. No Gleissolo o lençol freático está mais baixo do que no Podzol Hidromórfico e no Criptopodzol, sendo que no Podzol Hidromórfico a zona de oscilação do lençol atinge até o horizonte E, no Criptopodzol o lençol oscila até à superfície do solo e no Gleissolo até à base do horizonte Bhs. A diferença na distribuição dos grupos funcionais pode ser sugerida pela oposição entre ambientes melhor e mal drenados.

Verticalmente, observou-se que só os perfis do Podzol espesso e do Gleissolo apresentam grupos alifáticos C-H, são grupamentos mais solúveis, portanto, mobilizam-se mais, e facilmente podem sair do sistema solo, não existindo nos demais horizontes dos dois perfis. Representam material orgânico mais fresco (BARDY et. al., 2008). Entretanto, por este grupamento só existir nesses dois perfis isto pode estar ligado ao fato de tais perfis serem melhor drenados nos horizontes de topo (Podzol espesso: da superfície até o topo do Bh; Gleissolo: da superfície até o horizonte Bhs). Esse

comportamento se assemelha ao observado por Bardy et.al. (2008), em perfis de solos podzolizados na bacia do Rio Jaú - AM. Os autores identificaram uma alta solubilidade e biomineralização deste grupo funcional o que conduz ao seu desaparecimento com a profundidade.

Em todos os perfis estão presentes, verticalmente, as ligações do grupo carboxílico nos horizontes A, Bh, CBhs e Bhs, ou seja, nos horizontes com maior quantidade de matéria orgânica, enquanto nos horizontes eluviados e nos horizontes Cg1 e Cg2 esse grupamento não existe. É um grupamento representado por cadeias longas, pouco evoluídas e ricas em oxigênio. O fato de tal grupo não existir nos horizontes eluviados de todos os perfis e nos horizontes gley da base do Gleissolo, remete a duas possibilidades: a primeira refere-se à migração das frações através dos horizontes eluviais mais porosos do Podzol espesso, do Podzol Hidromórfico e do Criptopodzol, precipitando-se no horizonte imediatamente inferior, e a segunda é dependente da zona de flutuação do lençol, na qual o mecanismo de óxido-redução é ativo. Esse grupamento está presente no húmus fino em ambientes fracamente acidificados ($4.3 < \text{pH} < 5.5$), com alta capacidade de complexação de alumínio (BARDY et al., 2008) e podem migrar através da porosidade dos horizontes eluviados e depositarem-se no Bh ou demais horizontes espódicos como os identificados (CBhs e Bhs).

Embora não se tenha observado nenhum sentido nos resultados da relação C/N para os perfis podzolizados (Podzol Espesso, Podzol Hidromórfico e Cripto Podzol), a relação H/C trouxe informações mais seguras sobre o caráter das matérias orgânicas de todos os perfis. Os valores obtidos, < 1 , indicaram o caráter de aromaticidade para todos os perfis o que é coerente com os resultados fornecidos pelo estudo dos grupos

funcionais. A distribuição vertical do grupo aromático e de álcoois existe em todos os perfis pesquisados. São grupos funcionais estáveis que estão associados aos grânulos grosseiros dos solos, ocorrendo, principalmente, em ambientes ácidos ($3 < \text{pH} < 4.3$), tendendo a acumular Fe^3 ligado à matéria orgânica (BARDY, et. al. ,2008). Nos perfis pesquisados os maiores picos estão fora da zona de flutuação do lençol enquanto os menores picos encontram-se no limite de recidiva do lençol. O fato de esses grupos estarem presentes em todos os horizontes dos perfis reflete o caráter de estabilidade das ligações.

As diferenças observadas entre a sequência 1 (Podzol Espesso) e T2 são de dois tipos: distribuição dos grupos funcionais e natureza das matérias orgânicas. Entretanto ressalta-se que o Gleissolo apresenta leve diferença na composição da matéria orgânica por conter grupo alifático, o que o distingue dentre os demais perfis de T2. Desta maneira pode-se dizer que existe uma influência do quadro de evolução da sequência 1 e do conjunto T2, sobre a distribuição e natureza das matérias orgânicas presentes nos solos, mas isto não explica, totalmente, a diferença do Gleissolo dentre o conjunto T2.

5.3. Grau de Humificação da Matéria Orgânica e Associações entre os grupos funcionais e as relações C/N e H/C

Os resultados obtidos com as análises espectroscópicas evidenciaram diferenças e semelhanças entre os perfis de solos estudados quanto à distribuição dos grupos funcionais;

1. semelhança entre o Podzol Hidromórfico e o Criptopodzol;
2. diferença entre Podzol Hidromórfico, Criptopodzol e o Podzol Espesso;

3. diferença entre Podzol Espesso, Podzol Hidromórfico, Criptopodzol e o Gleissolo;

Tais diferenças e semelhanças foram atribuídas ao fato de que:

1. o Podzol espesso é bem drenado (lençol freático a 150 cm) enquanto os demais perfis são mal drenados;
2. na superfície do Podzol Espesso formam-se complexos do COO^- com metais, possivelmente com Al, enquanto nos demais perfis o mesmo não ocorre;
3. o Gleissolo tem grupo funcional alifático no horizonte de superfície diferenciando-o do conjunto T2.

Os horizontes de superfície recebem constantemente material orgânico que lentamente passará pelo processo de humificação. Nesse início a alifacidez é maior (STEVENSON, 1994, ZECH ET. AL., 1997). Com o decorrer da humificação aumenta-se a aromaticidade, que é uma das principais transformações químicas decorrentes deste processo e da estabilização da matéria orgânica do solo (STEVENSON, 1994, ZECH ET. AL., 1997). Milori et. al. (2006) e Santos (2008) atribuem o aumento do grau de humificação com a profundidade a dois motivos principais, o aporte da matéria orgânica fresca na superfície do solo que causa efeito de diluição do material orgânico mais recalcitrante, e a percolação natural das substâncias húmicas solúveis que leva ao acúmulo, em profundidade, do material mais humificado.

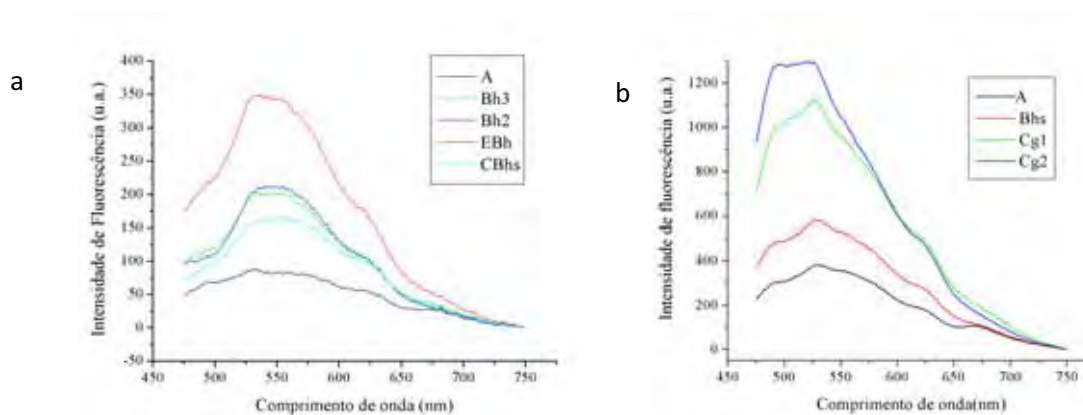
Na direção da base dos solos o aumento da humificação acompanha o aumento da aromaticidade. Essa contraposição entre a incorporação da matéria orgânica e a

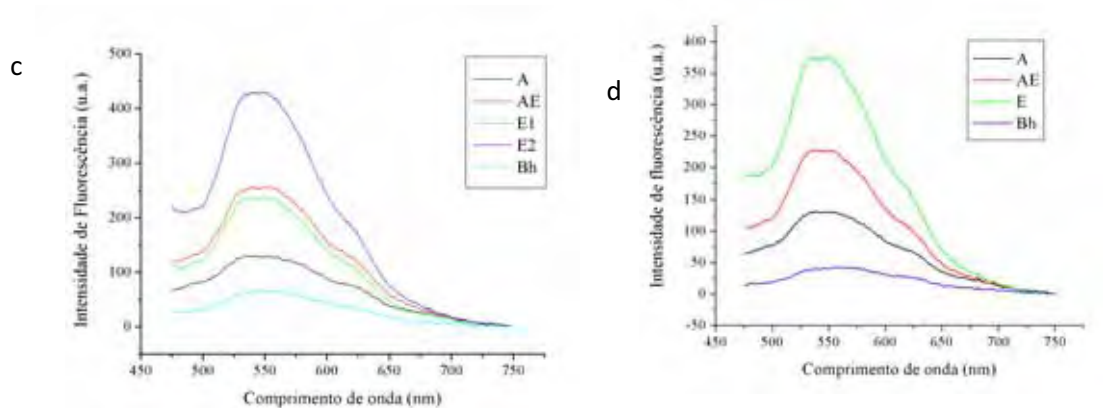
humificação dá ideia da maturidade genética dos solos e da intensidade da atividade microbológica que podem ser indicadas pela quantidade de C orgânico e pela incorporação de N visualizada através da relação C/N (BRAVARD e RIGHI,1990). Entretanto, nos solos podzóis nem sempre essa relação dá indicações seguras quanto ao grau de humificação, uma vez que a mobilização das matérias orgânicas é intensa. A relação C/N associada à relação H/C amplia as possibilidades de interpretação, pois traz possibilidade de verificação do caráter alifático ou aromático dos solos e, por extensão, verificar a proporção entre ácido húmico e ácido fúlvico nos horizontes do solo. Entretanto tais relações são apenas indicativas. A técnica analítica por FIL para verificação do grau de humificação acrescenta mais segurança às interpretações.

5.3.1. Grau de Humificação da Matéria Orgânica dos solos da Sequência 1 e de T2

Os espectros de fluorescência induzida por laser (FIL), obtidos para cada horizonte dos perfis amostrados estão apresentados na figura 20 a,b,c,d, enquanto o grau de humificação (H_{FIL}) que se tornou conhecido através da divisão entre a área determinada nos espectros pela quantidade de C da fração total, é apresentado na figura 21 a,b,c,d.

Figura 20: Espectro do FIL obtido para todos os horizontes de Podzol espesso (a); podzol Hidromórfico (b); Criptopodzol (c); e Glerissolo (d)

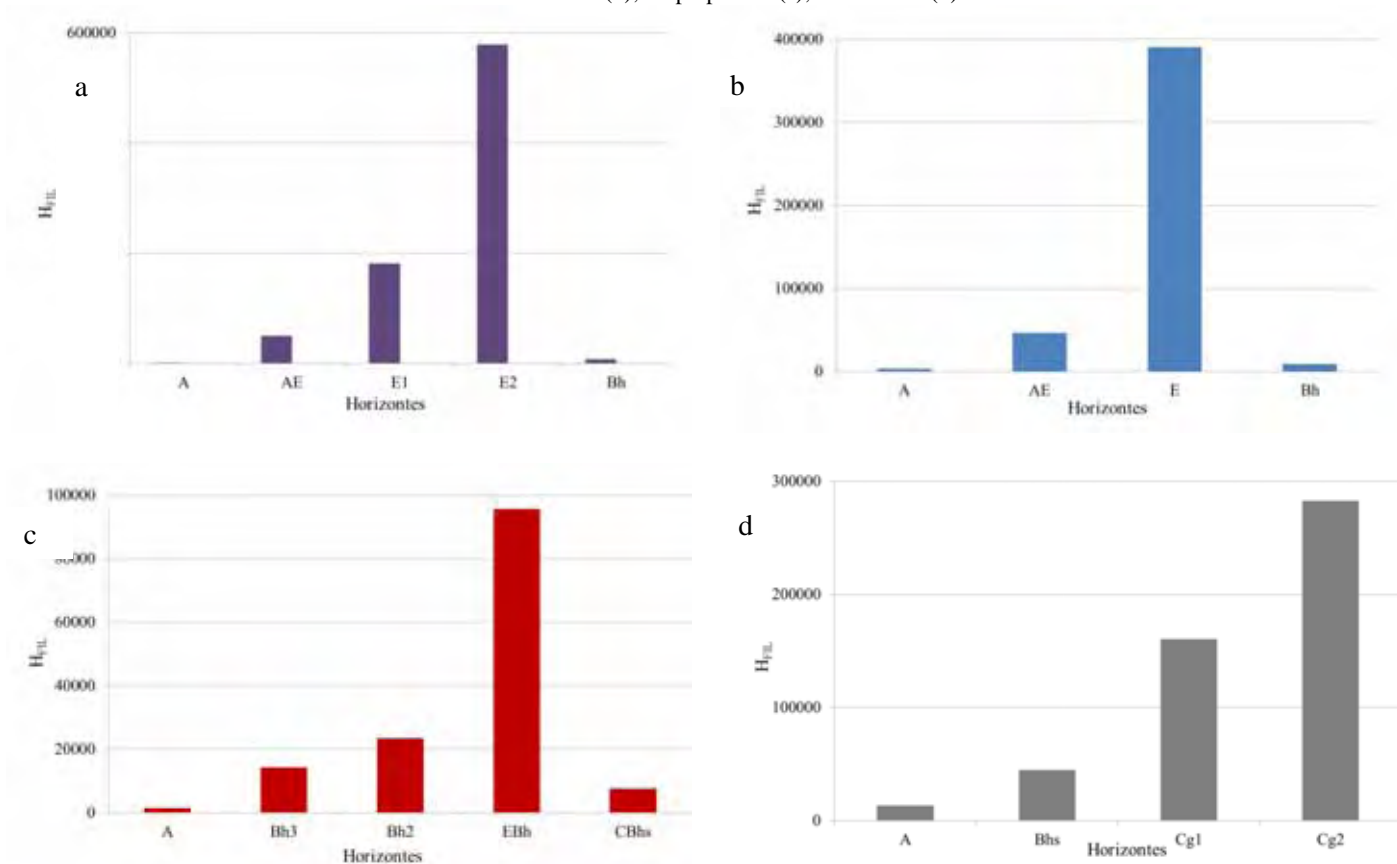




A figura 21 a, b, c, d revela uma mesma morfologia representada pela distribuição do grau de humificação dos perfis, uma vez que todos eles aí representados são podzóis.

Tal morfologia contrasta com aquela do Gleissolo (Figura 21 d). Globalmente a figura 21 a, b, c, d permite visualizar que os horizontes E e EBh dos podzóis e Cg2 do Gleissolo são mais humificados. Verticalizando a observação verifica-se que a escala referente ao grau de humificação varia de 0 a 600000 no Podzol Espesso (figura 21a); de 0 a 400000 no Podzol Hidromórfico; de 0 a 100000 no Criptopodzol, e de 0 a 300000 no Gleissolo. O limite superior da escala constitui, praticamente, o limite máximo do grau de humificação, em sequência, para os horizontes E do Podzol Espesso e Podzol Hidromórfico, EBh do Criptopodzol e Cg2 para o Gleissolo (Figura 21 a,b, c, d). Essa verticalização aponta fortes diferenças entre todos os perfis.

Figura 21: Valores de H_{FIL} obtidos para todos horizontes da fração total do solo no Podzol espesso (a); Podzol Hidromórfico (b); Criptopodzol (c); e Gleissolo (d).



Apesar da forte diferença entre os perfis a comparação entre o Podzol Espesso e o Podzol Hidromórfico mostra que o grau de humificação dos horizontes A, AE e Bh é comparável. Ao mesmo tempo, A e AE têm menor aromaticidade do que o Bh no Podzol Espesso, e o Bh, maior aromaticidade nos dois perfis, segundo a relação H/C e pela presença de grupos funcionais alifáticos no A e AE do Podzol Espesso e aromáticos no A e AE do Podzol Hidromórfico e no B de ambos. A grande diferença refere-se ao horizonte E, que no Podzol Espesso é mais humificado do que no Podzol Hidromórfico. Ambos pela relação H/C têm caráter aromático coerente com a presença de grupos funcionais aromático e alcoóis; o mesmo ocorre para todos os horizontes do Criptopodzol. No Criptopodzol o horizonte EBh representa o maior grau de humificação, enquanto os demais são menos humificados, tanto no mesmo perfil quanto

em relação aos demais. Essa diferença entre os três perfis configura uma tendência: a humificação diminui do Podzol Espesso ao Criptopodzol. Esse *trend* reflete, em parte, a distribuição e a transformação da natureza das matérias orgânicas do Podzol Espesso da sequência 1 e dos solos de T2.

Nesses três perfis no horizonte A a humificação é baixa. Ela aumenta gradualmente no horizonte AE dos dois perfis, fortemente no E1 do Podzol Espesso, muito fortemente no E2 e E dos Podzóis Espesso e Hidromórfico, e no EBh do Criptopodzol, para, em seguida, diminuir drasticamente nos horizontes Bh e CBh, de todos os perfis. Tal distribuição reflete a dinâmica do processo de podzolização: dissolução, complexação de metais e mobilização das matérias orgânicas na direção da base dos perfis com precipitação nos horizontes Bh e CBh. A textura arenosa e a grande porosidade desses solos permitem a migração da matéria orgânica através dos horizontes e sua acumulação no horizonte profundo. Assim nos horizontes eluviais, mais humificados, permanecem apenas os grupos funcionais mais estáveis C-O e C-H, enquanto na base dos perfis precipitam matérias orgânicas com grupos funcionais carboxílicos C=O, aromáticos e alcoóis C-O e C-H.

O Gleissolo não apresenta a mesma tendência vertical dos perfis precedentes; a humificação da matéria orgânica aumenta no sentido da profundidade do solo e acompanha a diminuição do teor em carbono e a dominância de grupos funcionais estáveis, aromático e álcoois C-O e C-H, no horizonte Cg2. Este perfil apresenta valor da relação H/C levemente maior do que os demais, devendo provavelmente ao menor conteúdo em C e a uma maior contribuição do H dos minerais de argila, do que ao caráter de menor aromaticidade em relação aos demais. Este perfil, de fato, é globalmente mais humificado do que o Criptopodzol e o Podzol Hidromórfico, não

considerando o horizonte E deste último. A tendência lateral é, portanto, a diminuição da humificação a partir do Gleissolo indo na direção do Criptopodzol; esta tendência reflete, portanto, o aumento da hidromorfia neste mesmo sentido.

Os resultados obtidos destacam que o Podzol Espesso é mais humificado em relação aos demais, portanto, mais antigo. O Gleissolo, mais humificado do que o Podzol Hidromórfico e o Criptopodzol, pode ser considerado como mais antigo que os dois últimos. O *trend* de diminuição da humificação segue do Podzol Espesso e do Gleissolo ao Criptopodzol e reflete a transformação da natureza das matérias orgânicas que por sua vez acompanha o aumento da hidromorfia no sentido do Criptopodzol.

CAPÍTULO IV: CONCLUSÃO

1. Evolução pedo-morfológica da microbacia de águas pretas e a transformação das matérias orgânicas: modelo descritivo

Os resultados obtidos até então revelaram que:

1. o Criptopodzol é o perfil de solo menos humificado dentre os demais;
2. existe diferença no grau de humificação entre todos os perfis e dentre estes o mais humificado é o Podzol Espesso referendando sua condição de perfil mais antigo da sequência 1;
3. o Gleissolo é mais humificado do que o Podzol Hidromórfico, colocando-o como o perfil mais antigo no conjunto T2, explicando sua singularidade dentro deste conjunto;

4. o grau de humificação diminui do Podzol Espesso e do Gleissolo ao Criptopodzol.

Essa organização apresentada acima:

1. reflete a distribuição e a transformação da natureza das matérias orgânicas no Podzol Espesso da sequência 1 e nos solos de T2;
2. decorre do aumento da hidromorfia, do Gleissolo e do Podzol Espesso ao Criptopodzol, que resulta da influência do quadro de evolução da sequência 1 e do conjunto T2;

As análises e interpretações feitas a partir dos dados permitiram estabelecer um modelo descritivo de evolução da microbacia de águas pretas estudada na bacia do alto Rio Negro que possibilitou o desenho da figura 22. Esse modelo foi deduzido, portanto, levando em conta a distribuição espacial dos solos, a evolução da sequência 1 e do conjunto T2 que revelou as duas fases de podzolização, as diferenças na distribuição e transformação na natureza das matérias orgânicas e no grau de humificação, que estão sintetizados nos itens apresentados acima.

A evolução da microbacia de água preta será apresentada seguindo os estágios constantes da figura 22.

É largamente conhecido que na bacia do Rio Negro a maior parte dos Podzóis decorre da podzolização de solos lateríticos fortemente empobrecidos em argila (LUCAS *et al.*, 1984; BRAVARD e RIGHI, 1989,1990;DUBROEUCQ E VOLKOFF, 1998; DUBROEUCQ *et.al.*, 1999; BUENO, 2001, 2009; NASCIMENTO *et. al.*,2004, 2008;FRITSCH *et al*, 2007,2009; DINIZ, 2011) e que esses Podzóis ocupam o centro

dos platôs ou as encostas e podem ser mal e bem drenados. A evolução da podzolização sobre os solos empobrecidos em argila e a incisão da drenagem isola os podzóis e deixam aflorar na encosta o horizonte Bh (BUENO, 2009). Esse autor mostra que a evolução seguinte é uma nova etapa de podzolização, que se dará sobre as encostas. Esse é, portanto, o ponto de partida para a evolução da microbacia de águas pretas:

A) Platô de baixa altitude com encostas de baixo declive, com cobertura pedológica formada pelo Podzol Espesso, está aberto à drenagem principal e suas matérias orgânicas evoluem no sentido de maior humificação e mineralização, mas ao mesmo tempo, a matéria orgânica fresca e a boa drenagem na superfície possibilita a permanência de grupos alifáticos nos horizontes A e AE.

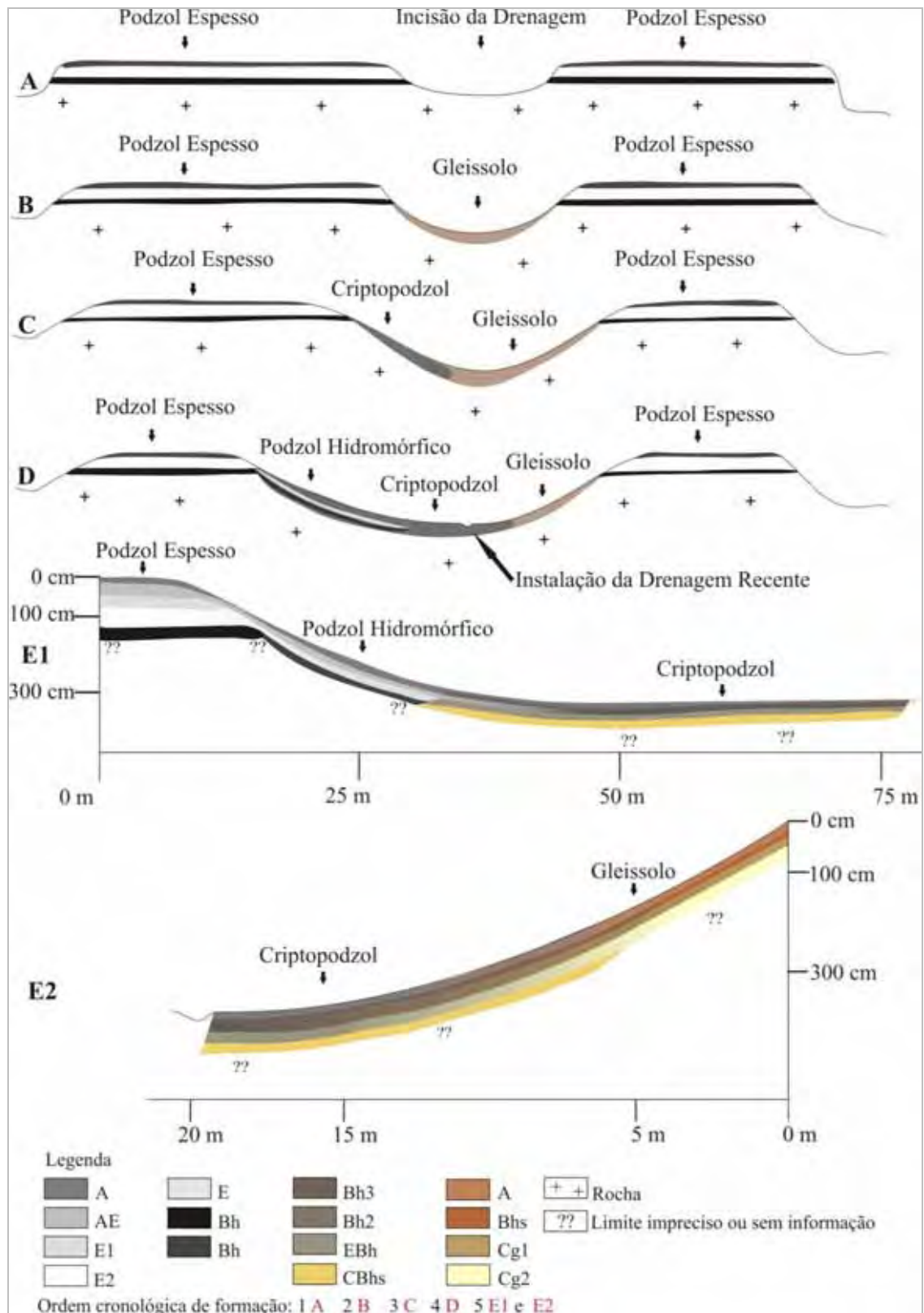
B) Nas encostas o saprolito começa a formar uma cobertura pedológica hidromórfica pouco espessa. Na superfície do solo o aporte da matéria orgânica fresca e a percolação natural das substâncias húmicas solúveis levam ao acúmulo de grupos alifáticos na superfície melhor drenada do solo e, em profundidade, ao acúmulo de grupos funcionais de matéria orgânica evoluída de caráter aromático, revelando maior humificação do horizonte mais profundo do perfil. Sincrônica ou posteriormente à etapa B, com os dados obtidos não se consegue precisar, inicia-se a segunda fase de podzolização sobre o Gleissolo. Essa podzolização avança da base da encosta para a direção de montante, inicialmente, formando o Criptopodzol (C) que posteriormente evolui ao Podzol Hidromórfico (D).

C) Formação do Criptopodzol, no qual a forte hidromorfia retarda a humificação e impede que os grupos alifáticos permaneçam em superfície, pois são rapidamente dissolvidos e mobilizados do perfil. Os grupos funcionais, complexadores de Fe^{3+} , e os

complexadores de Al ligados ao húmus grosseiro, migram na direção dos horizontes mais profundos.

D) Formação do Podzol Hidromórfico, a podzolização avança e ou instala-se o pequeno igarapé, levando à formação dos horizontes eluviais (E) a partir da destruição dos argilo-minerais, complexação dos metais pelas frações solúveis da matéria orgânica e mobilização desses complexos organo-metálicos para os horizontes de profundidade. Permanece no horizonte E apenas as matérias orgânicas recalcitrantes, com grupo funcional aromático, estável, dando a este horizonte o caráter de mais humificado.

Figura 22: Modelo hipotético de evolução da microbacia de estudo



2. Significação da evolução da microbacia e da dinâmica da matéria orgânica para o aparecimento e manutenção das águas escuras da microbacia estudada, na bacia do alto Rio Negro

O trabalho apresentado mostrou que a evolução da microbacia está intimamente ligada ao desenvolvimento e evolução da podzolização e à instalação da drenagem. A podzolização parece ser o motor para a instalação inicial da drenagem, através da criação das pequenas depressões que depois se abrem formando os pequenos igarapés. O aprofundamento, gradual, desta drenagem parece responder pela evolução do Criptopodzol em Podzol Hidromórfico.

Ao mesmo tempo em que esta evolução morfológica acontece, tanto dos solos como da microbacia, correspondem transformações na distribuição e na natureza das matérias orgânicas. Se o Podzol Espesso passa pela maior humificação e mineralização das suas matérias orgânicas, com pena de ter seu estoque reduzido nos horizontes E e Bh, a nova fase de podzolização responde por uma nova acumulação de matérias orgânicas nos perfis, reiniciando o processo.

A distribuição e a transformação das matérias orgânicas que ocorrem nas microbacias, nas depressões, nas unidades de relevo pouco abertas à drenagem, durante a evolução da podzolização é que respondem pelo fornecimento de águas pretas aos pequenos igarapés, que irão alimentar, posteriormente, os rios maiores. O modelo de evolução apresentado permite inferir que esta paisagem podzolizada é multitemporal e em equilíbrio com as condições pedoclimáticas atuais, o que torna possível a manutenção das águas pretas das microbacias, se este equilíbrio não for interrompido.

Os resultados apresentados e as conclusões permitidas por estes resultados são significativos para compreender o ciclo do carbono na bacia do Rio Negro, seu sequestro e liberação.

Referências Bibliográficas

ALLART T., PONTHEIU, M., Weber, T., FILIZOLA, N., GUYOT, J.L., and BENEDETTI, M. Nature and properties of suspended solids in the Amazon Basin. **Soc. Géol.** v. 173, p.67-75, 2002.

AMON, R.M.W.;BENNER,R. Photochemical and microbial consumption of dissolved organic carbon and dissolved oxygen in Amazon River system. **Geochimica et Cosmochimica acta**, v.60, n. 10, p.1783-1792, 1996.

ANDERSON, A, B. White-sand vegetation of brazilian Amazônia: **Biotropica**. 13(3), p. 199 –210. 1981.

ANDERSON, H.A.; BERROW, M.L.; FARMER, V.C.; HEPBURN, A.; RUSSELL, J.D.;WALKER, A.D. A reassessment of podzol forming processes. **Journal of Soil Science**, v.33, p.125-136, 1982.

ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G; RAMOS, D.P. Matéria orgânica e pedogênese. In: ANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo:Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis. P.91-116, 1999.

BARDY, M.; BONHOMME, C.; FRITSCH, E; MAQUET, J; HAJJAR, R.; ALLARD, T.; DERENNE, S. CALAS G.. Al speciation in tropical Podzols of the upper Amazon basin: a solid-state ²⁷AL MAS and MQMAS NMR study. **Geochimica et CosmochimicaActa**, 71, 3211-3222.2007.

BARDY, M.; FRITSCH, E.; DERENNE, S.; ALLARD, T.; NASCIMENTO, N. R.; BUENO, G. T. Micromorphology and spectroscopic characteristics of organic matter in waterlogged podzols of the upper Amazon basin. **Geoderma**, v. 145 p. 222-230. 2008.

BARDY, M.; DERENNE, S.; ALLARD, T.; BENEDETTI.M.F; FRITSCH, E. Podzolisation and exportation of organic matter in black waters of the Rio Negro (upper Amazon basin,Brazil).**Biogeochemistry**. 2010.

BENITES,V.M.; MENDONÇA,E.S; SCHAEFER, C.E.R.; MARTIN NETO, L. Caracterização dos ácidos húmicos extraídos de um latossolo vermelho-amarelo e de um podzol por análise termodiferencial e pela espectroscopia de absorção no infravermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 543-551.1999.

BOULET, R. *et al.* Analyse structurale et cartographie en pédologie.I. Prise en compte de l' organization bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cah.ORSTOM, Sér.Pédol.**, v. XIX, n.4, p. 309-321. 1982a.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. II – Une méthode d' analyse prennant en compte l' organization tridimensionnelle des couvertures pédologiques.**Cah. ORSTOM, Sér. Pédol**, v. XIX, n. 4, p. 323-339. 1982b.

BOULET, R. *et al.* Analyse structurale et cartographie en pédologie. III – Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. **Cah. ORSTOM, Ser. Pédol**, v. XIX, n. 4, p. 314-351. 1982c.

BOULET, R.; CHAUVEL, R.; LUCAS Y. Les systemes de transformation enpedologie. Livre Jubilaire du Cinquantenaire - **Association Française pour l'Etude du Sol**, Maugein – Lachaise: Malemort; p. 167 – 179. 1984.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RadamBrasil**. Rio de Janeiro, 1977, 452p. Folha SA 19 Iça; Geologia, geomorfologia, pedologia e uso potencial da terra.

BRAVARD, S.; RIGHI, D. Geochemical differences in an oxisolspodosol toposequence of Amazonia (Brazil), **Geoderma**, 44, 29–42, 1989.

BRAVARD, S. and RIGHI, D.: **Podzols in Amazonia**, *Catena*, 17, 461– 475, 1990.

BUENO, G. T. **Origem e evolução das "ilhas" de areia lavada em interflúvios e suas relações com os compartimentos geomorfológicos (Bacia do Rio Jaú-AM): uma história de desequilíbrios da cobertura pedológica**. Mestrado em geografia. Rio Claro. 2001. 124 p.

BUENO, G.T. **Appauvrissement et podzolisation des latérites du bassin du Rio Negro et gèneses des Podzols dans le haut bassin amazonien**. Doutorado em Geografia. Rio Claro. 2009. 191p.

CAMARGO, O.A. MONIZ, A.C. JORGE, J.A. VALADARES, J.M.A.S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física dos Solos do Instituto Agrônomo de Campinas. **Boletim Técnico** n° 106. Instituto Agrônomo: Campinas, 1986. 94p.

CAMARGO, F.A.O. ; SANTOS, G.A.; GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, p.27-40, 1999.

CELERIER, J. **Caractérisation moléculaire et dynamique de La matière organique de compost (déchets verts/biodechets) dans um sol**. 2008, 333p. Tese (Doutorado em Engenharia Química, Biológica e Geológica) - Université de Poitiers-2008.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista brasileira de ciência do solo**, n.34, p. 277-289, 2010.

CERETTA, C.A.; BAYER, C.; DICK, D.P.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L.A. Métodos Espectroscópicos. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, p.293-335, 1999.

DE CONINCK, F. Major mechanisms in formation of spodic horizons. **Geoderma**, v.24, p.101-128, 1980.

DINIZ, A.D. **Origem e dinâmica do mercúrio em sistemas de transformação Latossolo-Espodosolo na bacia do Rio Negro, Amazonas.** 2011, 132 p. Tese (Doutorado em geografia)- Universidade Estadual Paulista-2011.

DUBROEUCQ, D.; VOLKOFF, P.; FAURE, B. Podzols du Bassin du Haut Rio Negro. **Étude et Gestion des Sols**, v. 6, p. 131-153, 1999.

DUBROEUCQ, D.; VOLKOFF, B.; P., F. Les couvertures pédologiques à Podzols du Bassin du Haut Rio Negro. **Étude et Gestion des Sols**, v. 6, p. 131-153. 1998.

DUCHAUFOR, P. **Precis de Pédologie**, Paris: Ed. Masson et Cie. 1965.

ERTEL, J.R.; HEDGES, J.I.; DEVOL, A. H.; RICHEY, J. E. Dissolved humic substances of the Amazon River system. **The American Society of Limnology and Oceanography**.v. 31. p. 739-754.1986.

FANNING, D.; FANNING, M. **Soil, morphology, genesis and classification**. New York ed., p.395 p. John Wiley & Sons, New York, 1989.

FONTANA, A. **Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica em solos do Brasil.**2006. Tese (Mestrado em Ciência do Solo)-Instituto de Agronomia, Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica .2001.

FRITSCH, E.; ALLARD, T.; BENEDETTI, M.F.; NASCIMENTO, N.R. do; Li, Y.; CALAS, G.. Organic complexation and translocation of ferric iron in podzols of the Negro River watershed. Separation of secondary Fe species from Al species. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Inglaterra, v. 73, p. 1813-1825.2009.

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

FRITSCH, E.; MORIN, G.; BEDIDI, A.; BONNIN, D.; BALAN, E.; CAQUINEAU, S.; CALAS, G. Transformation of haematite and Al-poor goethite to Al-rich goethite and associated yellowing in a ferralitic clay soil profile of the middle Amazon Basin (Manaus, Brazil). **European Journal of Soil Science**, v. 56, n. 5, p. 575-588. 2005.

FRITSCH, E.; HERBILLON, A. J.; NASCIMENTO, N. R.; GRIMALDI, M.; MELFI, M. J. (2007). Plinthic Acrisols to Plinthosols and Gleysols : iron and groundwater dynamics in the tertiary sediments of the upper Amazon basin. **European Journal of Soil Science**, v. 58, p.989-1006. 2007.

FRITSCH, E.; PETERSCHITT, E.; HERBILLON, A. A structural approach of the regolith: identification of structures analysis of structural relationships and interpretations. **Sci Géol. Bull**, v.45, p. 77-97.1992

FUCHS, W. **Die chemie der kohle**. Berlin: Springer, 1931, 178p.

FURCH, K. & KLINGE, H. Chemical relationship between vegetation, soil and water in contrasting inundation areas of Amazonia. In: PROCTOR, J. (ed.) **Mineral**

Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems. Blackwell Scientific Publications, Oxford.p. 189-204, 1989.

GAILLARDET, J.; DUPRE, B.; ALLEGRE, C.J. Chemical and physical denudation in the Amazon river basin. **Chem. Geol.** V. 142,p. 141–173.1997

GOODMAN, B.A. Molecular spectroscopy: Introduction and general principles.In: WILSON, M.J. (Ed).**Clay mineralogy: spectroscopic and chemical determinative methods.**London: Chapman &hall,1994,p.1-10.

GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; BOULET,R.; ARAVENA,R.; SCHEEL-YBERT, R. Isótopos de carbono dos carvões e matéria orgânica do solo em estudos de mudança de vegetação e clima no quaternário e da taxa de formação de solos do Estado de São Paulo.**Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.71,p.969-980.1999.

GUSTAFSSON, J.P; BHATTACHARYA,P. ;KARLTUN,E. Mineralogy of poorly crystalline aluminium phases in the B horizon of Podzols in southern Sweden. **Applied Geochemistry**, v.14, p. 707-718.1999.

KOGEL-KNABNER, I. Analytical approaches for characterizing soil organic matter.**Organic Geochemistry**,n.31,p.609-625,2000.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma Revisão. **Geonomos**, v. 5, p. 17-40, 1997.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia.** São Paulo: Agronômica Ceres,1979, 262p.

KLINGE, H. Podzol soils in the Amazon Basin. **Journal of Soils Science**,16,96-103.1965.

KUMADA, K. **Chemistry of soil organic matter.** Tokyo, Japan: Scientific Societies Press, 1987. 241p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos.** São Paulo: Oficina de Texto, 2002, 178p.

LUCAS,Y.**Systèmes pédologiques em Amazonie brésilienne. Équilibres, disequilibres et transformation.** Tese (Doutorado). Universidade de Poitiers, Paris, 1989,157p.

LUCAS,Y.;BOULET,R.;CHAUVEL,A.;VEILLON,L.Systèmes sols ferralitiques-podzols en region amazonienne. In: RIGHI,D. &CHAUVEL,A. **Podzols ey podzolisation.** Paris:AFES&INRA,1987,p.207-224.

LUCAS, Y., BOULET, R., and CHAUVEL, A.: Intervention simultanée des phénomènes défoncement vertical et de transformation latérale dans la mise en place de systèmes de sols de la zone tropicale humide. Cas des systèmes sols ferralitiques – podzols de l’Amazonie Brésilienne, **C. R. Acad. Sci. Paris**, Ser. Ila, 306 1395–1400, 1988.

LUCAS, Y.; CHAUVEI, A.; BOULET, R.; RANZANI, G. ;SCATOLINI, F.: Transição latossolos-podzóis sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia, **Rev. Bras. Ciência do Solo** 8, 325– 335, 1984.

LUNDSTRÖM, U.S.;van BREEMEN,N.;Bain,D. The Podzolisation process: a review. **Geoderma**, 94, 200. p.91-107.

MAFRA, A. L. **Organização e pedogênese de um sistema Latossolo-Podzol na região do Alto Rio Negro, AM**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2000.

MELFI, A. J.; PEDRO,G. Estudo Geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1: Caracterização e repartição dos principais tipo de evolução pedogeoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**,v.7,1977.p.271-286.

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

MILORI, D.M.B.P.; GALETI, H.V.A.; MARTIN-NETO,L.; BAYER,C; MIELNICZUK, J .; BAGNATO, V.S. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. *Soil Science*,v.167, n.11, p.739-749,2002.

MILORI, D.M.B.P.; GALETI, H.V.A.; MARTIN-NETO,L.; DIECKOW,J.; GONZÁLEZ- Pérez,M. ; BAYER,C.; SALTON,J. Organic matter study of whole soil sample using laser-induced fluorescence spectroscopy. **Soil Science of America Journal**, v. 70,p.57-63, 2006.

MONTES, C.; LUCAS, Y; MELFI, A.; ISHIDA, D. Systèmes sols ferrallitiques–podzols et genèse des kaolins. **Geosciences**, v. 339, n. 1, p. 50-56, 2007.

MONTES,C.R.; LUCAS,Y.; PEREIRA,O.J.R.; ACHARD,R.; GRIMALDI,M.; MELFI, A.J. Deep plant-derived carbon storage in Amazonian podzols.**Biogeosciences**, n.8,p.113-120,2011.

NASCIMENTO, N. R.; BUENO, G. T.; FRITSCH, E.; HERBILLON, A.J.; ALLARD, T.; MELFI, A.J.; ASTOLFO, R.; BOUCHER, H. LI, Y. Podzolization as a deferralitization process: a study of an Acrisol-Podzol sequence derived from Palaeozoic sandstones in the northern upper Amazon Basin. **European Journal of Soil Science**, v. 55, n. 3, p. 523-538,2004.

NASCIMENTO, N.R. do FRISTCH, E; BUENO, G.T.; BARDY, M.; CRIMALDI, C.; MELFI,A.J..Podzolization as a deferralitization process: dynamics and chemistry of ground and surface waters in na Acrisol – Podzol sequence of the upper Amazon Basin.**European Journal of Soil Science**, v.59, p.911-924.2008.

NASCIMENTO, N.R. do; FRISTCH, E. **Ciclo do Carbono e Bioquímica dos metais em ambiente Podzolizado (Alta Bacia Amazônica)**: Caracterização Isotópica. Datação e Balanço Geoquímico. Rio Claro 2008. (Projeto de Pesquisa).

PATEL-SORRENTINO, N. MOUNIER, S. BENAÏM, J.Y. Excitation-emission fluorescence matrix to study pH influence on organic matter fluorescence in Amazon basin Rivers. **Water Research**, v.36, p.2571-2581. 2002.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances. **Soil Science**, v.166, p.810- 832, 2001.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, T.O. da. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v.7, n.5, p.1-13. 2011.

PROJETO RADAMBRASIL. Projeto Radam (ou Radam Brazil), 1972-78. Levantamento de Recursos Naturais. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral, v. 1-15, p. Rio de Janeiro, Brazil, 1978.

PUTZER, H. The geological evolution of the Amazon basin and its mineral resources. **In: The amazon, Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin**, p.15-46. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht. 1984.

QUESADA, C.A.; LLOYD, J.; ANDERSON, L.O.; FYLLAS, N.M.; SCWARZ, M.; CZIMCZIK, C.I. Soil of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. **Biogeosciences**, v. 8, p.1415-1440. 2011

RIGHI, D.; BRAVARD, S.; CHAUVEL, A.; RANGER, J.; ROBERT, M.: In situ study of soil processes in an oxisol-spodosol sequence of Amazonia (Brazil), **Soil Sci.**, 150, 438-445, 1990.

ROBERT, M.; TESSIER, D. Méthode de préparation des argiles des sols pour études minéralogiques. **Ann. Agron.** n. 25, 859-882, 1974.

RUELLAN, A. ; DOSSO, M. Regards sur le sol. Paris : Les Éditions Foucher, 1933, 192p.

SCHNITZER, M. Soil organic matter: the next 75 years. **Soil Science**, v.151, p.41-58, 1991.

SOIL SURVEY STAF. Keys to soil Taxonomy, 5 edição. SMSS technical monograph. Pocahontas Press, Inc: Blacksburg, Virginia. n. 191992

SANTOS, C.H. dos. **Análises espectroscópicas da matéria orgânica de solos sob aplicação de águas residuárias**. 2008. 165 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Química Analítica)- Universidade de São Paulo-2008.

SANTOS, E. dos. **Carbono, nitrogênio e relação C/N em Gleissolo e Cambissolo sob diferentes tipologias vegetais em área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonia- PR**. 2007. 104p. Dissertação (Mestrado e Ciência do solo)- Universidade Federal do Paraná-2007.

SOMBROEK, W. The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. In: W. Dordrecht;**Junk Publication**. P.522-535. Boston: Junk Publication, 1984.

SOMBROEK, W.G. Amazon landforms and soils in relation to biological diversity. In: **Annual Report 1990**.p.7-25, International Soil Reference and Information Centre,Wageningen.1990.

STEVERSON, F.J; GOH, K.M. Infrared spectra of humic acids and related substances. **Geochim Cosmochim Acta**. v.35. p.471-483. 1971

STEVERSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2 ed New York: John Willey, 1994, 496p.

SPARKS, D.L., **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press,1995. 267p.

TARDY, Y. **Pétrologie des latérites e des sols tropicaux**.Paris: Masson,1993.459p.

THENG, B.K.G.; TATE, K.R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds.), **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu, University of Hawaii, Niftal Project, 1989.

TURENNE,J.F. **Modes d'humification et différenciation Pozolique dans deux toposéquences guyanaises**.Thèse Docteur és Sciences,Université Nancy I.1975.

BREEMEN V.; BUURMAN N. P. **Soil Formation**. 2 edição. The Netherlands: Kluwer Academi.2002.404p.

VAN HEES, P.A.W.; LUNDSTRÖN, U.S. Equilibrium models of aluminium and iron complexation with different organic acids in soil solution. **Geoderma**,94,201-221.2000.

VEILLON, L. **Sols ferralitiques et Podzols en Guyane septentrional. Relations entre systèmes de transformations pédologiques et evolution historique dún milieu tropical humide et forestier**.Thèse Université Paris 6.1990.

VOLKOFF, B. ; MORTATTI, J. ; CERRI, C. C.: Rôle des nappes dans les différenciations pédologiques des zones à podzols de l'Amazonie, **C . R. Acad. Sci. Ser. Ila**, 310, 1361–1368, 1990.

WIEDERHOLD, J.; TEUTSCH, N.; KRAEMER, S.; HALLIDAY, A.; KRETZSCHMAR, R. Iron isotope fractionation in oxic soils by mineral weathering and podzolization. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 71, n. 23, p. 5821-5833, 2007.

ZECH,W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, LEHMANN,J.; MIANO, T.M.; MILTNER,A.; SCHROTH,G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, n. 79,p. 117-161, 1997.

Anexos

Anexos 1: Descrição dos perfis de solo

Podzol Espesso

Horizonte A (0-13 cm): Estrutura granular fraca. Grânulos compostos por matéria orgânica distribuem-se em meio aos grãos de quartzo. Textura arenosa. Presença de muitas raízes de tamanho médio e pequeno. Não plástica e não pegajosa. Cor bruna escura (2.5y3/1). Transição gradual. Matéria orgânica do tipo Moder.

Horizonte AE (13-45 cm): Estrutura granular fraca. Textura arenosa. Presença de poucas pequenas e médias raízes. Não plástico e não pegajoso. Cor Bruna clara (2.5y5/1). Transição gradual.

Horizonte E1(45- 73 cm): Estrutura em grãos simples. Textura arenosa. Presença de poucas e raras raízes. Não plástico e não pegajoso. Cor bruna clara (2.5y6/1).

Horizonte E2 (73-153 cm): Estrutura em grãos simples. Textura arenosa. Presença de raras raízes. Não pegajoso e não plástico. Cor branca (2.5y8/1). Transição abrupta para o Bh.

Horizonte Bh (153+): Estrutura em blocos. Textura arenosa. Ligeiramente pegajoso plástico. Cor Bruna escura (2.5y2.5/1). No interior dos blocos aparenta ter grãos de areia revestido de matéria orgânica.

Podzol Hidromórfico

Horizonte A (0-20 cm): Estrutura granular. Textura arenosa. Ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico. Presença de muitas raízes finas. Cor bruna escura (2.5y3/1). Transição gradual para AE. Matéria orgânica do tipo Mor.

Horizonte AE (20-42 cm): Estrutura em grãos soltos. Textura arenosa (areia fina). Não pegajoso e não plástico. Cor marrom acinzentada clara (2.5y 6/2).

Horizonte E (42-97 cm): Estrutura em grãos soltos. Textura arenosa (areia grossa). Não pegajoso e não plástico. Cor branca (2.5y(8/1). Transição abrupta. Lençol freático encontrado neste horizonte aos 67 cm.

Horizonte Bh (97+cm): Estrutura em blocos fracos. Textura arenosa. Ligeiramente pegajoso plástico. Cor Bruna escura (2.5y2.5/1). No interior dos blocos aparenta ter grãos de areia revestidos por material orgânico.

CriptoPodzol

Horizonte A (0-22 cm): Estrutura granular. Textura arenosa. Ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. Muitas raízes finas e médias. Cor bruna escura (2.5y2.5/1). Transição gradual para o Bh3. Matéria orgânica do tipo Mor

Horizonte Bh3 (22-34 cm): Estrutura grãos soltos. Textura arenosa. Presença de poucas e finas raízes. Cor cinza escura (5y 4/1). Transição gradual para o horizonte Bh2.

Horizonte Bh2 (34-53 cm): Estrutura em grãos soltos. Textura arenosa. Não plástico e não pegajoso. Cor cinza escura com raias de areia esbranquiçada (2.5y 5/1). Transição gradual para o horizonte EBhs.

Horizonte EBhs (53-72cm): Estrutura em grãos soltos. Textura arenosa. Não plástico e não pegajoso. Cor cinza com manchas brunadas (5y 6/1). Transição abrupta para o CBhs.

CBhs (72+cm): Estágio de decomposição da rocha. Estrutura maciça. Textura franco-argilo arenosa. Ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica. Cor marrom escura (2.5y 3/2) em algumas partes impregnadas de matéria orgânica.

Gleissolo

Horizonte A (0-11cm): Estrutura granular. Textura franco-arenosa. Presença de muitas raízes finas. Ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico. Cor marrom escura (2.5y 3/3). Transição gradual para o AB. Matéria orgânica do tipo Moder

Horizonte ABhs (11-34 cm): Estrutura granular. Textura franco-arenosa. Apresenta muitas raízes pequenas e médias. Pouco pegajoso e pouco plástico. Cor olivácea (5y 5/2). Transição gradual para o Cg1.

Horizonte Cg1 (34-64 cm): Estrutura maciça em blocos pequenos. Textura franco-arenosa. Ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. Cor olivácea clara com algumas manchas brunadas (5y 6/2). Transição difusa para Cg2.

Horizonte Cg2 (64-84 cm): Estrutura maciça em blocos médios e grandes. Textura franco-arenosa. Ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. Cor cinza (5y 7/1).

Anexo 2: Análise granulométrica e C obtido para a fração total do solo

Perfil	Solo	Profundidade	Horizonte	Cor Munsell	Areia grossa (%)	Argila (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia grossa+ Areia Fina (%)	Textura	C (%) (fração total)
1	Podzol espresso	0-13	A	2.5y3/1	88,6	2,05	0	9,35	97,95	Arenosa	10,78
	Podzol espresso	13-45	AE	2.5y5/1	80,4	1,65	0,8	17,15	97,55	Arenosa	0,62
	Podzol espresso	45-73	E1	2.5y6/1	73,5	0	1,15	25,35	98,85	Arenosa	0,16
	Podzol espresso	73-153	E2	2.5y8/1	61,5	1,8	0	36,7	98,2	Arenosa	0,08
	Podzol espresso	153+	Bh	2.5y2.5/1	58,1	1,3	2,05	38,55	96,65	Arenosa	4,14
2	Podzol Hidromórfico	0-20	A	2.5y3/1	94,1	0,7	0,45	4,75	98,85	Arenosa	5,62
	Podzol Hidromórfico	20-42	AE	2.5y6/2	72,5	0,05	0,05	27,4	99,9	Arenosa	0,58
	Podzol Hidromórfico	42-97	E	2.5y8/1	66,6	0,15	2,75	30,5	97,1	Arenosa	0,10
	Podzol Hidromórfico	97+	Bh	2.5y2.5/1	74,9	4,3	0,1	20,7	95,6	Arenosa	0,61

3	Criptopodzol	0-22	A	2.5y2.5/1	75	4,2	1,16	19,64	94,64	Arenosa	40,61	43,83
	Criptopodzol	22-34	Bh3	5y4/1	57,3	5,5	3,7	33,5	90,8	Arenosa	2,15	2,17
	Criptopodzol	34-53	Bh2	2.5y5/1	90	1	0,4	8,6	98,6	Arenosa	1,15	1,12
	Criptopodzol	53-72	EBh	5y6/1	78,8	0,35	1	19,85	98,65	Arenosa	0,43	0,36
	Criptopodzol	72+	CBhs	2.5y3/2	54,7	22,05	3,25	20	74,7	Franco-Argilo-Arenosa	3,0	3,01
4	Gleissolo	0-11	A	2.5y3/3	49,6	13,15	1,85	35,4	85	Areia franca	3,95	4,0
	Gleissolo	11-34	Bhs	5y5/2	60,8	13,35	1,7	24,15	84,95	Areia franca	1,63	1,61
	Gleissolo	34-64	Cg1	5y6/2	44,3	17,05	2,25	36,4	80,7	Franco Arenosa	0,92	0,95
	Gleissolo	64-84	Cg2	5y7/1	46,9	16,7	2,7	33,7	80,6	Franco Arenosa	0,59	0,59

