

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

TESE

**Organossolos: Morfologia, Atributos Físicos, Químicos
e Abundância Natural de Isótopos de Carbono e
Nitrogênio**

Paula Fernanda Chaves Soares

2015



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**ORGANOSSOLOS: MORFOLOGIA, ATRIBUTOS FÍSICOS,
QUÍMICOS E ABUNDÂNCIA NATURAL DE ISÓTOPOS DE
CARBONO E NITROGÊNIO**

PAULA FERNANDA CHAVES SORES

Sob a Orientação da Professora
Lúcia Helena Cunha dos Anjos

e Co-orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

Tese submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **Doutora**, no
curso de Pós-Graduação em
Agronomia, Área de concentração em
Ciência do Solo.

Seropédica - RJ
Fevereiro de 2015

631.417

S676o

T

Soares, Paula Fernanda Chaves, 1985-

Organossolos: morfologia, atributos físicos, químicos e abundância natural de isótopos de carbono e nitrogênio / Paula Fernanda Chaves Soares – 2015.

84 f.: il.

Orientador: Lúcia Helena Cunha dos Anjos.

Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 73-79.

1. Solos orgânicos – Teses. 2. Solos – Teor de compostos orgânicos - Teses. 3. Solos – Classificação – Teses. 4. Solos – Formação – Teses. I. Anjos, Lúcia Helena Cunha dos, 1956-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA- CIÊNCIA DO SOLO**

PAULA FERNANDA CHAVES SOARES

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM 25/02/2015

Lúcia Helena Cunha dos Anjos. Ph.D. UFRRJ
(Orientadora)

Igo Fernando Lepsch. Ph.D. IAC

Alexis Rosa Nummer. Dr. UFRRJ

Luiz Carlos Ruiz Pessenda. Ph.D. CENA/USP

Denise Monte Braz. Dra. UFRRJ

*"O que é um cientista, afinal?
É uma pessoa curiosa que olha através de um buraco da fechadura,
o buraco da fechadura da natureza, tentando saber o que está acontecendo "*
Jacques Cousteau

"...Precisamos estudar o passado, para compreender o presente e mudar o Futuro..."
Maria C. F. Lopes

*Aos meus pais Virgínia Maria Barbosa Chaves Soares e Paulo César Gomes Soares,
a minha irmã Nathália, aos meus demais familiares: tias, tios e avós,
ao meu namorado Fernando Zuchello, aos meus amigos, e
aos meus professores ...*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que abriram mão de alguns de seus sonhos para que eu pudesse chegar até aqui, por seus ensinamentos diários de que o mais importante na vida é fazer o que se quer para então ser feliz. E ao restante da família, tios e avós que deixei de frequentá-los durante os anos que estive na UFRuralRJ, que foram muitos (12 anos). Amo vocês...

Ao meu namorado, Fernando Zuchello, que me ajudou inúmeras vezes, foi muito paciente e nos meus momentos de ansiedade e nervosismo e sempre esteve ao meu lado.

A professora orientadora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, pelo exemplo de profissionalismo e pelos momentos de convívio. Ainda pela orientação do trabalho e pelo incentivo que muito contribuiu para minha formação. E ao professor Marcos Gervasio Pereira, sempre esteve presente em minha vida de ruralina, pela orientação, amizade, ensinamentos de vida e acima de tudo pela paciência e apoio durante os momentos mais difíceis que passei na UFRRJ.

Aos professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação de Agronomia - Ciência do Solo da UFRRJ. Em especial ao Professor Alexandre Ravelli Neto, que me ensinou que a gente tem que saber o que quer encontrar, na pesquisa e principalmente na vida.

Aos amigos de laboratório, pela colaboração e pelos muitos momentos bons que tivemos em especial ao Sidinei, ao Anderson, ao Daniel e a todos os do Laboratório de Gênese e Classificação de Solo. E a “equipe de coleta” maravilhosa que permitiu que esse trabalho fosse desenvolvido, Alessandro, Arcangelo, Daniel, Deivid, Elias, Lúcia, Ted, Paulo, Virgínia, Sidinei, Wanderlei e claro, Fernando Zuchello.

Aos técnicos que me ajudaram bastante sempre que precisei, Maria Helena do Laboratório de Física do Solo, Liz do Laboratório de 14C no CENA/USP/ESALQ e aos técnicos do Campus Leonel Miranda que forneceram total suporte a coleta de solo, alojamento e transporte; ao Mauri que indicou a área de Campos e ao Gilson que levou a equipe de coleta.

A CAPES, pela concessão da bolsa de Doutorado e pela oportunidade do Programa de Doutorado Sanduiche no Exterior onde estive na University of Guelph, Ontario – Canadá, durante o período de 09 de 2013 a 03 de 2014; A FAPERJ, pelo financiamento do projeto, e; Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia - Ciência do Solo pelo apoio nos congressos ao longo do curso.

Ao Professor Pessenda que abriu as portas do Laboratório de 14C no CENA/USP/ESALQ ao qual permaneci durante quatro meses, ao Professor Jean Pierre do MUSEU NACIONAL/UFRJ pela disponibilidade e acessibilidade a equipamentos.

Ao Parque Nacional de Itatiaia/SiSBIO/IBAMA, ao Leo Nascimento responsável pela autorização interna para que a pesquisa fosse realizada. Ao Colégio Agrícola Estadual Almirante Ernani do Amaral Peixoto, ao Diretor Carneiro que me recebeu muito bem e permitiu a coleta de solo e vegetação na área da escola.

Ao Prof. Richard Heck que me recebeu durante sete meses para o Estágio de Sanduiche em Guelph, Ontario – CANADÁ fornecendo total suporte para minha estadia.

E, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A Deus, por tudo.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

Paula Fernanda Chaves Soares, nascida em 7 de março de 1985, na cidade de Nova Iguaçu – Rio de Janeiro. É Engenheira Agrônoma e Licenciada em Ciências Agrícolas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em março de 2009 e março de 2010 respectivamente. Durante a graduação exerceu atividades de Bolsista de Iniciação Científica (CNPq/PIBIC/RURAL), no Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia no período de agosto de 2006 a julho de 2007, e em sequência no Laboratório de Gênese e Classificação de Solos, no Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, durante o período de agosto de 2007 a janeiro de 2009. Concluiu o Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo, na UFRRJ, defendendo a dissertação em fevereiro de 2011. Simultaneamente concluiu Especialização em Engenharia Ambiental em 2010, pela Universidade de Nova Iguaçu. Ingressou no Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo, na UFRRJ em 2011. Participou do Programa de Doutorado Sanduiche no Exterior, financiado pela CAPES de setembro de 2013 a março de 2014, onde permaneceu na University of Guelph, ON – Canadá, defendendo a tese em 25 de fevereiro de 2015.

RESUMO GERAL

SOARES, Paula Fernanda Chaves. **Organossolos: Morfologia, atributos físicos, químicos e abundância natural de isótopos de carbono e nitrogênio**. 2015. 84f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo os Organossolos são caracterizados por horizontes com elevado teor de material orgânico e uma espessura mínima. O teor de carbono está ligado ao processo pedogenético, porém para que ocorra a adição e manutenção de carbono em quantidade e espessura de forma a atender os critérios do sistema de classificação uma série de fatores atua em conjunto, culminando com o processo de gênese do solo. Esses solos podem ser formados através de um desses processos: paludização ou acumulação de liteira. O objetivo geral do trabalho foi caracterizar e classificar Organossolos e verificar a influência da sua gênese sobre os atributos edáficos, analisando as propriedades físicas e químicas; ainda a aplicação de métodos de análise da abundância natural de isótopos de carbono e nitrogênio, relacionando-as as alterações na vegetação e na evolução do solo, em dois ambientes de Floresta Atlântica, no Estado do Rio de Janeiro. Para tanto foram selecionados quatro perfis em locais distintos, um em Magé ao fundo da Baía de Guanabara, o segundo em Campos dos Goytacazes próximo a Lagoa Feia, ambos em ambientes de clima quente e úmido e relevo plano de várzea. Outros dois perfis localizam-se em Itatiaia, na parte alta do Parque Nacional de Itatiaia (PNI), em ambiente de clima frio e úmido e vegetação altomontana. Realizou-se uma série de procedimentos analíticos: descrição e caracterização morfológica, análises de atributos químicos e físicos, determinação de carbono e nitrogênio, fracionamento químico das substâncias húmicas, material mineral (MM), densidade da matéria orgânica (DMO), resíduo mínimo (RM), solubilidade em pirofosfato de sódio (IP), determinação de fibras (FE e FN) e escala de decomposição de Von Post, abundância natural de isótopos do carbono (^{12}C e ^{13}C) e nitrogênio (^{14}N e ^{15}N) e datação da matéria orgânica do solo através do método de ^{14}C . O perfil RJ-01 foi classificado como ORGANOSSOLO Tiomórfico Sáprico típico, o RJ-02 como ORGANOSSOLO Háptico Sáprico típico, o RJ-03 como ORGANOSSOLO Háptico Hêmico típico e o RJ-04 como ORGANOSSOLO Fólico Sáprico cambissólico. O perfil RJ-01 apresentou maior espessura e teores de carbono mais elevados em subsuperfície. O perfil RJ-02 foi o de menor profundidade, porém possui maior deposição atual de matéria orgânica (MO). O perfil RJ-03 possui a MO mais antiga, datando na faixa de 3351-3699 anos a 40-50 cm. No entanto, o perfil RJ-04 destacou-se dos demais por apresentar melhor drenagem e maior grau de humificação da MO. Além disso, esse perfil mostrou variação do valor de ^{13}C de $\delta 6$, indicando alteração na composição florística local, com o aumento de vegetação do ciclo fotossintético C_3 , o que é apontado como indicio de alterações climáticas.

Palavras-chave: Solos orgânicos. Reconstrução ambiental. Ambiente de formação de solo.

GENERAL ABSTRACT

SOARES, Paula Fernanda Chaves. **Histosols: Morphology, physical and chemical attributes, and carbon and nitrogen isotopic natural abundance**. 2015. 84p. Thesis (Doctor Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

According to the Brazilian Soil Classification System the *Organossolos* (Histosols) are characterized by horizons with high organic matter content and a given thickness. The carbon content is related to pedogenesis processes; however for the carbon addition and maintenance in the soil in such amount and thickness to meet the criteria of the classification system there are several factors working in conjunction, culminating in the soil genesis process. These soils can be formed by paludization or litter accumulation. The overall objective of the study was to characterize and classify *Organossolos* and to verify the influence of their genesis in the soil attributes, evaluating physical and chemical properties; in addition, the application of isotopic methods for analyzing natural abundance of carbon and nitrogen isotopes, relating the data with changes in vegetation and in soil evolution. The soils are under Atlantic Forest in the state of Rio de Janeiro. There were selected four profiles in different environments, one in the municipality of Magé in the plains neighboring the Guanabara Bay, the second in Campos dos Goytacazes municipality, near *Lagoa Feia*, both in hot and humid climate and lowland plain relief. Two other soil profiles were located in Itatiaia municipality, in the highland section of the Itatiaia National Park, under cold weather and humid and mountainous vegetation environment. A series of analytical procedures were made: description and morphological characterization, analysis of chemical and physical properties, determination of carbon and nitrogen, chemical fractionation of humic substances, mineral material (MM), density of organic matter (DOM), minimum residue (MR), solubility in sodium pyrophosphate (SSP), determination of fibers and Von Post decomposition scale; plus the quantification of natural abundance of carbon isotopes (^{12}C and ^{13}C) and nitrogen (^{14}N and ^{15}N), and carbon dating by the method of ^{14}C . The RJ-01 profile was classified as *ORGANOSSOLO Tiomórfico Sáprico típico*, the RJ-02 as *ORGANOSSOLO Háptico Sáprico típico*, the RJ-03 as *ORGANOSSOLO Háptico Hêmico típico* and RJ-04 as *ORGANOSSOLO Fólico Sáprico cambissólico*, equivalent to Sulfosaprists (RJ-01) Haplosaprists (RJ-02), Haplohemists (RJ-03) and Udifolists (RJ-04), in the Soil Taxonomy (USDA-NRCS). The RJ-01 was significantly thicker and higher in carbon content in the subsurface. The RJ-02 profile was shallower, but had a higher organic matter deposition. The RJ-03 profile had the organic matter (OM) with the oldest C dating, in the range of 3351-3699 years at 40-50 cm. However, the RJ-04 profile stood out from the others because it had better soil drainage, higher degree of OM humification. Also, this profile had a variation of $\delta\delta$ of ^{13}C , indicating a change in local floristic composition with an increase of vegetation with C_3 photosynthetic cycle, which is a hint of climate change.

Keywords: Soil organic. Environmental reconstruction. Soil formation environment.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Processo de formação de Organossolos: (a) Aparecimento da vegetação nas bordas; (b) e (c) Colonização e acúmulo de resíduos; (d) Sucessão vegetal, espécies arbóreas; e (e) Drenagem para fins agrícolas. (Fonte: Brady, 1989).....	5
Figura 2. Processo de formação de Organossolo, (a) Aporte de material orgânico; Formação da camada orgânica (b); e Espessamento do horizonte orgânico (c).....	7
Figura 3. Distribuição de ^{13}C no ciclo do carbono (as flechas indicam o fluxo de CO_2 , os números, os valores de ^{13}C (‰) e os números nas flechas o fracionamento isotópico que ocorre durante a ciclagem). Os valores de COP são atribuídos aos teores de carbono orgânico particulado, e os de COD ao carbono orgânico dissolvido. (Peterson & Fry, 1987).	8
Figura 4. Distribuição de ^{15}N no ciclo do nitrogênio (as flechas indicam o fluxo de N, os números, os valores de ^{15}N (‰) e os números nas flechas o fracionamento isotópico que ocorre durante a ciclagem). Os valores de MOP são atribuídos aos teores de orgânica particulada (Peterson & Fry, 1987).	10
Figura 5. Indicação de fontes de material orgânico do solo através da relação entre os valores de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ do solo (Fonte: Horak, 2009; modificado de Peterson & Howarth, 1987).....	12
Figura 6. Indicação de fontes de material orgânico do solo através da relação entre os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e C/N do solo (Fonte: Horak, 2009; modificado de Meyers, 2003).	12
Figura 7. Etapas da formação natural do ^{14}C : soma de um nêutron ao ^{14}N , passando a ^{14}C , posterior incorporação aos organismos (vegetais e animais) e o decaimento radioativo após a morte dos mesmos (Fonte: Pessenda et al., 2001).....	13
Figura 8. Anel de Kopeck para determinação de densidade do solo (Ds) (a esquerda) e método do balão volumétrico para densidade da partícula (Dp) (a direita).	21
Figura 9. Analisador elementar CHN (TrueSpec Series: Carbon, Hydrogen, Nitrogen Elemental, Macro, LECO).....	23
Figura 10. Etapas da metodologia de determinação da solubilidade em pirofosfato de sódio.	26
Figura 11. Algumas etapas da determinação do conteúdo de fibras: medição do volume inicial (a), tamizamento para retirada do solo (b), diferença de volume entre amostras (c) e reempacotamento para aferição do volume final (d).....	27
Figura 12. Análise do material orgânico e visualização do volume e coloração do líquido.	28
Figura 13. Pré tratamento das amostras para análise de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio.....	30
Figura 14. Etapas da extração de humina, pré tratamento para remoção dos ácidos orgânicos.....	31
Figura 15. Localização do Município de Magé no Estado do Rio de Janeiro. (Fonte: Wikipédia, 2012)	34

Figura 16. Visão geral da área de estudo em Magé, ilustrando vegetação com predomínio de porte arbóreo.	35
Figura 17. Localização do Município de Campos dos Goytacazes no Estado do Rio de Janeiro. (Fonte: Wikipédia, 2014)	36
Figura 18. Paisagem na área de coleta do perfil de solo, enfatizando relevo e vegetação de porte herbáceo em campo higrófilo de várzea (Fotos: P.F.C. Soares)	37
Figura 19. Perfis de Organossolos, RJ-01 em Magé (esquerda) e RJ-02 em Campos dos Goytacazes (direita), ambos em ambiente de várzeas no Rio de Janeiro. (Foto: Soares, 2012/2013).....	38
Figura 20. Sequências de passos percorridos no SiBCS até a classificação no 4º nível taxonômico para o perfil RJ-01.	41
Figura 21. Sequências de passos percorridos no SiBCS até a classificação no 4º nível taxonômico para o perfil RJ-02.	42
Figura 22. Análise de agrupamento de atributos químicos com potencial de discernimento entre os perfis RJ-01 e RJ-02.....	43
Figura 23. Distribuição do conteúdo de Carbono, Nitrogênio, relação C:N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para os perfis RJ-01 e RJ-04 em função da profundidade.....	48
Figura 24. Relação existente entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para os perfis de Magé (RJ-01) e Campos dos Goytacazes (RJ-02).	49
Figura 25. Relação entre $\delta^{13}\text{C}$ e C:N para os perfis de Magé (RJ-01) e Campos dos Goytacazes (RJ-02).....	50
Figura 26. Localização do Município de Itatiaia no Estado do Rio de Janeiro. (Fonte: Wikipédia, 2014)	56
Figura 27. Paisagem da parte alta do PNI, com destaque para o Pico das Agulhas Negras, a formação rochosa símbolo do parque (Maciço Alcalino).	57
Figura 28. Paisagem de vale suspenso entre as prateleiras e o pico das Agulhas Negras no Parque Nacional do Itatiaia, enfatizando relevo e vegetação de porte herbáceo e de campo de altitude e o fundo de vale. (Fotos: L.H.C. Anjos, 2012)	58
Figura 29. Paisagem de terço inferior de encosta na área das prateleiras no Parque Nacional do Itatiaia, enfatizando relevo e vegetação de porte herbáceo e de campo de altitude e a elevada umidade do ar (em baixo a direita). (Fotos: L.H.C. Anjos, março de 2012).....	59
Figura 30. Perfis de Organossolos RJ-03 (esquerda) e RJ-04 (direita) na parte alta do Parque Nacional de Itatiaia, Itatiaia (RJ).....	60
Figura 31. Sequências de passos percorridos no SiBCS até a classificação no 4º nível taxonômico para no perfil RJ-03.	62
Figura 32. Sequências de passos percorridos no SiBCS até a classificação no 4º nível taxonômico para no perfil RJ-04.	63
Figura 33. Distribuição do conteúdo de carbono, nitrogênio, relação C:N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para os perfis de Itatiaia, em função da profundidade.....	68
Figura 34. Relação existente entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para os perfis de Itatiaia, RJ-03 e RJ-04.	69
Figura 35. Relação existente entre $\delta^{13}\text{C}$ e C:N para os perfis de Itatiaia, RJ-03 e RJ-04.....	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Processos pedogenéticos específicos, subprocessos ou reações, processos múltiplos, descrição resumida do processo e tipos de solos segundo o SiBCS (2013).	3
Tabela 2. Escala de Von Post, classificação do material orgânico em função do grau de decomposição (Extraído de Valladares, 2003).	29
Tabela 3. Abundância natural, razão isotópica e respectivos padrões usados na análise de isótopos estáveis.	30
Tabela 4. Informações sobre os perfis de Magé e Campos dos Goitacazes, paisagem, drenagem, elevação e coordenadas geográficas.	37
Tabela 5. Descrição de alguns atributos morfológicos de horizontes de Organossolos em Magé (RJ-01) e Campos dos Goitacazes (RJ-02).	40
Tabela 6. Caracterização química para os perfis de Magé e Campos dos Goytacazes.	43
Tabela 7. Valores de carbono, hidrogênio e nitrogênio ¹ e relação C/N; teores de C nas frações das substâncias húmicas e relação do extrato alcalino C-FAH/C-FAF em Organossolos em Magé (RJ-01) e Campos dos Goitacazes (RJ-02).	45
Tabela 8. Valores de Densidade do solo (Ds), Densidade da Partícula (Dp), Densidade da Matéria Orgânica (DMO), Resíduo Mínimo (RM), Umidade Gravimétrica (%U), Material Mineral (MM), Volume Total de Poros (VTP) e conteúdo de Matéria Orgânica (MO) em função dos horizontes.....	46
Tabela 9. Datação radiométrica a partir de ¹⁴ C da fração húmica para os perfis de Magé (RJ-01) e Campos dos Goytacazes (RJ-02).	50
Tabela 10. Informações sobre os perfis de Itatiaia (RJ), paisagem, drenagem, elevação e coordenadas geográficas.	58
Tabela 11. Descrição dos atributos morfológicos dos Organossolos altomontanos do Parque Nacional de Itatiaia, RJ.	61
Tabela 12. Caracterização química de rotina para os perfis de Itatiaia.	64
Tabela 13. Valores de carbono, hidrogênio e nitrogênio ¹ e relação C/N; teores de C nas frações das substâncias húmicas e relação do extrato alcalino C-FAH/C-FAF em Organossolos em ambiente altomontano no Parque Nacional de Itatiaia, RJ.	65
Tabela 14. Valores de Umidade Gravimétrica (%U), Densidade da Matéria Orgânica, Resíduo Mínimo e Material Mineral, Valores de Resíduo Mínimo, da Matéria Orgânica, Densidade do solo (Ds) e Densidade da Partícula (Dp).....	67
Tabela 15. Datação radiométrica a partir de ¹⁴ C da fração húmica para os perfis RJ-03 e RJ-04 de Itatiaia.	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REVISÃO DE LITERATURA GERAL	2
2.1 Classificação dos Organossolos.....	2
2.2 Gênese dos Solos Orgânicos.....	3
2.2.1 Paludização: gênese do horizonte H	4
2.2.2 Acumulações de liteira: gênese do horizonte O.....	6
2.3 Técnicas Isotópicas de C e N.....	7
3 CAPÍTULO I - PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE ORGANOSSOLOS.....	14
3.1 RESUMO.....	15
3.2 ABSTRACT	15
3.3 INTRODUÇÃO.....	17
3.4 AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DOS ORGANOSSOLOS	17
3.4.1 Descrições dos Perfis e Amostragem	17
3.4.2 Atributos Químicos.....	19
3.4.3 Atributos Físicos	20
3.4.4 Análises da Matéria Orgânica do Solo (MOS).....	22
3.4.5 Substâncias Húmicas	24
3.4.6 Caracterizações dos Atributos Específicos dos Organossolos.....	25
3.5 TÉCNICAS ISOTÓPICAS	26
3.6 CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ORGANOSSOLOS	27
4 CAPÍTULO II - GÊNESE DOS ORGANOSSOLOS EM AMBIENTE DE CLIMA QUENTE E ÚMIDO E RELEVO PLANO DE VÁRZEA	30
4.1 RESUMO.....	31
4.2 ABSTRACT	32
4.3 INTRODUÇÃO.....	33
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	34
4.4.1 Caracterização do Meio Físico.....	34
4.4.2 Análises para Caracterização dos Organossolos.....	37
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.5.1 Caracterização Morfológica e Classificação dos Solos	38
4.5.2 Atributos Químicos	41
4.5.3 Determinação da Matéria Orgânica do Solo.....	44
4.5.4 Avaliações Específicas para Caracterização de Organossolos	46
4.5.5 Técnicas Isotópicas	47
4.6 CONCLUSÕES	51
5 CAPÍTULO III - GÊNESE DOS ORGANOSSOLOS EM AMBIENTE DE CLIMA FRIO E ÚMIDO E VEGETAÇÃO ALTOMONTANA	52
5.1 RESUMO	53
5.2 ABSTRACT.....	54
5.3 INTRODUÇÃO	55
5.4 MATERIAIS E MÉTODOS	56

5.4.1	Caracterização do Meio Físico	56
5.4.2	Análises para Caracterização dos Organossolos.....	59
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
5.5.1	Caracterização do Morfológica e Classificação dos Solos	34
5.5.2	Atributos Químicos.....	63
5.5.3	Determinação da Matéria Orgânica do Solo.....	64
5.5.4	Avaliações Específicas para Caracterização dos Organossolos	66
5.5.5	Técnicas Isotópicas	67
5.6	CONCLUSÕES	71
6	CONCLUSÕES GERAIS.....	72
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
8	ANEXOS	80

1 INTRODUÇÃO GERAL

As alterações ambientais que ocorreram ao longo do tempo no território brasileiro, em especial no clima e em fatores e processos que originaram e modificaram as superfícies geomórficas, impuseram características específicas a paisagem e influenciaram diretamente os processos pedogenéticos. Os solos foram influenciados por esse ambiente e os atributos pedogenéticos, que são registrados na sua classificação, refletem essas variações.

O Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS) identifica treze classes de solos no nível hierárquico mais elevado, o de Ordem. Dentre essas, os Organossolos se destacam pelos elevados teores de carbono em relação às demais classes, que são agrupadas de forma generalizada como solos minerais. A gênese dos Organossolos é regida por fatores de formação comuns às demais classes; no entanto, se destaca a atuação dos organismos, influenciados pelo clima e relevo. Os organismos são responsáveis pela contínua adição de matéria orgânica e as condições de clima e relevo favorecem a acumulação desta em detrimento da sua decomposição, conduzindo assim a acumulação de material orgânico.

Registros na literatura apontam que os solos orgânicos no território brasileiro formaram-se no Período Quaternário (Holoceno). Assim, pela sua forte interação com os fatores organismos e alterações recentes no clima, pressupõe-se que os Organossolos podem conter registros e informações importantes para reconstrução paleoambiental dos ambientes nesse Período, tais como: tempo de formação, vegetação de origem e variações no clima.

Para o estudo foi selecionado o Bioma Mata Atlântica, no Estado do Rio de Janeiro, em dois ambientes, de clima frio e úmido e vegetação altomontana, na parte alta do Parque Nacional de Itatiaia (PNI), e clima quente e úmido, relevo plano de várzea, nos municípios de Magé e Campos dos Goytacazes. Todas as áreas possuem mínima intervenção antrópica.

O estudo apresenta as seguintes hipóteses: (i) a diferenciação dos Organossolos é função da composição florística e do processo sucessional; (ii) os atributos edáficos se modificam de acordo com a posição da paisagem; e (iii) as técnicas isotópicas podem ser usadas para caracterizar o processo de evolução dos Organossolos.

O objetivo geral do estudo foi caracterizar e classificar Organossolos e verificar a influência da sua gênese sobre os atributos edáficos, analisando as propriedades físicas e químicas; ainda a aplicação de métodos de análise da abundância natural de isótopos de carbono e nitrogênio, relacionando-as as alterações na vegetação e na evolução do solo.

Para isso foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: (i) Caracterizar e avaliar os atributos dos Organossolos nos distintos ambientes, no Bioma Floresta Atlântica; (ii) Identificar os fatores e processos que mais influenciaram a pedogenese; (iii) Utilizar técnicas isotópicas de ^{14}C para datação do carbono no solo e ^{13}C e ^{15}N para a diferenciação dos grupos fotossintéticos que contribuíram com material orgânico e influenciaram a formação dos Organossolos; e (iv) Inferir sobre alterações ambientais que ocorreram durante a evolução dos Organossolos.

A tese, quanto aos produtos da pesquisa, está organizada em um primeiro Capítulo de Procedimentos Metodológicos, incluído devido às especificidades dos métodos diferenciados de coleta e análise em Organossolos, e dois outros Capítulos: II. Gênese dos Organossolos em ambiente de clima quente e úmido e relevo plano de várzea; e III. Gênese dos Organossolos em ambiente de clima frio e úmido e vegetação altomontana.

2 REVISÃO DE LITERATURA GERAL

2.1 Classificação dos Organossolos

O Sistema Brasileiro de Classificação do Solo – SiBCS é o sistema de classificação vigente no Brasil (Santos et al., 2013a). Consiste em um sistema taxonômico hierárquico que foi estruturado com base em características morfológicas distintas, que são expressas em função dos processos pedogenéticos. As interações que ocorrem entre os fatores de formação determinam as particularidades de cada solo originando assim diferenças entre as ordens do sistema. Seguindo os preceitos do SiBCS, a ordem Organossolo é definida pela presença de teores elevados de material orgânico, podendo conter proporções variáveis dos constituintes minerais.

Em seguida foram transcritos do SiBCS a definição e os critérios da ordem Organossolos e respectivas subordens:

“A classe de solos constituídos por material orgânico proveniente de acumulação de restos de vegetais em grau variável de decomposição, acumulados em ambientes mal a muito mal drenados, ou em ambientes úmidos de altitude elevada, que estão saturados com água por poucos dias no período chuvoso. É identificado pela coloração preta, cinzenta, muito escura ou marrom e os elevados teores de carbono orgânico” (Santos et al., 2013a).

i) Ordem: ORGANOSSOLO

Solos constituídos por material orgânico (conteúdo de carbono orgânico maior ou igual a 80 g kg^{-1} de TFSA), que apresentam horizonte hístico, satisfazendo os seguintes critérios:

a) 60 cm ou mais de espessura se 75 % (expresso em volume) ou mais do material orgânico consiste de tecido vegetal na forma de restos de ramos finos, raízes finas, cascas de árvores, etc., excluindo as partes vivas; ou

b) solos que estão saturados com água no máximo por 30 dias consecutivos por ano, durante o período mais chuvoso, com horizonte O hístico, apresentando as seguintes espessuras:

- 20 cm ou mais, quando sobrejacente a um contato lítico ou a material fragmentar constituído por 90 % ou mais (em volume) de fragmentos de rocha (cascalhos, calhaus e matações); ou

- 40 cm ou mais quando sobrejacente a horizontes A, B ou C; ou

c) solos saturados com água durante a maior parte do ano, na maioria dos anos, a menos que artificialmente drenados, apresentando horizonte H hístico com a seguinte espessura:

- 40 cm ou mais, quer se estendendo em seção única a partir da superfície do solo, quer tomado cumulativamente dentro dos 80 cm superficiais.

ii) Subordens

- ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO

Solos que apresentam horizonte sulfúrico e/ou materiais sulfídricos dentro de 100 cm da superfície do solo.

- ORGANOSSOLO FÓLICO

Solos que estão saturados com água, no máximo por 30 dias consecutivos por ano, durante o período mais chuvoso, e que apresentam horizonte O hístico. Localizam-se em ambientes de clima úmido, frio e de vegetação altomontana.

- ORGANOSSOLO HÁPLICO

Outros solos que não se enquadram nas classes anteriores.

2.2 Gênese dos Solos Orgânicos

A gênese do solo é regida pela interação entre os fatores e mecanismos (processos múltiplos) de formação e pela intensidade com que ocorrem, culminando na expressão dos processos pedogenéticos específicos. Por sua vez, esses processos imprimem determinadas feições que são avaliadas no perfil, entre elas as propriedades morfológicas do solo, tais como: espessura de horizontes, cor, textura, estrutura (Buol et al., 1980). Analisando as feições morfológicas e relacionando às características físicas, químicas e mineralógicas, é possível identificar os processos e mecanismos que influenciaram a formação do solo. Também é possível inferir sobre a história pregressa do solo.

Entre os fatores que influenciam a pedogênese estão os organismos, o clima e o relevo, que ocupam lugares de destaque e controlam os processos pedogenéticos de formação nos Organossolos (Pereira et al., 2005). Em conjunto, eles determinam a composição da vegetação e com que intensidade o material orgânico será depositado ou transformado e como ocorrerá a sucessão da vegetação (Waksman, 1942). A gênese dos Organossolos está diretamente associada a ambientes de formação em que o aporte de resíduos orgânicos é maior que a taxa de decomposição.

Os Organossolos podem ser formados via dois processos pedogenéticos com características bastante distintas, que ocorrem em ambientes diferentes. Um deles é o processo de paludização, no qual há necessidade de presença constante de água no perfil e o outro processo ocorre em condições de clima frio com boa drenagem. Em seguida têm-se os processos múltiplos que atuam na adição de material orgânico ao solo e na transformação da matéria orgânica (Tabela 1). No entanto, os processos pedogenéticos específicos para a formação dos Organossolos são condicionados pela intensidade relativa com que ocorrem os subprocessos junto aos processos múltiplos (Simonson, 1959; Buol et al., 1980). Os resíduos animais e vegetais frescos são constantemente depositados na superfície do solo e na sequência se inicia o processo de humificação da matéria orgânica (Simonson, 1959).

Tabela 1. Processos pedogenéticos específicos, subprocessos ou reações, processos múltiplos, descrição resumida do processo e tipos de solos segundo o SiBCS (2013).

Processos pedogenéticos específicos	Subprocessos ou reações	Processos múltiplos	Descrição resumida do Processo	SiBCS (2013)
Paludização	Anaerobiose, redução	Adição, transformação	Acumulação de MO em ambientes alagados	Organossolos com horizonte H
Acumulação de liteira		Adição, transformação	Acumulação de MO em ambientes frios	Organossolos com horizonte O

*extraído e adaptado de Ker et al. (2012).

O entendimento da gênese dos Organossolos é essencial para estudo de suas características, tendo em vista a importância ambiental nos locais no qual estão inseridos (Cipriano-Silva et al., 2014). A interferência antrópica nos ecossistemas naturais com Organossolos produz grandes mudanças na dinâmica da matéria orgânica (Stevenson, 1994; em geral com redução nos estoques de carbono e modificações na qualidade/ estrutura da matéria orgânica do solo (MOS) ao longo do tempo (Ebeling et al., 2011). Como os Organossolos podem ser formados em dois ambientes distintos, a forma com que ocorre a

manutenção e o acúmulo da MOS também é diferenciada, sendo os dois processos pedogenéticos específicos descritos a seguir.

2.2.1 Paludização: gênese do horizonte H

A característica marcante do processo de paludização é a presença contínua de água ao longo do ano em grande parte do perfil. Segundo Waksman (1942) paludização é o processo de desenvolvimento e evolução dos solos orgânicos, que tem início através da deposição de detritos vegetais e animais que durante um tempo se acumulam preenchendo, ainda que lentamente, uma depressão qualquer. Os primeiros vegetais a dar origem a colonização da área são as algas que posteriormente são substituídas por plantas aquáticas, essas duas em geral formam as camadas iniciais da turfa.

Esse ambiente descrito é altamente favorável ao acúmulo de material orgânico, onde em seguida passa a ser colonizado por plantas adaptadas como espigas-d'água (*Potamogeton*), tifa (*Typha*), ciperáceas (*Carex*), juncos (*Phragmites*), poáceas, musgos (*Sphagnum*) e arbustos, podendo ou não chegar até vegetação arbórea (Brady, 1989). Com o passar do tempo, inúmeras gerações desses vegetais prosperam, morrem e submergem, proporcionando uma sucessão vegetal. Conforme o desenvolvimento da vegetação, camadas de resíduos vegetais distintos são empilhadas. Esta colonização faz com que a depressão se torne cada vez mais rasa, permitindo que em uma fase mais avançada ocorra a invasão da depressão pela vegetação periférica, que neste caso é constituída por gramíneas, ciperáceas, juncos (Brady, 1989). No estágio em que a depressão encontra-se parcialmente preenchida formando um pântano/brejo os resíduos vegetais estão quase que constantemente cobertos por água, caracterizando o ambiente como hidromórfico.

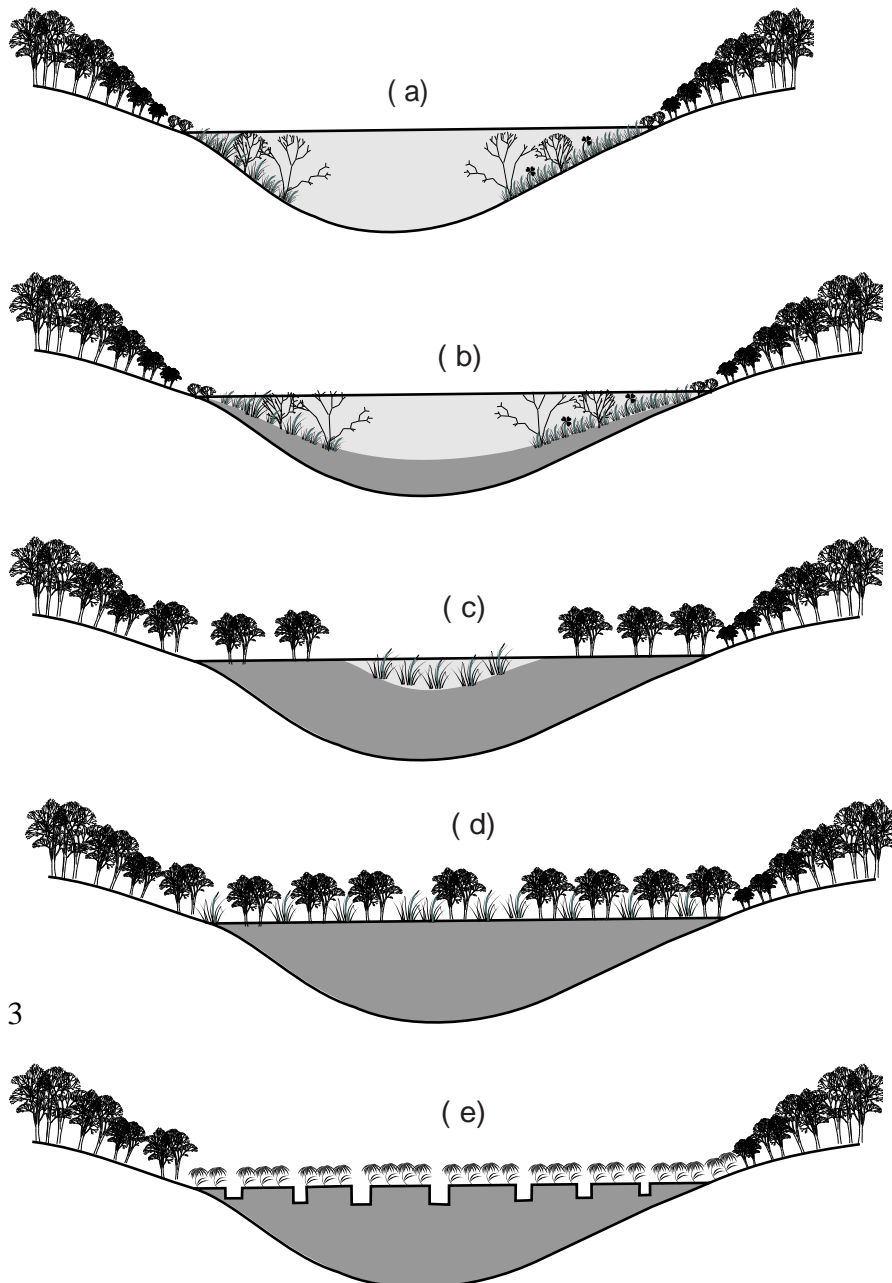
Nessas condições, o material orgânico é principalmente degradado por via anaeróbia sendo favorecida pela inibição da atividade dos microorganismos pela ausência de oxigênio e/ou condições de distrofismo passando a ser gradativa as transformações da MOS e em menor velocidade, acumulando o material turfoso (Ebeling et al., 2008; Fontana et al., 2008; Schultz et al., 2011; Loss, et al., 2015; Soares et al., 2015). No caso de variação repentina no lençol freático o crescimento da vegetação de porte maior (árvores) pode cessar e retornando a ocupação da vegetação adaptada e reaparecimento de plantas aquáticas iniciando-se um novo período de deposição, havendo rejuvenescimento dos Organossolos.

Desta forma pode ocorrer o empilhamento de material orgânico de diferentes origens vegetais (alternando grupos fotossintéticos C₃ e C₄) que posteriormente levará formação de horizontes ou camadas de diferentes constituições nos Organossolos (Lorente et al., 2015). Esse empilhamento de resíduos com características diversas e a manutenção desse material ao longo do tempo torna os solos orgânicos um componente relevante para registros paleoambientais, já que conservam boas evidências sobre a história/evolução do solo, pois os restos vegetais foram preservados no decorrer de seu desenvolvimento.

Por se caracterizar pelo preenchimento de depressões em uma sucessão de eventos, alguns autores consideram a paludização um processo mais geogênico do que pedogênico, que conduz a deposição e acumulação de turfas, as quais constituem o material de origem para a gênese dos Organossolos (Pereira et al., 2005). Nesse ambiente, o relevo é um fator determinante na pedogênese e influencia os demais fatores de formação. O relevo, na forma de bacia de sedimentação, favorece a deposição do material orgânico e condiciona a presença constante do lençol freático. Em função da preservação do material orgânico os Organossolos formados através da paludização informam sobre a cronologia (datação de humina via ¹⁴C), a sucessão vegetal (determinação de grupos fotossintéticos por discriminação isotópica) e a estrutura da paisagem.

A influência da vegetação na formação do solo orgânico via processo pedogenético de paludização pode ser vista na Figura 1. Inicialmente existe uma zona de depressão (que

pode ser um lago, uma lagoa, canais de drenagem inutilizados ou até mesmo meandros abandonados) com indícios de ocupação por plantas aquáticas (Figura 1.a); com o passar do tempo ocorre acúmulo de restos vegetais no fundo da depressão (Figura 1.b); com a diminuição da lamina de água vegetais adaptados colonizam a depressão (Figura 1.c); na sequência o material orgânico preenche toda a depressão restando apenas plantas terrestres (Figura 1.d); e caso o solo passe a ter uso agrícola a primeira prática realizada é a drenagem (Figura 1.e).



1. Processo de formação de Organossolos: (a) Aparecimento da vegetação nas bordas; (b) e (c) Colonização e acúmulo de resíduos; (d) Sucessão vegetal, espécies arbóreas; e (e) Drenagem para fins agrícolas. (Fonte: Brady, 1989).

2.2.2 Acumulações de liteira: gênese do horizonte O

O processo pedogenético de formação dos Organossolos via acumulação de liteira em zonas tropicais ocorre em áreas de maior elevação, nos chamados ambientes altomontanos (Pereira et al., 2005; Benites et al., 2007, Silva et al., 2009, Scheer et al., 2011, Bispo et al., 2015). Esses ambientes estão situados acima da cota de 2000 metros (MMA, 2002) onde a principal característica é o clima úmido e frio durante grande parte do ano. Esse conjunto de características específicas relacionadas à altitude proporciona o acúmulo de material orgânico, pois nessas condições os microorganismos diminuem sua atividade metabólica desfavorecendo a decomposição do material vegetal levando a acumulação de material e espessamento da camada orgânica (Zech et al., 1997; Benites et al., 2007; Silva et al., 2013; Bispo et al., 2015). O aporte de MOS se mantém, porém a taxa de decomposição passa a ser menor e assim favorecendo a sua acumulação.

A vegetação altomontana é comumente classificada como de campos de altitude com espécies herbáceas adaptadas as baixas temperaturas e a umidade elevada; em alguns casos pode ser encontrada vegetação de porte maior (Veloso et al., 1991). No entanto, o aporte do material orgânico para a formação dos Organossolos se caracteriza pela acumulação de folhas, galhos finos, raízes, cascas, entre outros resíduos que apresentam graus distintos de decomposição. Uma característica muito importante quanto a esse processo é que ocorre em condições preponderantes de drenagem livre, influenciada pelo relevo.

Esses Organossolos na maioria dos casos estão associados a substrato rochoso raso ou mesmo afloramentos rochosos adjacentes e ao ecossistema denominado de Complexo Rupestre de Altitude (Benites et al., 2007). Em geral, esses solos são pouco desenvolvidos (Simas et al., 2005; Benites et al., 2007, Silva et al., 2009; Scheer et al, 2011; Soares et al., 2015), com os horizontes orgânicos apresentando teores de carbono próximos ao limite inferior da ordem, com espessura reduzida e em contato com horizontes minerais (Bi ou Cr) de drenagem livre. Atuam na regulação do fluxo hídrico armazenando água e liberando lentamente ao longo do tempo (Benites et al., 2007) no período chuvoso a camada de material vegetal é encharcada, porém o solo é drenado e gradualmente nos períodos de seca a vegetação intercepta a água mantendo a umidade ainda elevada.

Scheer et al. (2011) caracterizando o ambiente altomontano da Serra da Igreja no Paraná, observou que os Organossolos ocupavam as cumeeiras e estavam em rampas com pouca declividade (8%), onde os processos pedogenéticos promoveram maior espessura de horizontes hísticos. Segundo os autores, os Organossolos dessa região são distróficos, extremamente ácidos, com alta saturação por Al trocável e o solo condiciona a vegetação atual; em que as baixas densidades somadas às condições de hidromorfia plena e/ou sazonal proporcionam restrição a colonização desse ambiente por fitofisionomia de porte arbóreo.

Pesquisando solos associados a afloramentos rochosos nas Serras do Espinhaço e da Mantiqueira, Benites et al. (2007) encontraram Organossolos pouco desenvolvidos junto a afloramentos rochosos e verificaram que suas propriedades eram fortemente influenciadas pelos materiais de origem. Quanto à vegetação também se encontravam sob campos de altitude e as propriedades foram semelhantes ao estudo anterior (distróficos, extremamente ácidos, com alta saturação por Al trocável, com baixa densidade da cobertura vegetal), estando ou não sob condições de hidromorfismo.

Os Organossolos formados via acumulação de liteira em zona tropical apresentam diversidade de características pedológicas e possuem grande importância ecológica e ambiental para a conservação destes ambientes. Esses solos ainda são pouco estudados (Simas et al., 2005; Arteaga et al., 2008) e, por isso, sua importância ainda não é devidamente conhecida (Benites et al., 2007; Scheer et al., 2011), porém a maioria tem alto potencial de degradação, nas condições climáticas atuais, e é altamente vulnerável diante de intervenção antrópica, a qual é fator de aceleração da degradação.

A influência da vegetação na formação do solo orgânico através da acumulação de liteira é ilustrada na Figura 2, que representa área situada em ambiente altomontano. Inicialmente existe uma rampa com pouca declividade e com vegetação com potencial de aporte de material orgânico, nesse caso de campo de altitude (Figura 2.a); com o passar do tempo ocorre acúmulo de restos vegetais sobre a superfície (Figura 2.b), favorecendo o desenvolvimento e sucessão das espécies vegetais, fazendo com que a camada orgânica se torne mais espessa na medida em que mais material orgânico é adicionado (Figura 2.c).

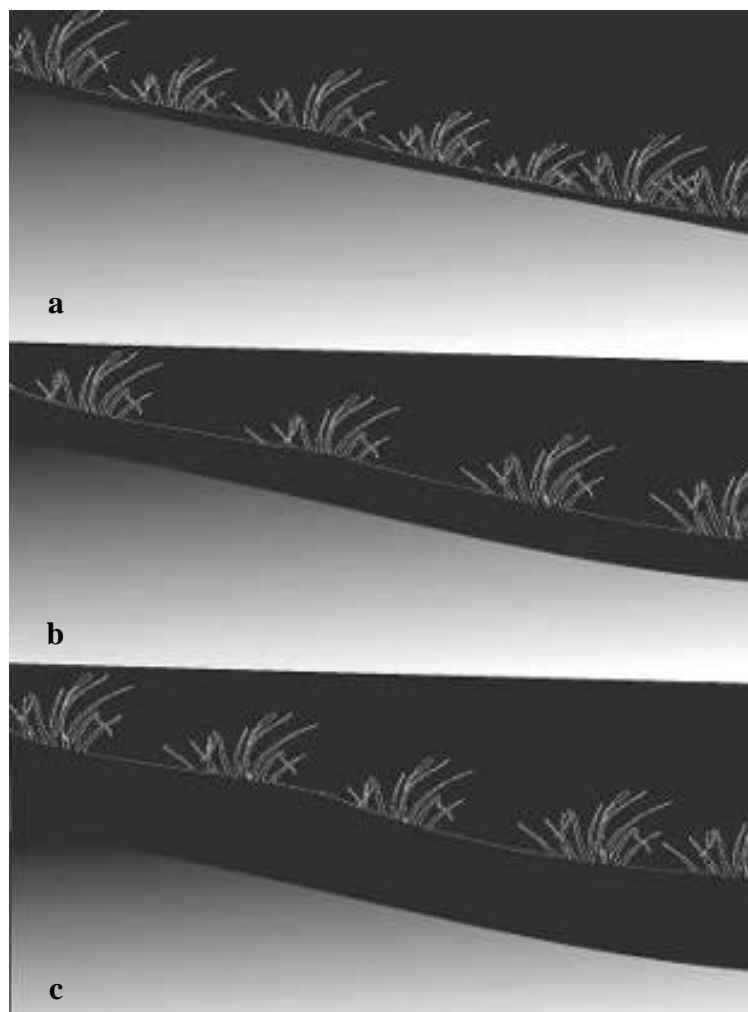


Figura 2. Processo de formação de Organossolo, (a) Aporte de material orgânico; Formação da camada orgânica (b); e Espessamento do horizonte orgânico (c).

2.3 Técnicas Isotópicas de C e N

O termo “isótopo” tem origem do grego, onde “isos” significa igual e “topos” lugar, se referindo a um local específico que é comum a um elemento na tabela periódica, e alguns elementos químicos exibem o mesmo número atômico, mas com diferentes massas atômicas (Suguio, 2008).

Na natureza a taxa de ocorrência do isótopo é quase constante, pois sua variação é muito pequena, dessa forma os elementos que estão presentes nos ecossistemas conseguem refletir de forma integrada a história pregressa do ambiente (via processos físicos e metabólicos, determinação de via fotossintética: C_3 e C_4). A abundância natural com que os isótopos se apresentam na natureza é estudada em função das pequenas quantidades do elemento e a relação existente entre eles (Suguio, 2008), esses índices são utilizados nas

pesquisas de mudanças ambientais. Isso ocorre porque as propriedades químicas dos isótopos são as mesmas já que é o mesmo elemento, no entanto as propriedades físicas tais como densidade, ponto de fusão e ligações com outros elementos diferem, pois elas dependem da massa do isótopo (Martinelli et al., 2009). Assim, com base nas propriedades físicas é possível separar os elementos através de um espectrômetro de massa.

A evolução de técnicas isotópicas vem crescendo nas últimas três décadas com a aplicação nos mais diferentes campos da ciência (Pereira et al., 2007), expansão esta pela sua eficiência de resposta. Entre os vários estudos, as técnicas isotópicas atualmente vêm sendo aplicadas na reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) e não apresentarem restrições de ambientes, podendo ainda ser empregadas em todos os solos (Pessenda, 2005). As técnicas isotópicas mais frequentes consistem na aplicação dos isótopos do carbono (^{12}C , ^{13}C , ^{14}C) e nitrogênio (^{14}N , ^{15}N) do solo (Pessenda et al., 1998). Mas também são desenvolvidos estudos com outros elementos, como O, C, N e S.

Para este estudo foram utilizados os isótopos de C (^{12}C , ^{13}C e ^{14}C) e N (^{14}N e ^{15}N). Portanto, algumas informações são apresentadas a seguir sobre esses métodos e suas interpretações.

a) Isótopos estáveis de carbono (^{12}C , ^{13}C)

O carbono é representado na tabela periódica com número atômico 6 e número de massa atômica 12, porém esse elemento apresenta dois isótopos estáveis (^{12}C e ^{13}C) que ocorrem naturalmente nas seguintes proporções ^{12}C :98.89 % e ^{13}C :1.11 %, além de quatro isótopos instáveis (^{10}C , ^{11}C , ^{14}C e ^{15}C) em proporções muito pequenas (Martinelli et al., 2009). O ciclo do C é dinâmico e envolve atividades constantes de trocas entre a atmosfera, os ecossistemas terrestres e a parte superficial dos oceanos (Figura 3, Peterson & Fry, 1987).

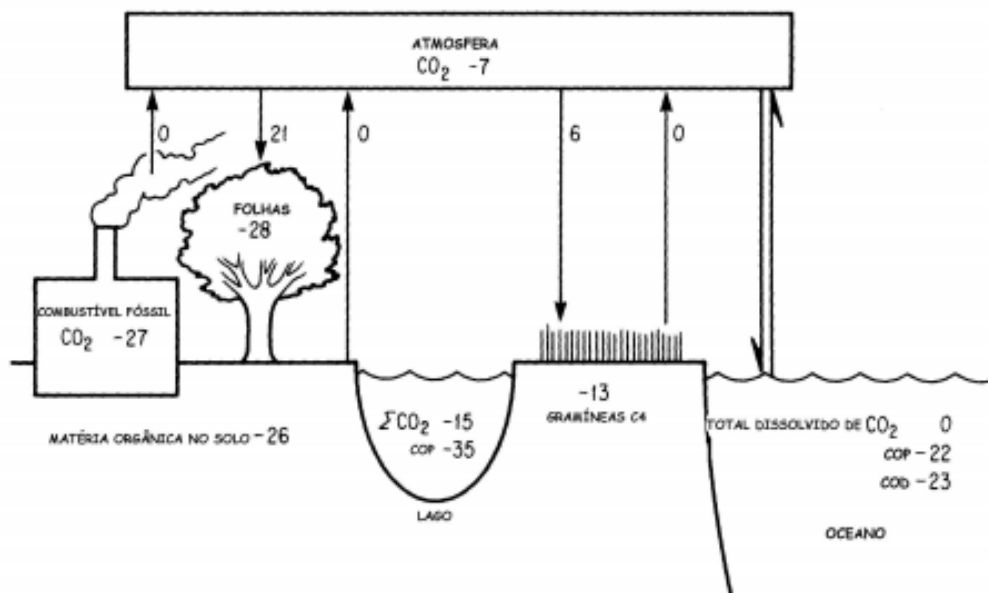


Figura 3. Distribuição de ^{13}C no ciclo do carbono (as flechas indicam o fluxo de CO_2 , os números, os valores de ^{13}C (‰) e os números nas flechas o fracionamento isotópico que ocorre durante a ciclagem). Os valores de COP são atribuídos aos teores de carbono orgânico particulado, e os de COD ao carbono orgânico dissolvido. (Peterson & Fry, 1987).

Para estudos de reconstrução ambiental conhecer o processo de fracionamento isotópico é imprescindível, pois fornece informações para a compreensão da dinâmica da matéria orgânica no ecossistema. No entanto, o fracionamento dos isótopos do carbono

natural é pequeno nos vegetais e como consequência, na matéria orgânica do solo (MOS). À medida que ocorre o fracionamento isotópico são atribuídos valores, os deltas, sendo estes índices a base para interpretação de dados em pesquisas que utilizam isótopos estáveis. Os deltas são usados para classificar os vegetais terrestres em três grupos fotossintéticos de plantas: C₃, típico de vegetação com predomínio de espécies florestais arbóreas; C₄, típico de vegetação de campo com predomínio de poáceas; e CAM com presença de cactáceas (Meyers, 1994; Lorente et al., 2014).

O fracionamento isotópico do carbono acontece naturalmente através da fotossíntese (Martinelli et al., 2009) diferenciando os grupos pela forma com que assimilam carbono. A interpretação da análise tem como base a diferenciação do grupo fotossintético para determinar a fonte do material orgânico adicionado, ou seja, que deu origem a MOS. Desta forma, pode-se inferir sobre a vegetação passada, se houve mudança de predomínio de grupos fotossintéticos ao longo do tempo ou ainda se o ambiente foi colonizado por uma mistura de plantas dos dois grupos, C₃ e C₄ (Meyers, 1994; Lorente et al., 2014).

A indicação do grupo fotossintético é feita de acordo com os valores de $\delta^{13}\text{C}$ onde as plantas C₃ apresentam valores na faixa de -35 a -22 ‰ (média de -27 ‰), cerca de 20‰ mais negativas que a fonte de carbono inicial que é o CO₂ atmosférico (com delta de -7,4‰), assim se verifica o empobrecimento desse elemento. Em contraste, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ em plantas C₄ que variam de -16 ‰ a -9 ‰ (média de -13 ‰). Portanto, as plantas C₃ e C₄ têm valores distintos de $\delta^{13}\text{C}$ e diferem em cerca de 14 ‰ (Pessenda et al., 2004; Martinelli et al., 2009). Já os valores intermediários indicam tendências de mudança de ambiente ou o compartilhamento de um dado ambiente por ambos os tipos ao longo do tempo.

Nas plantas do ciclo C₃ (ou Ciclo de Calvin) a diferenciação de carbono ocorre em duas etapas do processo fotossintético: a difusão/dissolução e a carboxilação. No segundo passo a carboxilação é realizada pela enzima ribulose-1,5 bifosfato carboxilase (RUBISCO) sendo ela responsável por elevado fracionamento devido a sua grande afinidade por ¹²CO₂, como consequência a planta C₃ é empobrecida em carbono pesado (Gannes et al., 1998). Enquanto nas plantas do ciclo C₄ (via fotossintética Hatch-Slack) a enzima de carboxilação fosfenolpiruvato (PEP) carboxilase reduz o CO₂ a ácido aspártico ou málico, discriminando menos contra o ¹³C. A discriminação isotópica que ocorre no processo de fotossíntese foi relatada por Smith & Epstein (1971) para diversos grupos de plantas.

Outro aspecto que reforça a utilização dessa técnica é a confiabilidade dos resultados para avaliar mudanças na vegetação, ainda mais pela possibilidade de uso conjunto com a datação de humina via ¹⁴C (Pessenda, 2005). Para tal, é necessário que a área apresente cobertura vegetal sem intervenção e tenha espessura mínima do solo ou material depositado para que a cronologia possa ser determinada. Ao associar os resultados da relação ¹³C/¹²C com a datação pelo ¹⁴C é possível inferir sobre a vegetação e as eventuais mudanças no ambiente no passado.

Vidotto et al. (2007), em estudo de reconstrução ambiental no Amazonas, analisando a dinâmica floresta campo através da junção de estudos isotópicos e fitossociológicos, associou dados de ¹³C com a cronologia do ¹⁴C para indicar o predomínio de plantas C₃ no início do Holoceno em ambos os ecótonos. Determinando a idade em que houve alteração no clima através das mudanças nos valores de ¹³C. Ainda de acordo com esse estudo, de 7000 a 3000 anos AP houve predomínio de plantas C₄ e de 3000 anos AP em diante um aumento de plantas C₃, indicando o clima mais úmido.

Essas análises indicam o tipo de vegetação e, como os grupos fotossintéticos C₃ e C₄ são fisiologicamente e ecologicamente distintos, informam sobre as condições existentes na época de colonização do solo (Sisti et al., 2004; Alves et al., 2005; Jantalia et al., 2007; Pinheiro et al., 2010, Loss et al., 2014) tornando plausível a reconstrução do ambiente de formação dos Organossolos.

b) Isótopos estáveis de nitrogênio (^{14}N , ^{15}N)

O nitrogênio é representado na tabela periódica com número atômico 7 e número de massa atômica 14, porém esse elemento apresenta dois isótopos estáveis (^{14}N e ^{15}N) ocorrendo nas seguintes proporções ^{14}N : 99,63% e ^{15}N : 0,37 % (Martinelli et al., 2009). O ciclo do nitrogênio diferentemente do carbono não está limitado a uma única fonte (como o CO_2), a dinâmica no N envolve número maior de compostos, assim, as plantas podem receber N da atmosfera via fixação biológica e via deposição seca e/ou úmida desse elemento, Figura 4 (Martinelli et al., 2009).

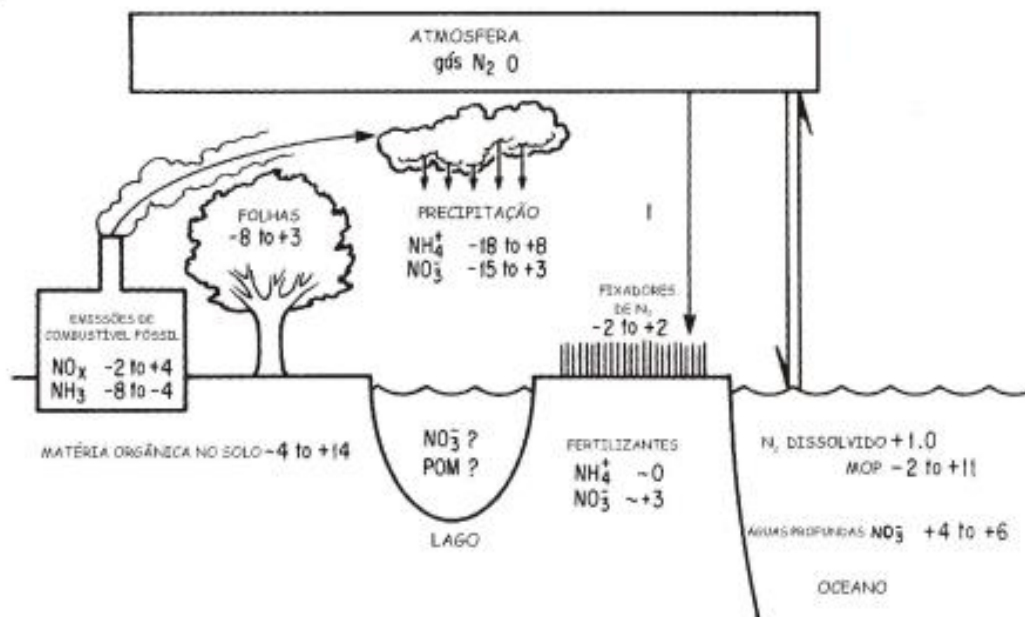


Figura 4. Distribuição de ^{15}N no ciclo do nitrogênio (as flechas indicam o fluxo de N, os números, os valores de ^{15}C (‰) e os números nas flechas o fracionamento isotópico que ocorre durante a ciclagem). Os valores de MOP são atribuídos aos teores de matéria orgânica particulada (Peterson & Fry, 1987).

O enriquecimento nos valores de ^{15}N permite inferir sobre o ambiente em que a vegetação se originou. Pois em ambientes aquáticos o fracionamento isotópico ocorre de maneira diferenciada da vegetação terrestre, dessa forma os isótopos de nitrogênio funcionam como marcadores para a matéria orgânica do solo fornecendo informações quanto a sua origem (Peterson & Fry, 1987). Também são eficientes para diferenciar a matéria orgânica em sedimentos /solo (Meyers, 2003).

A utilização dos valores de ^{15}N para identificar as fontes de matéria orgânica é baseada na diferença entre o ^{14}N e o ^{15}N , sendo estabelecida uma razão entre as proporções $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ existentes nos reservatórios de nitrogênio disponíveis, tanto aquáticas quanto terrestres. A diferença entre as duas fontes de nitrogênio é fortemente preservada na matéria orgânica do solo, com o valor para algas próximo a +8,5‰ e para as plantas terrestres de +0,5‰. (Peterson & Howarth, 1987). Durante as etapas da dinâmica do N ocorre o fracionamento natural do nitrogênio proporcionando a variação da concentração de ^{15}N oriundo de fontes naturais por variações atribuídas aos processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, pelas associações com microorganismos, pelas diferentes fontes de N utilizadas na agricultura e pela diferença na demanda de N pelas plantas (Hogberg, 1997).

As algas (fitoplânctons), tanto marinhas quanto as de água doce, utilizam como principal fonte o nitrogênio dissolvido. Esse elemento é mais abundante em proteínas e

ácidos nucleicos, os quais são encontrados principalmente em plantas não vasculares, por exemplo, algas, fitoplâncton e bactérias. Já as plantas vasculares (principalmente terrestres), possuem a lignina e a celulose como componentes dominantes e são pobres em nitrogênio (Talbot & Johannessen, 1992), explicando assim a tendência ao enriquecimento de ^{15}N por algas quando comparado com a fonte de nitrogênio disponibilizado para as plantas terrestres.

Meyers (2003) analisando abundância natural de isótopos de N observou diferença entre a matéria orgânica oriunda de algas e as de plantas terrestres que foram preservadas em sedimentos lacustres. Resaltando que a maior complexidade do ciclo do nitrogênio em relação ao ciclo do carbono, somada a pequena discriminação isotópica do N contribui para que essa ferramenta forneça respostas relevantes em estudos de alterações ambientais.

c) Relação entre isótopos de C e N

As concentrações de carbono (^{12}C e ^{13}C) e nitrogênio (^{14}N e ^{15}N) e as razões de proporcionalidade existentes entre esses elementos fornecem informações quanto às fontes terrestres e aquáticas do material orgânico. De posse dos valores abordados nos itens anteriores (“a” e “b”), foram calculados vários índices, sendo o primeiro a relação C/N, e mais tarde esses foram agrupados em uma separação gráfica para representar quanto à inserção em áreas já conhecidas, dando origem a dois modelos com os isótopos de C e N.

A razão C/N por si só, é um índice que indica o grau de humificação da matéria orgânica do solo, conseqüentemente está ligada a evolução dos solos, sendo possível inferir sobre a taxa de mineralização dos compostos orgânicos ricos em N, a taxa de humificação concentrando mais o carbono orgânico e a diminuição dos teores de N associados ao maior tempo de interação dos compostos orgânicos com a biota do solo. Essa razão também pode indicar as fontes da MOS (relação baixa entre 4 e 10 é indicativa da presença de fitoplâncton e bactérias, pois estas apresentam N abundante nas proteínas e ácidos nucleicos), enquanto que uma relação alta indica plantas terrestres (maior ou igual a 20, pois são constituídas principalmente por lignina e celulose, sendo pobres em N) (Talbot & Johannessen, 1992).

O primeiro modelo foi inicialmente proposto por Peterson e Howarth (1987) onde o estudo original avaliou diversas fontes de matéria orgânica em sedimentos marinhos. Esse modelo foi utilizado para confrontar valores de ^{15}N e ^{13}C com o objetivo de rastrear o fluxo de entrada de matéria orgânica (MO) em pântanos na Georgia e deduzir a vegetação que deu origem a essa MO (Figura 5). No gráfico sugerido as fontes podem ser aquáticas (como as algas apresentando valores enriquecidos em ^{15}N , entre +6 e +10 e de ^{14}C entre -20 e -24, ‰), plantas C_4 (com valores de N próximos de +6 ‰ e de C -14 ‰), ou plantas C_3 (com valores de médios de 0 ‰ para N e de -30 para C).

O segundo modelo foi proposto por Meyers (2003) em estudos de reconstrução ambiental a partir de sedimentos de lagos, onde se avaliou a história da região, inferindo sobre mudanças climáticas e impactos dos seres humanos sobre os ecossistemas locais (Figura 6), e através dos valores de ^{13}C e C/N do material aportado foi determinada a procedência da vegetação que originou a MO. Esses valores são orientações gerais que podem ser utilizados como evidências de mudanças climáticas.

Em estudos de reconstrução paleoambiental em turfeiras da Serra do Espinhaço, Horak (2009) aplicou os dois modelos a uma testemunha, verificando a eficácia de ambos. Os valores de C e N foram condizentes com as informações obtidas através de outros procedimentos, como a palinologia. Dessa forma foi possível afirmar que o uso dos modelos propostos foi eficiente para reconstituir uma sequência de eventos que ocorreram durante a formação do depósito turfoso indicando o tipo de vegetação de origem.

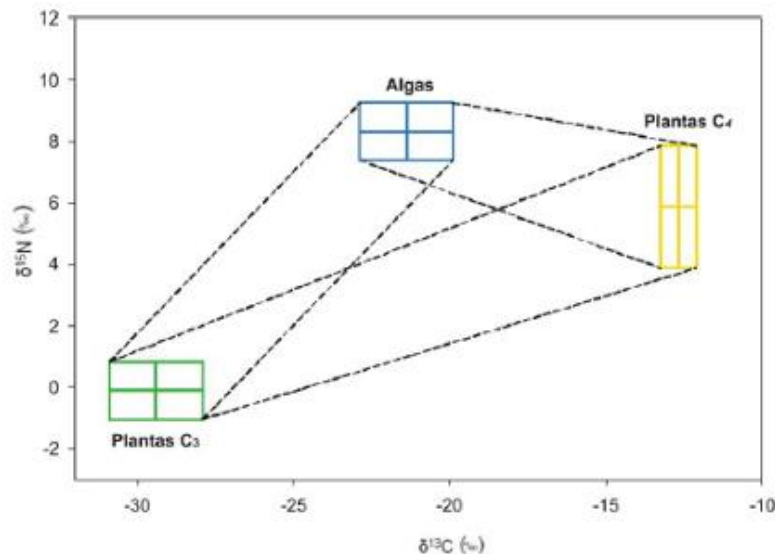


Figura 5. Indicação de fontes de material orgânico do solo através da relação entre os valores de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ do solo (Fonte: Horak, 2009; modificado de Peterson & Howarth, 1987).

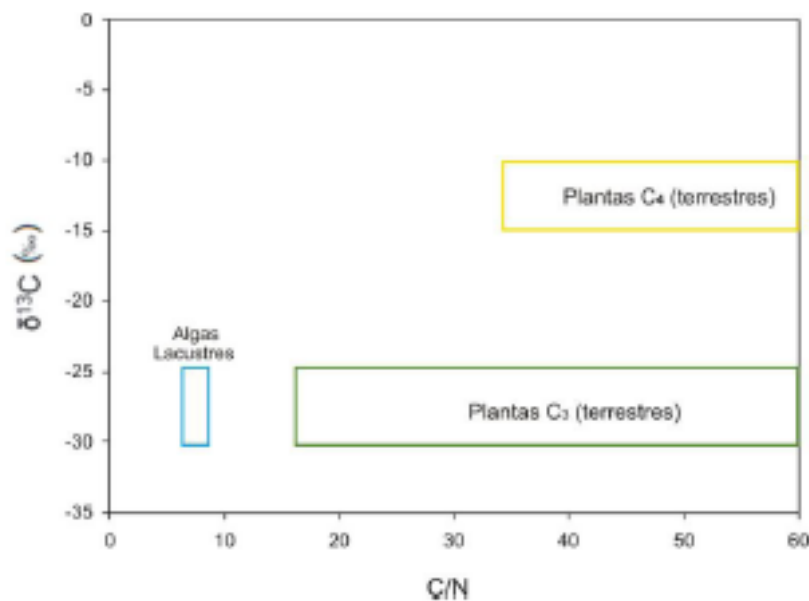


Figura 6. Indicação de fontes de material orgânico do solo através da relação entre os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e C/N do solo (Fonte: Horak, 2009; modificado de Meyers, 2003).

d) Isótopo radioativo de carbono (^{14}C)

Atualmente, a datação de ^{14}C através da matéria orgânica é o principal método para determinar a sequência cronológica de episódios originados em período de tempo recente e até cerca de 40.000 a 50.000 anos atrás. Essa ferramenta vem sendo largamente usada em diversas áreas de conhecimento, tais como: arqueologia, geologia, paleobotânica, paleoclimatologia, entre outras (Pessenda et al., 2001), pois permite indicar com precisão a idade real do objeto de estudo, desde que seja de origem orgânica ou ainda que ocorra em associação com espécimes orgânicos, como no caso a vegetação.

O método de datação foi desenvolvido a partir de Libby, em 1949, quando ele percebeu que com o passar do tempo a quantidade de ^{14}C dos tecidos orgânicos mortos diminuía a um ritmo constante (Francisco et al., 2001). O método é baseado na premissa que

a produção de ^{14}C é contínua em alta atmosfera pela reação de nêutrons cósmicos com o átomo de N, e na seqüência é oxidado a $^{14}\text{CO}_2$ e entra no ciclo global do carbono (Figura 7, Pessenda et al., 2001). É utilizado o ^{14}C porque apresenta meia-vida de cerca de 5.730 anos, e a técnica pode ser utilizada fornecendo margem de segurança para artefatos que possuam idade entre 100 e 40.000 anos (Pezzo, 2002).

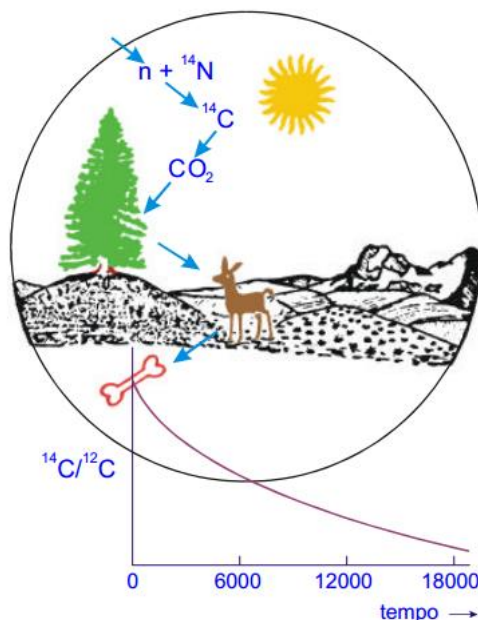


Figura 7. Etapas da formação natural do ^{14}C : soma de um nêutron ao ^{14}N , passando a ^{14}C , posterior incorporação aos organismos (vegetais e animais) e o decaimento radioativo após a morte dos mesmos (Fonte: Pessenda et al., 2001).

A entrada do ^{14}C no ciclo do carbono ocorre da mesma forma que para os outros isótopos, via fotossíntese e na sequência por toda a cadeia trófica. Os organismos (plantas e animais) ao longo de suas vidas incorporam continuamente o carbono (seus diferentes isótopos) nas células com uma razão $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ específica (aproximadamente $1,3 \times 10^{-12}$), que é mantida enquanto o organismo estiver respirando (Broecker, 2003). Essa razão é considerada constante, pois a taxa de produção do ^{14}C na atmosfera é muito próxima a encontrada nos organismos vivos (Broecker, 2003; Nave, 2006).

No entanto, com a morte do organismo a incorporação de carbono passa a não ocorrer mais, e desse momento em diante tem início a desintegração radioativa do ^{14}C ; logo ao longo do tempo reduz-se o conteúdo de ^{14}C na matéria-orgânica restante (Broecker, 2003). Todavia, a semi-vida radioativa do radioisótopo de carbono não é afetada por fatores externos como temperatura, estado físico ou químico da matéria orgânica ou umidade, fornecendo a idade real dos organismos (Nave, 2006). A medição dos anos é feita com base na quantidade de ^{14}C remanescente, sendo assim possível calcular o tempo que se passou desde a morte do organismo. Um dos métodos de medição é através da radioatividade que os átomos ainda emitem, através da cintilação líquida (Pessenda et al., 2001)

Gouveia et al. (1999) estudando datações na fração húmica da MOS e comparando com os valores encontrados em carvão, verificaram que é necessária melhor compreensão para a interpretação da datação nos vários tipos de solos. Segundo os autores, deve ser considerada a complexidade dos processos de formação do solo, o processo acumulativo e contínuo de decomposição da MOS e a estratificação nos horizontes, ressaltando que na maioria dos casos excluem uma datação absoluta por esse método. Ainda, enfatizam a necessidade de mais estudos sobre a datação da fração húmica dos solos via ^{14}C .

3 CAPÍTULO I

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE ORGANOSSOLOS

3.1 RESUMO

Os Organossolos distinguem-se de todas as demais classes de solos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) pelo predomínio de características mais relacionadas a fração orgânica que a fração mineral do solo. O elevado teor de MOS confere características únicas a essa ordem, influenciando nas propriedades químicas, físicas e biológicas. Desta forma, os procedimentos para a sua descrição, coleta e análises também se distinguem das análises de rotina para os demais solos. Entre os métodos para caracterização dos Organossolos, destacam-se a adaptação de metodologias inicialmente desenvolvidas por Lyn, sendo descritas no Anexo B (Métodos de análises de solos adotados pela Embrapa Solos) do SiBCS. O objetivo deste capítulo foi descrever os procedimentos realizados no estudo dos Organossolos, expondo as modificações e adequações que facilitaram a condução da pesquisa no campo e laboratório. Incluindo etapas desde a coleta do material no campo, pré-processamentos das amostras, até as análises no laboratório. Além dos métodos descritos no SiBCS, foram ainda inseridos outros procedimentos específicos para estudo da matéria orgânica nesse capítulo. Entre eles o fracionamento das substâncias húmicas, a metodologia de isótopos estáveis e a datação da matéria orgânica através do ^{14}C .

Palavras-chave: Solos orgânicos. Fracionamento da matéria orgânica. Métodos isotópicos. Datação de ^{14}C .

3.2 ABSTRACT

Histosols distinguish from all other soil classes in the soil classification systems by the predominance of more features related to organic matter fraction than to the mineral fraction of the soil. The high SOM content gives unique characteristics to this soil order, influencing the chemical, physical and biological properties. Thus, the procedures for its description, sampling and analysis also are distinguished from routine analysis of samples from other type of soils. Among the methods for characterization of Histosols stand out the adaptation initially developed by Lyn. These methods are described in the Annex B (Methods of soil analysis adopted by Embrapa Soils) of the Brazilian Soil Classification System (BSCS). The aim of this chapter is to describe procedures performed in the study of the Histosols, with details about modifications and adaptations to make easy the field and lab work. It included stages from the field sampling, pre-processing of soil material, to laboratory analyzes. Besides the methods described in the BSCS, other procedures specific for studying organic matter were included in the Chapter. Among them, the humic substances fractioning, stable isotopic methods, and soil organic matter dating through ^{14}C .

Keywords: Histosols. Soil organic matter fractioning. Isotopic methods. ^{14}C dating.

3.3 INTRODUÇÃO

O elevado teor de matéria orgânica (MO) presente nos Organossolos confere a eles propriedades químicas, físicas e biológicas únicas que os distinguem das demais classes de solo. Os Organossolos possuem variação de atributos até mesmo entre eles, uma vez que a vegetação de origem da MOS (fitofisionomia local) é condicionada pelo clima e relevo. Assim, Organossolos de áreas relativamente próximas podem apresentar características semelhantes ou não.

Ainda de acordo com as variáveis dependentes da vegetação, os Organossolos também podem variar quanto a quantidade e qualidade da matéria orgânica aportada e quanto ao grau de humificação do material depositado. Somado a presença ou não de hidromorfismo e a influência da parte orgânica mineral sobre a parte mineral. Dessa forma, a gama de variáveis e a interação entre elas faz com que a utilização das metodologias padrões de análises de solos não possuam a eficiência esperada.

Devido as particularidades dos Organossolos procedimentos para a sua descrição, coleta e análises também se distinguem das análises de rotina para os demais solos. As análises de rotina padrão para a caracterização dos solos, em geral, são adaptadas de outras metodologias, muitas são internacionais. Mas, com o passar do tempo pequenas modificações e ajustes são realizadas com o intuito de adaptar esses procedimentos as condições dos solos brasileiros (porém a base do procedimento é mantida sem alterar os princípios).

Entre os métodos para caracterização dos Organossolos, destacam-se as adaptações de metodologias inicialmente desenvolvidas por Lyn et al. (1974) sendo apresentadas no Anexo B (Métodos de análises de solos adotados pela Embrapa Solos) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos que tornam a descrição dos Organossolos mais eficiente (Santos et al., 2013). Dessa forma, foram descritas as análises dos atributos químicos (pH, Ca, Mg, Na, K, Al, H) e físicos (Ds, Dp, VTP), da determinação da matéria orgânica (via úmida por Walkey-Black e via seca por CNH e mufla), das substâncias húmicas (C_HUM, C_AH e C_AF), da caracterização específica de Organossolos (MM, RM, DMO, IP, %F, VP) e das técnicas isotópicas (^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ^{14}N e ^{15}N).

O objetivo deste capítulo foi de descrever todos os procedimentos realizados nos Organossolos, expondo as modificações e adequações que facilitaram a condução da pesquisa. São ainda relatadas todas as etapas desde a coleta do material no campo, passando pelo pré-processamentos das amostras, até chegar as análises no laboratório.

3.4 AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DOS ORGANOSSOLOS

3.4.1 Descrições dos Perfis e Amostragem

As áreas foram selecionadas no Estado do Rio de Janeiro e no Bioma Mata Atlântica, a partir de levantamentos anteriores e informações de pesquisas. A escolha das áreas foi determinada por registros de ocorrência de Organossolos, tendo prioridade os locais onde os solos possuem menor grau de intervenção antrópica. Foram coletados quatro pedons de Organossolos, em dois ambientes de clima quente e úmido, relevo plano de várzea, nos municípios de Magé e Campos dos Goytacazes; e dois perfis em ambientes de

clima frio e úmido e vegetação altomontana, na parte alta do Parque Nacional de Itatiaia (PNI). Os perfis receberam identificação com o prefixo RJ seguida de numeração ordinal.

Os perfis foram descritos e coletados segundo as normas no Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (Santos et al., 2005). Foram abertas trincheiras para descrição dos perfis e coleta de material, com exceção do segundo perfil de Itatiaia, que se encontrava em posição do relevo de encosta e formado sobre substrato rochoso. Esse perfil foi coletado em corte no terço inferior em local próximo a trilha de acesso as prateleiras, na parte alta do PNI, com o propósito de representar Organossolo formado em condições não hidromórficas.

A primeira área de coleta foi no município de Magé (RJ-01), sendo realizada em 10 de dezembro de 2011, no período chuvoso e o lençol freático encontrava-se elevado, aproximadamente 40 cm abaixo da superfície do solo. Esse perfil está localizado na Escola Agrícola Almirante Ernani e possui elevação de 3 metros. O que chamou a atenção foi a altura do lençol freático, pois toda a região possui rede de drenagem com canais de grande vazão. A segunda área de coleta foi no município de Campos dos Goytacazes (RJ-02), sendo feita em 09 de setembro de 2013, o perfil possui elevação também de 3 metros e está localizado nas proximidades da Lagoa Feia. Devido a distribuição irregular de chuvas a coleta foi realizada após as demais, pois o perfil apresentava lençol constantemente elevado não sendo possível a sua amostragem. A terceira área foi no município de Itatiaia onde foram coletados dois perfis RJ-03 e RJ-04, situados na parte alta do Parque Nacional de Itatiaia. A coleta foi realizada nos dias 21 e 23 de março de 2012, estando ambos os perfis em cotas superiores a 2000 m, caracterizando ambientes altomontanos. Cabe ressaltar a autorização de acesso e pesquisa concedida pelo SISBIO e PARNA Itatiaia.

A profundidade das trincheiras abertas para coleta das amostras e descrição dos perfis variou com a proximidade do lençol freático ou de horizontes minerais ou camadas de sedimentos que constituem o material de origem mineral, estando geralmente pouco além de um metro. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas para as análises físicas e químicas.

O material de solo foi colocado em sacos plásticos pré-identificados (foram usados dois sacos com a etiqueta colocada entre os sacos e também externamente para evitar que fosse perdida a marcação pela quantidade de água nas amostras) e transportado até o Laboratório de Gênese e Classificação do Solo, da UFRRJ IA/DS, para caracterização analítica. Parte do solo foi seca ao ar, destorroada e peneirada em malha de 2 mm, para a obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA). O restante do material foi mantido fechado em saco plástico para preservar a umidade do solo, importante para algumas análises futuras.

Alguns comentários sobre os procedimentos de descrição de perfis e amostragem de Organossolos são apresentados a seguir. Os métodos para descrição dos perfis e amostragem dos solos (Santos et al., 2013b) descrevem com detalhes procedimentos para solos minerais. Porém, não relatam questões relacionadas a amostragem de solos hidromórficos, com lençol freático alto e muitas vezes preenchendo o volume da trincheira com água antes que se possa concluir a coleta. Isto quando a ascensão do lençol freático não impossibilita a coleta de horizontes ou camadas em maior profundidade, com o uso de trados comuns como o tipo holandês ou rosca. Portanto, instrumentos especiais de coleta podem ser requeridos em solos com maior espessura dos horizontes/camadas orgânicas. Ou ainda, deve-se avaliar a época de coleta de forma que o lençol freático esteja o mais profundo possível.

Da mesma forma, atributos morfológicos como classe de textura, estrutura, consistência do solo quando seco e úmido, transições entre horizontes orgânicos e distribuição de raízes são de difícil avaliação nos Organossolos. Por outro lado, outros atributos mais importantes para diagnóstico dessa classe de solo, como quantidades e tamanho estimado de partes de tecido vegetal (troncos, galhos, fibras etc.), grau de

decomposição do material orgânico, indicações de tiomorfismo (cores amareladas, mosqueados por jarosita, limpidez da água e medidas de pH no campo) não são destacados por Santos et al. (2013a).

Quanto as amostras de solo, é importante manter a umidade de campo, principalmente em solos onde o ambiente favorece a ocorrência de tiomorfismo, para análises do pH nessa condição de umidade. Por outro lado, a secagem em estufa de material de solo orgânico deve ser evitada, para não alterar atributos do solo. Entre eles, o grau de dureza, que raramente é possível de ser avaliado no campo (pois as amostras em geral estão muito úmidas), além de aumentar com a secagem intensa das amostras, e a separação de fibras e fragmentos de vegetais (raízes, galhos e outros). O processamento das amostras deve ser feito com o solo ainda úmido, pois a secagem rápida e excessiva também dificulta o preparo da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). O armazenamento de parte das amostras na sua condição inicial de umidade, para análises como o pH, elementos solúveis, conteúdo de nitrogênio entre outras, é recomendado.

3.4.2 Atributos Químicos

Os materiais do solo foram caracterizados quanto às propriedades químicas segundo o Manual de Métodos de Análises de Solos (Embrapa, 1997) e recomendações no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013a) para os Organossolos.

a) Cálcio e magnésio trocáveis

Os cátions trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ na proporção de 1:10, por complexometria em presença do coquetel tampão. O Ca⁺² foi determinado em presença de KOH a 10%, visando elevar o pH no qual o magnésio se torna insolúvel. Ambos foram titulados com EDTA 0,0125 mol L⁻¹ e o indicador usado para determinar o ponto em que termina a reação foi o negro de eriocromo. O Mg⁺² foi obtido por diferença.

b) Sódio e potássio

Extraídos com solução duplo ácido (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) na proporção solo-solução 1:10 e determinados por fotometria de chama.

c) Fósforo

Foi extraído com solução de bicarbonato de sódio 0,5 mol L⁻¹, recomendada para solos com elevados teores de matéria orgânica, e os valores de P extraídos foram quantificados em espectrofotômetro, após redução do complexo fosfomolibídico com ácido ascórbico em presença de sal de bismuto.

d) Alumínio trocável

Foi extraído com solução de KCl 1 mol L⁻¹ na proporção de 1:10 e determinado a acidez através da titulação ácido-base, com NaOH 0,025 mol L⁻¹ e fenolftaleína como indicador.

Esse método pode superestimar os teores de Al, devido a quantificação do H⁺ proveniente dos radicais carboxílicos e fenólicos da MO (Silva et al., 2014). Uma alternativa a essa metodologia seria a determinação de Al³⁺ através do espectrofotômetro de absorção atômica (EAA), recomendado como procedimento mais adequado em Organossolos por Campos et al. (2011).

e) Hidrogênio + alumínio

Foi realizada uma extração com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ ajustada para pH 7,0-7,2, seguido de titulação do extrato com NaOH 0,025 mol L⁻¹, com uso do indicador fenolftaleína.

f) pH em água

Determinado com potenciômetro em suspensão solo- líquido de 1:2,5, com tempo de contato de cerca de uma hora e agitação da suspensão antes da leitura.

As análises de pH devem ser realizadas logo que o solo chega ao laboratório, nas condições de umidade do campo, sem a secagem do material, pois a mesma pode levar a redução do pH em função de reações químicas na amostra ao entrar em contato com o ar. Uma alternativa é separar parte das amostras e acondicioná-las de forma a evitar perda de umidade, até que possam ser analisadas.

É conhecido que as amostras de solos com alto teor de matéria orgânica, como as dos Organossolos, impõem certas modificações nas análises químicas de rotina. Para minimizar os erros algumas medidas foram empregadas no decorrer das análises. Para todas as análises com extração citadas acima, para obtenção da solução foi feita uma pré-filtragem simples. Nesse processo, a mistura de solução extratora e solo foi vertida em papel filtro qualitativo com malha de espessura de 14 µm para uma filtração rápida (apenas para retenção das partículas sólidas), assim retirando material orgânico em suspensão. Esse material, se não fosse retirado, dificultaria a aferição do volume durante a pipetagem e, posteriormente, poderia alterar os tons de viragem na titulação da solução, aumentando assim o erro na quantificação dos elementos.

Ainda, devido aos teores normalmente diferenciados de vários elementos químicos nesses solos, dos normalmente observados em solos minerais, podem ser exigidas diluições para que os resultados estejam dentro das curvas de calibração normais em outros solos. A quantidade de amostra também é outro aspecto que pode contribuir para erros, em especial, nos Organossolos com muitas fibras de tamanho inferior a 2,0 mm, ou seja, na fração TFSA. Para tal, recomenda-se maior número de repetições de laboratório nas análises químicas, ou ao menos cuidadosa interpretação dos resultados, e, se incoerentes, repetição da análise.

3.4.3 Atributos Físicos

Para os atributos físicos das amostras de solo foram feitas as seguintes análises: densidade do solo e densidade da partícula, calculando a partir destas a porosidade total.

a) Densidade do solo (Ds)

Para a avaliação da densidade do solo coletou-se nos perfis amostras indeformadas de cada horizonte até a profundidade de 1,0 m ou até a altura do lençol freático. As amostras indeformadas foram coletadas usando o anel de Kopecky (Figura 6-a), segundo Embrapa (1997), acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório. Para determinar a densidade do solo, o material de solo contido no anel foi colocado em estufa a 105°C durante 24h e foram pesadas novamente. Com os valores de massa de solo e volume do anel foi calculada a Ds pela seguinte equação:

$$D_s = \frac{MS}{VT}$$

Onde: Ds - Densidade do solo (kg dm⁻³); MS - Massa seca da amostra (kg) e VT - Volume total do anel de Kopecky (dm³).

b) Densidade das partículas (Dp)

Para determinar a densidade das partículas (kg dm⁻³) foi usado o método do balão volumétrico (Embrapa, 1997), que consiste em determinar a relação entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas (Figura 8). Para essa análise foram pesados 20g de TFSA, corrigidas para TFSE pelo fator relativo a umidade residual, que foram acondicionados em balões volumétricos de cerca de 50ml, cujo volume

foi aferido. Aos balões foram adicionados 20 ml de álcool e após descanso de 24h o volume dos balões foi completado, anotando-se o volume de álcool gasto para o total preenchimento dos frascos. Com o valor total de álcool gasto, o volume inicial do balão e a massa de solo foi calculada a densidade das partículas pela equação:

$$Dp = \left(\frac{\frac{Ms}{Fc}}{50 - Va} \right)$$

Onde: Dp - Densidade das partículas (kg dm^{-3}), Ms - Massa de solo seco (g), Fc - Fator de correção, Va - Volume de álcool gasto (ml);



Figura 8. Anel de Kopeck para determinação de densidade do solo (D_s) (a esquerda) e método do balão volumétrico para densidade da partícula (D_p) (a direita).

c) Porosidade total (PT)

A porosidade do solo, que é o volume de todos os espaços vazios (poros) entre os sólidos do solo (Kielh, 1979), foi calculada por método indireto a partir dos valores de D_s e D_p , pela equação:

$$Pt = \left(1 - \frac{D_s}{D_p} \right) \times 100$$

Onde: Pt - Porosidade total ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); D_s - Densidade do solo (kg dm^{-3}); e D_p - Densidade das partículas (kg dm^{-3})

As análises físicas para a caracterização de Organossolos não incluem a análise granulométrica, uma vez que este atributo é de difícil quantificação nesses solos, pois o processo de dispersão (físico e químico) da fração argila é muitas vezes incompleto devido aos altos teores de colóides orgânicos. Além disso, é difícil quantificar frações como a areia fina e o silte pela presença de fibras vegetais nessas classes de tamanho.

Quanto à densidade do solo, atributo importante como indicador do grau de decomposição da matéria orgânica e grau de subsidência dos Organossolos, a sua grande variabilidade, ao longo do perfil e mesmo em cada horizonte, exige maior número de amostras para melhor representar o atributo. Ainda, em Organossolos com grande quantidade de material vegetal pouco alterado (incluindo partes de galhos e troncos) a amostragem se torna difícil, mais ainda quando o lençol freático é elevado.

Quanto à densidade das partículas, nos Organossolos com maior teor de fibras, a interação com o álcool (usado na análise de rotina) pode causar mudanças de volume e também influenciar no resultado da análise. Assim, o volume total de poros, pode acumular erros de ambas às análises (Ds e Dp) e não refletir a porosidade real dos horizontes orgânicos, mesmo sem considerar as mudanças de volume do material em função da umidade do solo.

3.4.4 Análises da Matéria Orgânica do Solo (MOS)

a) Determinação da MOS via úmida

Para a determinação dos teores de matéria orgânica do solo, foi utilizada a TFSA macerada em peneira de 0,53mm. Foi usada a metodologia Walkley-Black (WB) modificada de acordo com Embrapa (1997) que quantifica o teor de carbono orgânico (Corg) no solo através da oxidação do carbono via úmida com dicromato de potássio (K_2CrO_7), onde o excesso é titulado por meio de titulação inversa. O método determina o teor de C orgânico considerando que a MOS existente no solo possua em média 58% de carbono e o teor de Corg é multiplicado pelo fator 1,724 para quantificar a MOS.

Essa ainda é a metodologia mais utilizada nos laboratórios de análise de solos no Brasil, sendo a metodologia padrão indicada pela Embrapa. Para solos minerais, é de simples execução, apresenta boa repetibilidade e não necessita de equipamentos caros ou mão de obra mais especializada.

No entanto, Curi e Kampf (2013), entre outros, discutem o uso do fator de 1,724 para calcular o teor de MOS. Segundo esses autores, quando o solo apresenta elevados teores de material vegetal seco o Corg varia de 40 a 50%, o que é diferente do valor médio presumido de 58%. Sendo assim a utilização do fator de correção parametrizado implicaria em uma superestimação do conteúdo orgânico. Pereira et al. (2006) sugerem o valor médio de 2,10, para a conversão dos resultados de MOS a partir dos valores de Corg obtidos pelo método de Walkley-Black (WB). Uma alternativa é apresentar os resultados em termos de teor de Corg e não de matéria orgânica, exceto quando a mesma é quantificada como a seguir.

b) Determinação da MOS via seca

Para a determinação dos teores de matéria orgânica do solo via seca foi aplicado o método de combustão em mufla modificado, sendo esta a metodologia padrão para caracterizar Organossolos (Embrapa, 2006, 2013). Para tal, foram pesadas 10g de amostra de TFSA, em balança analítica de precisão, conforme Embrapa (1997). Esse material foi previamente seco em estufa a 105°C por 24 horas e depois colocado em forno mufla, onde permaneceu por 6 horas a temperatura de 600°C. Após esse tempo, a mufla foi desligada, permanecendo a amostra no seu interior até que esfriasse. Depois a amostra foi levada mais uma vez a estufa, onde permaneceu por mais 24h a 105°C e foi então pesada. O conteúdo de matéria orgânica foi determinado por diferença de massa em relação à amostra seca em estufa, sendo o material perdido por queima quantificado como correspondente à matéria orgânica do solo (MOS).

Essa metodologia por calcinação, em geral, superestima os valores de MOS, pois como utiliza temperaturas muito altas por período relativamente longo remove a água presente na estrutura dos minerais do solo (Silva et al., 1999). No entanto, quando comparado a outros métodos de quantificação da MOS em solos com elevados teores de carbono a metodologia foi a mais satisfatória (Pereira et al., 2006). A análise é simples e de fácil realização não apresentando grandes limitações quanto a seu uso em Organossolos.

c) Determinação da MOS via CHN

Os teores totais de carbono, nitrogênio e hidrogênio foram determinados pelo método de combustão a seco, usando analisador elementar CHN (TrueSpec Series: Carbon, Hydrogen, Nitrogen Elemental, Macro) (Figura 9).

Iniciamente foi realizado um *check list*, logo a seguir foram analisados 10 brancos (mínimo para que o equipamento possa realizar calibração própria) e o valor médio foi descontado dos resultados das amostras avaliadas. Foi gerada curva de calibração, com três replicatas de cada ponto para a calibração do aparelho, utilizando o padrão indicado pela companhia fornecedora do equipamento (LECO), identificado como 'Acetanilide' (C_8H_9NO), part 501-053, lot 1010, com valores de carbono de 71,09%, hidrogênio de 6,71%, e nitrogênio de 10,36%. A seleção do padrão foi feita com base nas concentrações dos elementos presentes no solo, que precisam ser inseridas na curva de operação do equipamento. As repetições foram analisadas e o aplicativo selecionou o ponto com menor desvio para, na sequência, realizar as correções (*drift*). Foi selecionado um modelo linear como sendo o mais adequado, o qual passou a ser a curva de calibração para o método (Organossolo).



Figura 9. Analisador elementar CHN (TrueSpec Series: Carbon, Hydrogen, Nitrogen Elemental, Macro, LECO).

O equipamento CHN funciona com os seguintes gases: Hélio (99,99% de pureza) a 35 psi (2,41 bars); Oxigênio (99,99% de pureza) a 35 psi (2,41 bars); e ar comprimido (livre de água e óleo) a 40 psi (2,76 bars), sendo permitida variação de até 10% nos gases e na pressão utilizada (LECO, 2011). Estes aspectos são importantes de serem padronizados, pois influenciam a repetibilidade dos resultados.

As amostras de TFSA foram maceradas em graal de porcelana e peneiradas para atingir aspecto de um pó muito fino, de granulometria semelhante ao talco, em uma adaptação da metodologia de Smith & Myung (1990), que utilizam moinho de rolagem para pulverização das amostras. Para a determinação do teor de carbono foi pesado 0,1g de amostra em balança analítica acoplada ao aparelho CHN, em recipiente de estanho próprio do equipamento para queima. Os cadinhos foram então fechados e modelados na forma de gota, de tamanho suficiente para passar pelo carrossel do aparelho.

A digestão do material foi feita em câmara de combustão em temperatura de cerca de 900°C. Através da queima da amostra são liberados os gases CO_2 e N_2 e H_2O , que são adsorvidos separadamente por uma coluna detectora específica (sensor de condutividade termica). O tempo médio de leitura das amostras foi de aproximadamente três minutos.

As análises foram realizadas através de parceira com a Embrapa Solos e com recursos de Projeto do Departamento de Solos – UFRRJ apoiado pela FAPERJ.

3.4.5 Substâncias Húmicas

a) Fracionamento químico das substâncias húmicas

Para o fracionamento químico das substâncias húmicas utilizou-se o método de extração e fracionamento quantitativo das substâncias húmicas pela técnica de solubilidade diferencial, estabelecido pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas, com base em Kononova (1966) e Dabin (1976), com adaptações de Benites et al. (2003).

Para a extração do extrato alcalino – EA (solução que contém ácidos húmicos e fúlvicos) foi usada solução de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ na relação solo: extrator de 1:10 p/v, utilizando-se 1,0 g de solo (0,5 g para amostras com teor de carbono total superior a 100 g kg^{-1}) e tempo de contato de 24 h. A separação entre o extrato alcalino e o resíduo foi feita por centrifugação a 5.000 g (fcr média) por 30 min. Foram realizadas três lavagens do resíduo com a mesma solução, adicionando-se os extratos aos anteriormente reservados. O resíduo foi recolhido e reservado para a determinação de carbono da fração humina (C-HUM). O extrato alcalino teve o pH ajustado para $1 (\pm 0,1)$ com solução aquosa de H_2SO_4 20% e foi decantado por 18 h. O H_2SO_4 foi utilizado em vez de HCl, para evitar interferências do ânion cloreto no processo de determinação do carbono nas frações por métodos titulométricos.

O precipitado, fração ácido húmico (FAH), foi separado da fração solúvel por centrifugação a 5.000 g (fcr média) por 5 min, rediluído em solução NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e seu volume aferido para 50 mL, com água destilada. A porção solúvel no extrato acidificado, fração ácido fúlvico (FAF), teve seu volume aferido para 50 mL, utilizando-se água destilada. A determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácido fúlvico (C-FAF) e ácido húmico (C-FAH) foi feita em alíquotas de 5 mL de extrato e 2,5 mL de dicromato de potássio, mantendo-se a relação 1:2 solução:ácido sulfúrico. As concentrações de dicromato de potássio utilizadas foram de 0,5 e $1,0 \text{ molc.L}^{-1}$ para as frações ácido fúlvico e ácido húmico, respectivamente, calculadas de forma que 10 a 75% do oxidante fosse consumido na reação, mantendo a titulação dentro da faixa linear de correlação com o teor de carbono.

Foram quantificados os teores de carbono orgânico das frações: ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM). A partir destes dados foi calculada a relação C-FAH/C-FAF (Benites et al., 2003).

A metodologia destaca uma limitação em solos com elevado teor de matéria orgânica leve (MOL), uma vez que essa é insolúvel em solvente alcalino e passa a ser quantificada como humina (Benites et al., 2003). Mas outras considerações também devem ser feitas, a princípio é necessário saber o teor de carbono orgânico para calcular o peso de TFSA inicial, no entanto não é indicado o método que deve ser usado. O que mais se assemelha é o método de Yomans e Bremmer (1988), em que o ácido sulfúrico e o dicromato de potássio são adicionados separadamente. No entanto, a escolha da metodologia de determinação do carbono pode interferir na taxa de recuperação que pode variar de 90% a 105%.

Outra observação é a respeito da fração humina, que é obtida após a retirada do extrato alcalino. O solo é lavado com 20 mL de NaOH por duas vezes, porém ainda podem restar ácidos húmicos e fúlvicos, em função da grande quantidade destes em Organossolos. Dessa forma, parte do carbono quantificado como fração humina pode ser carbono de outra fração que não foi removida completamente, superestimando seus valores.

b) Relação E4/E6 (caracterização espectroscópica da MO)

A metodologia consiste de extração de solo alcalina com NaOH e a leitura de absorbância do extrato alcalino contendo os ácidos húmicos e fúlvicos. O peso de solo utilizado é calculado a partir dos valores de carbono na amostra, sendo necessário conhecer anteriormente esses teores.

Para a análise é necessário que a amostra tomada contenha em torno de 2 mg de carbono. A amostra de solo foi pesada em balança analítica (com 4 casas decimais, modelo Umarck 210A) e acondicionada em erlenmeyer de 125 mL onde adicionou-se 100 mL de NaOH, 0,1M e a solução ficou em repouso por uma noite. No dia seguinte retirou-se uma alíquota do extrato para análise em espectrofotometro (modelo Nova 2000UV), usando dois comprimentos de ondas, 465 nm e 665 nm, ambos na faixa do visível. A relação identificada como E4/E6 é calculada pela divisão do valor de leitura a 465 nm pelo a 665 nm.

Essa relação E4/E6 foi proposta como índice de humificação por Kononova (1966), com modificações por Fontana (2009).

A metodologia é bastante simples, uma vez que não há necessidade de extração e purificação do extrato alcalino. No entanto, em Organossolos esse procedimento pode não refletir o grau de humificação real dos solos. Ou ao menos, não encontrar relação com as análises recomendadas para caracterização de Organossolos (SiCBS - Embrapa, 2013), quais sejam a escala de Von Post e a análise de Solubilidade em Pirofato de Sódio.

A falta de relação, que foi observada nos perfis desse estudo, pode ocorrer em função da quantidade de amostra utilizada para a análise ser muito pequena. Como a amostra inicial de solo é calculada em função dos teores de carbono e nos Organossolos estes são elevados, a massa de solo que contém 2 mg de C, pesada em balança de 4 casas decimais, é assim muito pequena, variando apenas nas duas últimas casas decimais. Essa redução acentuada na amostra, pode comprometer a interpretação do resultado da análise.

3.4.6 Caracterizações dos Atributos Específicos dos Organossolos

Os atributos a seguir são requeridos para a classificação dos Organossolos, segundo o SiBCS (Santos et al., 2013a)

a) Material mineral (MM)

O material mineral ou conteúdo mineral foi calculado pela formula:

$$M = \frac{\text{peso seco a } 400^{\circ}\text{C (24h)} *}{\text{peso seco a } 105^{\circ}\text{C (24h)}} \times 100$$

* pode ser feito a 600°C (6h) e a secagem do material foi feita na mufla.

b) Densidade da matéria orgânica (DMO)

A densidade da matéria orgânica foi calculada segundo a relação:

$$Dmo = Ds - DS \times \left(\frac{\% \text{ massa MM}}{100} \right)$$

Onde, MM é o material mineral, com base na premissa de que o material orgânico tem estrutura aberta cujos interstícios são ocupados pelo material mineral (Lyn et al., 1974).

c) Resíduo mínimo (RM)

O resíduo mínimo estima a proporção entre a espessura residual e a original, sendo calculado de acordo com a equação abaixo.

$$M = \left(\frac{D_{si} - D_{mo}}{D_{sr}} \right)$$

Onde, D_{si} = DS inicial; D_{sr} = para os solos estudados tomou-se o valor de $D_{sr} = 1,5$ g/cm.

d) Solubilidade em pirofosfato de sódio

Para determinar esse atributo uma amostra (TFSA) foi avolumada em meia seringa de $2,5 \text{ cm}^3$ e depois acondicionada em copos plásticos de 80 mL, onde foi adicionado 1 g de cristais de pirofosfato e 4 mL de água. O material foi então homogeneizado e deixado em repouso por uma noite (Figura 10). Após esse período a solução foi novamente homogeneizada e um pedaço de papel cromatográfico (5 cm x 1 cm) foi mergulhado para absorver a solução saturada.

Ao colocar o papel em contato com a mistura, a solução foi absorvida rapidamente, porém se aguardou um tempo, cerca de 30 segundos até o total umedecimento do papel. Com o auxílio de outra tira de papel, se eliminou possível excesso da solução e eventual presença de sólidos no papel, esfregando-o levemente no papel cromatográfico. Para a visualização e determinação da cor esperou-se cerca de 10 minutos para que o papel secasse, retirando o excesso de umidade, que poderia comprometer a visualização levando a variação do valor ou croma.

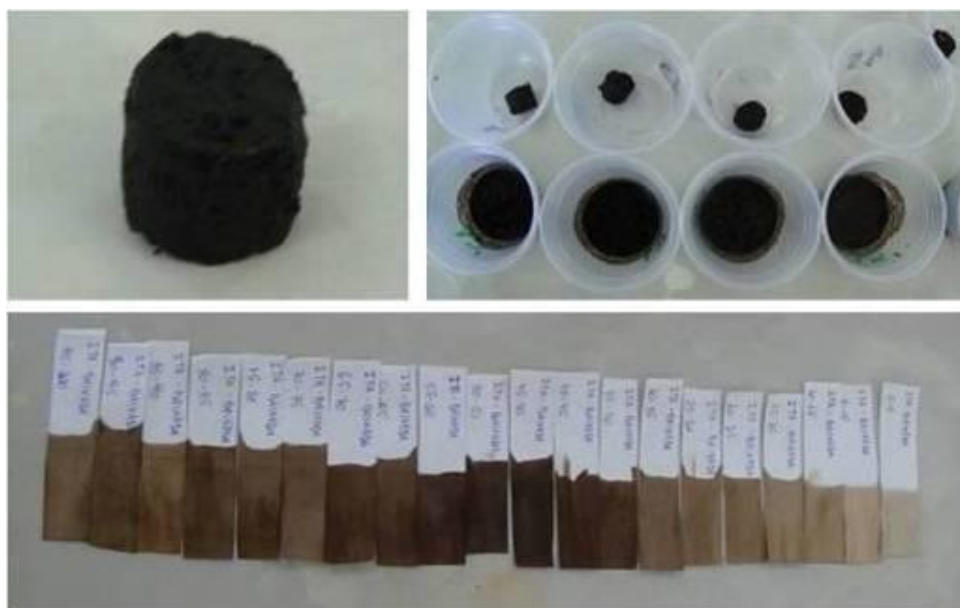


Figura 10. Etapas da metodologia de determinação da solubilidade em pirofosfato de sódio.

Após esses procedimentos e cuidados a tira de papel colorida e úmida (Figura 10) foi então comparada aos padrões na carta de cores de Munsell, usando a página de matiz 10 YR. Os números referentes ao valor e ao croma foram anotados e subtraídos os resultados da leitura do croma pelo do valor para a obtenção do Índice de Pirofosfato (IP). Esses índices, juntamente com os valores da escala de Von Post, foram utilizados para elaborar o gráfico para determinação do estágio de decomposição, usado como atributo diagnóstico para a classificação dos Organossolos no terceiro nível taxonômico.

A análise é simples e não exige equipamentos. No entanto é necessário destacar certo grau de subjetividade na avaliação das cores, o que demanda experiência previa do avaliador. Deve ser realizada em ambiente com a mesma incidência de luz para todas as amostras, para evitar interferência externa de uma bateria de análises para outra.

e) Determinação do conteúdo de fibras

Para determinar o conteúdo de fibras a amostra de TFSA foi avolumada com o auxílio de uma seringa para alcançar volume de $2,5\text{cm}^3$, e então transferida para peneira de 100 mesh, sendo lavada sob jato de água contínuo até que o efluente aparecesse de forma límpida. O excesso de umidade foi retirado na peneira e a amostra foi enxugada com papel absorvente. O resíduo na peneira foi enxugado com papel absorvente, reduzindo a umidade ao mínimo possível, e então reempacotado na meia seringa com volume original de $2,5\text{cm}^3$. O volume do resíduo na meia seringa foi lido e o resultado expresso como % (por volume) de fibra não esfregada (Figura 11).

Após o procedimento acima, o resíduo foi transferido para peneira de 100 mesh e esfregado entre o polegar e o indicador, lavando novamente sob jato de água contínuo até que o efluente ficasse claro. O resíduo foi seco com papel absorvente e reempacotado na meia seringa, da mesma forma que para a análise de fibra não esfregada. O volume do resíduo foi lido novamente e o resultado expresso como % (por volume) de fibra esfregada. Assim por diferença entre os dois volumes calculam-se os conteúdos de fibras com maior facilidade de decomposição, ou seja, mais suscetíveis aos processos de perda de material orgânico.

Essa metodologia é de fácil realização e não exige equipamentos. Mas cabe ressaltar que algumas amostras possuíam elevados teores de areia que ficavam retidos a peneira. Para a remoção desse conteúdo foi necessário realizar a flotação em água destilada antes do primeiro reempacotamento (fibras não esfregadas). Após esse artifício de remoção da areia a análise foi realizada de acordo com o método proposto sem outras restrições.



Figura 11. Algumas etapas da determinação do conteúdo de fibras: medição do volume inicial (a), tamizamento para retirada do solo (b), diferença de volume entre amostras (c) e reempacotamento para aferição do volume final (d).

f) Escala de decomposição de Von Post

Para a classificação do material orgânico segundo a escala de Von Post (Tabela 2), o material deve ser analisado, de preferência, no campo ou serem mantidas as características originais da amostra, principalmente quanto ao conteúdo de umidade. A avaliação consiste em adicionar água corrente para atingir alto grau de saturação da amostra, manuseando o material para que seja homogeneizado completamente. Então avaliar e registrar as características do material orgânico segundo os indicadores de grau de humosidade.

Neste procedimento a amostra é pressionada no interior da mão até a saída de líquido (Figura 12), o qual também é observado, neste caso quanto à coloração, se transparente, amarronzada ou preta e a quantidade que foi retirada da amostra. Em seguida se observa o

comportamento do conteúdo de material sólido, se ocorreu saída desse material passando entre os dedos, a fração de material orgânico que flui entre os dedos, a fração que permanece na mão (forma e estrutura vegetal, observando também a natureza das fibras e a proporção do resíduo final comparado ao da amostra inicial).



Figura 12. Análise do material orgânico e visualização do volume e coloração do líquido.

A escala de Von Post é composta de 10 estágios de decomposição da matéria orgânica, agrupadas em função do grau de humificação do material. Esses estágios são utilizados na classificação dos Organossolos para diferenciação no terceiro nível taxonômico, que corresponde ao grande grupo (podendo ser: fíbrico, hêmico e sáprico) (SiBCS - Embrapa, 2013). Assim as informações obtidas durante a análise são anotadas de acordo com as características do material e comparadas aos padrões para obter a classe de material orgânico.

Como por exemplo, dúvidas no intervalo das classes, quanto a diferenciação da característica do material se fortemente decomposto (H7) ou muito fortemente decomposto (H8). No mesmo caso, quanto a fração de material orgânico (turfa) que passa pelos dedos, qual a pressão necessária? Alguns horizontes apresentaram variações com a pressão exercida, ou seja, passando 3/5 (H8), metade (H7) ou pouco material (H6). Ou em outro caso, o material apresentava-se bem decomposto (H6), mas com coloração muito castanha (H4), e não se observou a passagem de material sólido entre os dedos (H1, H2, H3 e H4), mas a estrutura vegetal era difícil de identificar, ou seja, grau muito pouco reconhecível dos materiais vegetais (H7).

A análise é bastante simples com grande potencial de repetibilidade e pode ser realizada no campo rapidamente, uma vez que necessita apenas dos padrões na Escala de Von Post e de material para anotação. No entanto, apesar dos aparentes benefícios é importante destacar: a necessidade previa de experiência do pedólogo, pois a metodologia é subjetiva e dá margem a interpretações divergentes em função do avaliador.

Todavia, no contexto da caracterização dos Organossolos a partir de informações de campo, apresenta grande relevância para a definição do terceiro nível hierárquico.

Tabela 2. Escala de Von Post, classificação do material orgânico em função do grau de decomposição (Extraído de Valladares, 2003).

Graus de humidade	Característica	Cor da água que flui entre os dedos	Fração da turfa que flui entre os dedos	Permanece na mão		CLASSE
				Forma	Estrutura vegetal	
H1	Sem decomposição	Incolor	Não passam sólidos entre os dedos	Não tem aspecto gelatinoso	Estrutura vegetal nitidamente reconhecível	FIBROSA
H2	Muito pouco decomposta	Ligeiramente castanha				
H3	Muito fracamente decomposta	Castanha fraca				
H4	Fracamente decomposta	Muito castanha				
H5	Decomposta	Líquido escuro	Passa pouco	Apresenta aspecto gelatinoso	Ainda pouco reconhecíveis os vegetais	HÊMICA
H6	Bem decomposta		Passa 1/3 do volume			
H7	Fortemente decomposta		Passa a metade			
H8	Muito fortemente decomposta		Passam 3/5 do volume	Ficam na mão resíduos de fibras, raízes, etc.	SÁPRICA	
H9	Quase totalmente decomposta	Passa quase tudo				
H10	Completamente decomposta	O material flui integralmente entre os dedos	Sobra muito pouco na mão			

3.5 TÉCNICAS ISOTÓPICAS

a) Análises de ^{12}C , ^{13}C e ^{14}N , ^{15}N

Para as análises dos isótopos estáveis o material de solo foi coletado em profundidades pré-determinadas, com intervalos de 10 em 10 cm até a profundidade de 200 cm. As amostras foram secas em estufa a 45°C por 24h, destorroadas, maceradas em gral de porcelana e passadas em peneira de 100 mesh (Figura 13).

O solo foi pesado em cadinhos de estanho de acordo com o teor de carbono existente e o conjunto foi modelado em forma de esfera com auxílio de pinças. Todo o manuseio de amostras e materiais foi feito com o uso de luvas para evitar contaminação do material com carbono e nitrogênio proveniente das mãos do operador. As esferas foram colocadas em ordem em espaços reservados para padrões do Laboratório de Isótopos Estáveis, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, onde as análises foram realizadas.

Para a determinação da razão isotópica (Gouveia et al., 1997) o material foi quantificado em um analisador elementar acoplado a espectrômetro de massa, onde as amostras foram submetidas à alta temperatura em tubo de combustão e então transformadas em compostos de carbono e nitrogênio, como o CO_2 e NO_x . Esses gases são separados em coluna cromatográfica gasosa e analisados no espectrômetro de massa e a composição isotópica da amostra é comparada com a do padrão de valor conhecido. Os resultados da variação isotópica do carbono foram expressos na forma $\delta^{13}\text{C}$ (‰) em relação ao padrão internacional PDB (Pee Dee Belemnite) e para o nitrogênio na forma $\delta^{15}\text{N}$ (‰) em relação ao ar atmosférico (Tabela 3).



Figura 13. Pré tratamento das amostras para análise de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio.

Tabela 3. Abundância natural, razão isotópica e respectivos padrões usados na análise de isótopos estáveis.

Elemento	Isótopo	Abundância (%)	Razão	Padrão
Carbono	^{12}C	98,98	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	PDB
	^{13}C	1,11		
Nitrogênio	^{14}N	99,63	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	$\text{N}_2\text{-atm}$
	^{15}N	0,36		

Fonte: Modificado de Dawson & Brooks, 2001

b) Análises de ^{14}C

O material foi coletado em função da profundidade do horizonte orgânico nos perfis de solo. No primeiro ponto de coleta foi estabelecido como de 40-50 cm, assumindo-se que na superfície do terreno o material vegetal tenha idade zero, isto é, o material depositado é o mais recente. A opção por esta profundidade se deu em função do critério de espessura mínima para a classificação do Organossolo (SiBCS - Embrapa, 2013).

Para as análises de ^{14}C o material de solo não pode ter contato com ferramentas e coletores que possam conter resíduos orgânicos ou mesmo com outros solos pois pode haver contaminação. O contato com as mãos também não é indicado por ser fonte de carbono recente (o carbono da pele é adicionado ao da amostra de solo, mascarando assim os dados da datação do material orgânico do solo, subestimando esses valores). Logo, para a coleta foram usadas luvas de vinil descartáveis e para processar as amostras foram usadas bandejas plásticas novas.

As amostras de solo foram retiradas através da abertura de trincheira, onde o material foi coletado de baixo para cima e o solo colocado nas bandejas plásticas. Na sequência e ainda no campo foi feita a catação prévia de raízes e da fauna visível (material vegetal vivo de fácil visualização no campo), para reduzir possíveis contaminantes. Caso o material vivo fosse deixado na amostra a sua decomposição iria resultar em adição de carbono recente. Em seguida o material foi ensacado, vedado, identificado e transportado para o Laboratório de Gênese e Classificação do Solo – UFRRJ, onde foi submetido a tratamento inicial.

A análise requer uma fase de pré-tratamento para a extração da humina, que consiste na remoção dos ácidos húmicos e fúlvicos (Gouveia et al., 1999). Esses ácidos são considerados a parte mais recente da matéria orgânica e como estão em via de humificação

poderiam fornecer idades mais atuais. Dessa forma, a datação seria subestimada quanto à idade real do material. Essa extração foi realizada no Laboratório de Gênese e Classificação do Solo, na UFRRJ. A metodologia de extração de humina foi adaptada de Gouveia et al. (1999) e Pessenda et al. (2009) e as etapas são descritas a seguir.

Após a coleta o material foi acondicionado em bandejas de plástico e seco em estufa a temperatura de 40°C por três dias. No material seco foi feita nova retirada de partes de plantas, galhos e raízes, na amostra. A mesma foi então destorroada e cerca de 500g de terra foram colocadas em becker de vidro de 2L onde adicionou-se HCl a 0,01 mol L⁻¹ para a remoção de restos vegetais que não foram separados pela catação. Nessa etapa ocorreu a flotação dos resíduos orgânicos, que foram então removidos até que não mais se observasse os mesmos. Para amostras com muitos resíduos de plantas, estes foram retirados com auxílio de uma peneira de malha fina. O material que continuou no becker foi então lavado com água destilada, centrifugado e seco em estufa (Figura 14). O material já seco foi destorroado e desagregado em moinho de bola (moinho de porcelana com esferas também de porcelana em seu interior) para atingir tamanho menor que 0,2 mm.

A fração menor que 0,2 mm foi transferida para dois becheres, onde se adicionou 2L de HCl a 0,5 mol L⁻¹ em cada um; essa solução foi aquecida a 80°C por 4 horas em chapa elétrica para a remoção dos ácidos fúlvicos. Na sequência o material foi transferido para seis tubos de centrífuga de 1L para a lavagem (L) do material com água destilada e centrifugação (C) visando a remoção do HCl (essa etapa de centrifugação não faz parte da metodologia original, trata-se de adaptação que será justificada posteriormente), o que é aferido pela leitura do pH. Foram repetidos vários ciclos de LC até a elevação do pH para valores próximos ao pH da água destilada usada no processo, que foi de 4,62.

Continuando a extração, foram adicionados cerca de 700 mL da solução de mistura de pirofosfato e hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹ (pH 13,0) em cada tubo de centrífuga, para solubilização e remoção do extrato alcalino (ácidos húmicos +ácidos fúlvicos). As extrações destes ácidos foram repetidas em várias sequencias de adição de solução alcalina e centrifugação até que a solução sobrenadante se tornasse clara. O resíduo foi novamente submetido a uma sequencia LC até alcançar o valor de pH da água destilada.



Figura 14. Etapas da extração de humina, pré tratamento para remoção dos ácidos orgânicos.

A última etapa do pré tratamento é a de hidrólise ácida, onde a amostra retorna ao becher e é adicionado HCl 3 mols L⁻¹ a 100°C durante 12 horas. Nesta fase, resíduos orgânicos como: açúcares, proteínas, gorduras e da contaminação com o CO₂ atmosférico, são removidos. O resíduo foi novamente submetido a sequencia LC até alcançar o pH da água destilada e então, no becher de vidro, levado para secar em estufa por 48h a 40°C. Depois de seco o material foi macerado em almofariz de porcelana e acondicionado em sacos plásticos identificados. As amostras foram encaminhadas para a datação por síntese benzênica, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA / USP, Laboratório de Isótopos Estáveis.

A metodologia, em geral, não oferece elevado grau de dificuldade; apesar de exigir atenção e ter muitos passos críticos, principalmente na coleta para evitar contaminação, pois uma vez contaminada a amostra passa a apresentar valores mais jovens, invalidando as etapas subsequentes. A extração de humina geralmente é utilizada em solos minerais e com teores de carbono menores, como por exemplo, Latossolos (Vermelho, Vermelho-Amarelo, com horizonte A húmico), Cambissolos e Nitossolos (Gouveia et al., 1999) ou sedimentos (Lorente et al., 2014). Quando realizada em Organossolos requer grande número de repetições da etapa alcalina (até a solução se tornar clara) o que aumenta o tempo de duração do pré tratamento. Outro passo inserido no procedimento foi a centrifugação para acelerar as lavagens, pois o material não teve boa sedimentação e, em alguns casos, 24 horas após parte do material ainda se encontrava no centro do becher, não se depositando no fundo, provavelmente devido a menor densidade dos Organossolos.

No entanto, a análise de datação da humina traz resultados que são inquestionáveis e pode ser utilizada com precisão para solos e sedimentos, gerando informações importantes para os estudos paleoambientais e pedogenéticos.

3.6 CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ORGANOSSOLOS

De uma forma geral, quanto aos procedimentos analíticos, pode se ressaltar os seguintes aspectos como relevantes em estudos com Organossolos:

a) Quanto à amostragem, em ambientes com hidromorfismo, além do registro da altura do lençol freático, devem-se tomar cuidados especiais para a descrição e coleta dos perfis. Se necessário, coletar rapidamente o material em grandes blocos com auxílio de pá reta, retirar-los da trincheira e então descrever os horizontes e camadas.

b) As amostras devem ser divididas em duas partes, no campo ou no laboratório, uma a ser armazenada com a umidade de campo, em alguns casos em condições de refrigeração, e a outra para processamento e obtenção da TFSA. Em solos tiomórficos a leitura do pH na amostra úmida é requerida. Para avaliar os atributos químicos, é necessária a filtração após a extração para remover partículas grosseiras.

c) As análises para caracterização do Organossolo, principalmente quanto a interpretação da Escala de Von Post, apresentam alto grau de subjetividade em função do avaliador e da experiência do pedólogo com esses solos.

d) Quanto às análises do carbono orgânico, o peso inicial de amostra deve ser reduzido, em função do alto teor de matéria orgânica. O que pode conduzir a erros em análises, como na caracterização espectroscópica através da relação E4/E6. Embora não interfira no fracionamento químico para identificar as substâncias húmicas.

e) O método de isótopos estáveis apresenta bons resultados e pode ser utilizado nos Organossolos. A datação da matéria orgânica através do ^{14}C é um procedimento útil para compreensão da pedogênese, cabe ressaltar que exige pré tratamento demorado nesses solos.

Devido à grande heterogeneidade dos Organossolos e materiais orgânicos, recomenda-se maior número de repetições de campo e de laboratório nas análises, ou ao menos cuidadosa interpretação dos resultados, e, se incoerentes, repetição da análise. Outras informações sobre procedimentos e análises podem ser encontradas também nos trabalhos de Conceição (1999) e Valladares (2003). Todavia, permanece a necessidade de mais pesquisas para estabelecer protocolos de análise para Organossolos; assim como, padronizar técnicas e adaptar procedimentos.

Os dados nesse estudo foram avaliados pela comparação entre os horizontes do perfil, caracterização e classificação dos solos. Em seguida foram avaliados através da interpretação de indicadores ambientais e pedológicos, como modelos de fluxo de energia no sistema e indicação da vegetação pregressa. Assim, a interpretação dos dados é realizada em conjunto, ou seja, uma análise dá suporte a outra na reconstrução do ambiente passado. Os estudos sobre a gênese de Organossolos, mais que nas outras ordens de solos, devem envolver conhecimentos e metodologias de outros campos da ciência, como a palinologia, botânica e levantamentos fitosociológicos, geociências (datação e reconstrução ambiental), climatologia etc.

4 CAPÍTULO II

GÊNESE DOS ORGANOSSOLOS EM AMBIENTE DE CLIMA QUENTE E ÚMIDO E RELEVO PLANO DE VÁRZEA

4.1 RESUMO

A maior parte dos Organossolos mapeados no Brasil encontram-se em zonas de baixa altitude como planícies costeiras, deltas ou interiores fluviais e lacustres. Essas áreas apresentam temperatura e umidade elevadas e, geralmente, o fluxo de água na paisagem local torna o ambiente propício a ocorrência do processo pedogenético de paludização. Este trabalho teve como objetivo avaliar a gênese de Organossolos em ambiente de clima quente e úmido e em relevo plano de várzea, no Bioma de Mata Atlântica, no Estado do Rio de Janeiro. Foram selecionadas duas áreas com Organossolos, em mesmo ambiente hidromórfico. O perfil RJ-01 está localizado no interior do Colégio Estadual Agrícola Almirante Ernani do Amaral Peixoto, no Distrito de Conceição do Suruí, Magé. A vegetação é caracterizada como restinga afastada do litoral, com árvores de porte mais alto. O perfil RJ-02 está localizado em propriedade particular, Sítio Timbó, no município de Campos dos Goytacazes. A vegetação foi caracterizada como herbácea. O perfil RJ-01 foi classificado como ORGANOSSOLO Tiomórfico Sáprico típico e o perfil RJ-02 como ORGANOSSOLO Háptico Sáprico típico. Os solos apresentaram morfologia similar diferindo na profundidade do horizonte hístico, e para os atributos químicos, o RJ-02 apresentou indícios de salinização, com maior teor de sódio. Quanto ao grau de decomposição da matéria orgânica, os dois solos foram classificados como sápricos e a classificação do material orgânico através dos teores de fibras esfregadas e índice de pirofosfato mostrou relação consistente com a escala de Van Post. Os valores de C e N apresentaram comportamentos distintos, onde RJ-01 apresentou incremento nos horizontes subsuperficiais e no RJ-02 os valores decrescem em profundidade. O aporte atual de carbono foi maior em RJ-02, mas a relação C:N indicou maior evolução da matéria orgânica do solo na maior parte do perfil RJ-01. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ indicaram empobrecimento de ^{13}C em RJ-02, com mudança de 4 δ , sugerindo que a vegetação era composta principalmente de plantas C_3 (-31‰) e atualmente aumentou a mistura de plantas C_3 e C_4 (valores próximos a -26‰). A taxa de deposição do material orgânico foi semelhante para os perfis, RJ-01 com taxa média de 1,7 mm.ano⁻¹, e RJ-02 com média de 1,9 mm.ano⁻¹. Apesar de diferenças na idade dos perfis, os fatores clima e relevo foram os principais responsáveis pela expressão dos processos de formação paludização e gleização.

Palavras-chave: Paludização. Solos orgânicos. Técnicas isotópicas.

4.2 ABSTRACT

Most Histosols mapped in Brazil are in low areas such as coastal plains, deltas or river and lake interiors. These areas have high temperature and humidity and usually the water flow into the local landscape makes the environment conducive to the occurrence of the pedogenic process of paludization. This work aimed to evaluate the genesis of *Organossolos* (Histosols) in hot and humid environment and floodplain relief, in the biome of Atlantic Forest in the state of Rio de Janeiro. Two areas were selected in similar hydromorphical conditions. The RJ-01 profile is located in the Agricultural State College Admiral Ernani do Amaral Peixoto campus, district of Conceição do Suruí, Magé municipality. The vegetation was characterized as a variation of coastal *restinga* with tall trees. The RJ-02 profile is located at a private property, Sítio Timbo, in the municipality of Campos dos Goytacazes. The vegetation was characterized as herbaceous. The RJ-01 profile was classified as *ORGANOSSOLO Tiomórfico Sáprico típico*, the RJ-02 as *ORGANOSSOLO Háptico Sáprico típico*; equivalent to Sulfosaprists (RJ-01) Haplosaprists (RJ-02), in the Soil Taxonomy (USDA-NRCS). The soils showed similar morphology differing in depth of histic horizon. As for the chemical properties, RJ-02 had high sodium content, and indication of salinization. The degree of decomposition of organic matter, allowed to classify both soils as sapric and the classification of soil organic material based on contents of rubbed fiber and pyrophosphate index were consistent with the Van Post scale. The values of C and N showed different patterns, where RJ-01 showed an increase in the subsurface horizons, and RJ-02 had a decrease with depth. The current carbon addition was larger in RJ-02, but the C:N ratio indicated a greater evolution of soil organic matter in most part of RJ-01 profile. The values of $\delta^{13}\text{C}$ indicated depletion of ^{13}C in RJ-02, with shifting of 4δ , suggestive of a vegetation composed primarily of C3 plants (-31‰) and currently an increase in the mixture of C₃ and C₄ plants (values near - 26‰). The organic material deposition rate was similar in the profiles, RJ-01 having a rate of 1.7 mm.ano⁻¹ and RJ-02 averaging 1.9 mm.ano⁻¹. Despite the differences in the age of profiles, the climate and topography were the main factors responsible for the expression of paludização and formation of gley horizon.

Keywords: Paludização. Organic soils. Isotopic techniques.

4.3 INTRODUÇÃO

De acordo com os levantamentos da FAO, a maioria das áreas de Organossolos nos trópicos está localizada em zonas de baixa altitude, por exemplo, em planícies costeiras, em deltas ou nas zonas interiores fluviais e lacustres (FAO, 2014). Sendo a formação desses solos com alto teor de matéria orgânica decorrente de um sistema híbrido que envolve duas fases distintas, interligadas e interdependentes, o clima quente e o relevo de várzea.

As várzeas ou planícies de inundação como também são conhecidas, são sistemas de transição entre o ambiente terrestre e o aquático. Esse ecossistema é estruturado em função do constante fluxo horizontal de água na paisagem, sendo este fluxo maior ou menor de acordo com a sazonalidade ao longo do ano (Christofolletti, 1980). O ambiente de várzea apresenta diferentes definições dependendo da abordagem. Topograficamente, é uma planície constituída em superfície uniforme, próxima a rio; hidrologicamente, é definido como superfície sujeita a inundação periódica; geologicamente, é a área do vale fluvial coberta com materiais depositados pelas cheias; geomorfologicamente é uma forma de terreno composta de material inconsolidado depositado pelo rio em épocas distintas (Christofolletti 1980).

A definição de várzea utilizada como referência nesse estudo foi a de áreas úmidas periodicamente inundadas pelo transbordamento lateral dos rios e lagos, promovendo interações entre os ecossistemas aquáticos e os terrestres (PROVÁRZEA, 2010), aplicada pelo Ministério do Meio Ambiente. Neste contexto, as várzeas se constituem em locais de grande oferta de água ao longo do ano, que são gradualmente ocupadas com vegetação característica de juncos e caniços, de natureza higrófila ou hidrófila, e preenchidas com os restos de plantas aquáticas que se acumulam nas partes mais profundas (Brady, 1989). Ambiente este propício para que ocorra o processo pedogenético de paludização.

Assim os locais que favorecem o acúmulo de material orgânico pela inibição da atividade microbiana, decorrente da decomposição mais lenta, pelas condições de baixa oxigenação (ambientes hidromórficos) ou baixa disponibilidade de nutrientes ou presença de elemento tóxico (condições oligotróficas), levam a formação de solos com elevado teor de matéria orgânica resultante da ação combinada dos fatores relevo, organismos e clima com os processos múltiplos de adição e transformação (Driessem 2001; Ker et al., 2012).

Inicialmente a paludização é considerada um processo geogênico, até que ocorra o preenchimento da depressão, estando relacionada à deposição e acumulação do material orgânico (Pereira et al., 2005), que posteriormente, com a mudança da condição de aeração resulta na gênese do Organossolo. O processo constitui-se na acumulação de camadas espessas de material orgânico, pela progressiva colonização por grupos de plantas e adição de restos vegetais em ambiente predominantemente anaeróbio, com a formação de turfas (Pons 1960). A maioria dos estudos realizados com Organossolos no Brasil está relacionada a zonas de reduzida elevação (várzeas) e com temperatura e umidade elevadas (Simpósio Nacional de Solos Orgânicos, 1984; Pinto et al., 1999; Conceição et al., 1999; Mendonça, 1999; Valladares, 2003; Valladares et al., 2003; 2008; Pereira et al., 2005; Pérez et al., 2009; Fontana et al., 2010; 2011; Ebeling et al., 2011a, 2011b, 2013a, 2013b; Silva et al., 2014).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a gênese dos Organossolos em ambiente de clima quente e úmido e em relevo plano de várzea, no Bioma de Mata Atlântica, no Estado do Rio de Janeiro.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Caracterizações do Meio Físico

O critério de escolha das áreas foi descrito anteriormente. As áreas encontram-se em ambiente de baixa altitude (várzea) o que confere a elas regime hidromórfico constante.

a) Área 1 - Magé, RJ

O município de Magé faz parte da na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RHBG), mais precisamente ao fundo. Essa região apresenta alto grau de degradação ambiental, com redução acentuada das áreas originais de manguezais, Figura 15. Apresenta como característica física relevo dominado ao norte pela escarpa da Serra do Mar, com relevo montanhoso, e fundo de vale formando amplas baixadas (IBGE, 2008).

Na faixa central do município observa-se relevo dissecado, de geologia pré-cambriana (granito suruí), representado por blocos isolados de rochas (formando colinas) e por duas pequenas serras mais contínuas que, dividem a drenagem (Lemos, 2002). Em parte da orla do fundo da baía o embasamento cristalino chega até o litoral (Amador, 1997).

A área de coleta esta inserida na undiade de sedimentos flúvio-marinhos holocênicos (Formação Magé), onde ocorreu a formação em níveis de terraços e restingas a partir da Transgressão Ganabariana (Amador, 1997). Litologicamente são constituídos de sedimentos finos, siltico-argilosos ou argilo-silticos, ricos em matéria orgânica (Amador, 1997).



Figura 15. Localização do Município de Magé no Estado do Rio de Janeiro. (Fonte: Wikipédia, 2012)

O município de Magé faz fronteira a norte com Petrópolis, onde se encontra o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, a oeste com Duque de Caxias, a leste com Guapimirim e ao sul com a Baía de Guanabara. A hidrologia é caracterizada por rios de curta extensão, que ao deixarem o relevo mais abrupto perderem rapidamente sua energia, passando a meandros próximos à sua foz. Sendo composta basicamente por 5 rios: Rio Roncador, Rio Inhomirim, Rio Magé-mirim, Rio Saracuruna e Rio Suruí, este onde se encontra a área de estudo (IBGE, 2008).

A região possui canais de drenagem que desaguam na Baía da Guanabara e os materiais de origem são sedimentos argilo-siltosos, bastante ricos em matéria orgânica

(Bittencourt et al., 1983) e com influência das marés, pois em época de cheia as águas da baía avançam pelos canais de drenagem chegando às zonas baixas da paisagem. A elevação no local de coleta do perfil é de 3 m de altitude. O clima na área é tropical úmido com verão quente e chuvoso e o inverno frio e seco, com temperatura média anual de 27°C e precipitação média anual aproximadamente de 1.500 mm (INMET, 2006), exceto em áreas altas próximo à Serra dos Órgãos onde predomina o clima tropical de altitude. A média de temperaturas mínimas é de 18°C (IBGE, 2008).

A área de estudo constitui parte do Bioma Mata Atlântica com temperaturas mais elevadas e a presença comum de chuvas. A vegetação é caracterizada como de restinga afastada do litoral, com árvores de porte mais alto, aproximadamente 10 metros em pontos de acúmulo de água, chamada Mata de Restinga (Figura 16).



Figura 16. Visão geral da área de estudo em Magé, ilustrando vegetação com predomínio de porte arbóreo.

De acordo com o RADAMBRASIL (1983) e Veloso et al. (1991) a região está inserida nas Áreas das Formação Pioneiras, sobre Influência Fluvio-Marinha Arbórea (Mangue) sendo considerada como:

“Áreas com vegetação de primeira ocupação, que se instalam sobre áreas pedologicamente instáveis com constantes deposições, podem ser: áreas com influência marinha (restinga), (...), áreas com influência flúvio-marinha, onde se desenvolve uma vegetação que pode apresentar fisionomia arbórea constituída pelo mangue, ou herbácea e áreas com influência fluvial, áreas de acumulação dos cursos de água e lagoas sujeitas a inundações periódicas que abrigam vegetação de fisionomia herbácea.”

O local de coleta do perfil de solo está situado no interior do Colégio Estadual Agrícola Almirante Ernani do Amaral Peixoto, no Distrito de Conceição do Suruí, Magé, Rio de Janeiro.

b) Área 2 - Campos dos Goytacazes

O Município de Campos dos Goytacazes localiza-se no Norte do Estado do Rio de Janeiro (Figura 17), possui uma extensão territorial de mais de 4 000 km². Inicialmente foi habitado pelos índios Goitacá, que significa em Tupi-guarani índios nadadores, acredita-se que essa definição seja em função do ambiente de várzea ao qual habitavam (Paes, 2014).

O município possui três províncias geomorfológicas, uma delas é a planície costeira, na qual se encontra a área de estudo. Essa feição é caracterizada por relevo mais baixo com rede hidrográfica de padrão dentrítico, com altitude máxima da ordem de 12 m (PROJIR, 1984) fortemente influenciada pelo Rio Paraíba do Sul e afluentes, apresentando feições de deltas, lagos e lagoas e a zona costeira, essa área é denominada planície goitacá.

O município possui clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, sendo caracterizado como clima quente e úmido com estação chuvosa no verão. O regime pluviométrico é continental com uma estação seca acentuada. A temperatura média anual é de 23,8 °C, onde janeiro, fevereiro e março são os meses mais quentes, atingindo médias de 26,5, 27,0 e 26,3 °C, respectivamente e o mês mais frio é julho com 21,1 °C (CIIAGRO, 2014).

A precipitação pluviométrica varia de 23 mm, em agosto (mês de menor incidência de chuvas), a 198 mm em dezembro, mês em que ocorre maior volume de chuvas. No período de 30 anos, a precipitação média anual foi de 1.085 mm, com período de maior pluviosidade média compreendida entre os meses de outubro a janeiro. Porém há um período seco bem marcado no inverno, de maio a setembro, com precipitação na faixa de 20 a 60 mm (CIIAGRO, 2014). O que não ocorreu durante o ano de coleta (2013), o material foi coletado em setembro devido a chuvas constantes em todo o inverno.



Figura 17. Localização do Município de Campos dos Goytacazes no Estado do Rio de Janeiro. (Fonte: Wikipédia, 2014)

De acordo com o RADAMBRASIL (1983) e Veloso et al. (1991) a região está inserida na mesma fitosionomia da área 1, sendo também descrita como Áreas das Formação Pioneiras, sobre Influência Fluvio-Marinha. O local de coleta do perfil de solo situa-se em propriedade particular (Sítio Timbó), em ambiente de várzea predominantemente preservada. No local de abertura da trincheira, a vegetação é herbácea e é utilizada para pastejo esporadicamente.



Figura 18. Paisagem na área de coleta do perfil de solo, enfatizando relevo e vegetação de porte herbáceo em campo higrófilo de várzea (Fotos: P.F.C. Soares)

Os ambientes de formação dos perfis RJ-01 e RJ-02, embora localizados em municípios distantes (Magé e Campos dos Goitacazes) são semelhantes, o que confere aos horizontes hísticos atributos morfológicos similares. A principal diferença na paisagem (Figuras 16 e 18) é que o RJ-01 está situado ao fundo da Baía da Guanabara e o RJ-02 as margens da Lagoa Feia. Dessa forma, a hidropedologia e o regime hídrico atual dos solos são distintos.

A posição na paisagem, classe de drenagem, elevação e coordenadas dos perfis são apresentadas na Tabela 4. Pode ser visto que os dois perfis estão em locais com elevações idênticas. Quanto a distância horizontal, os perfis distam em cerca de 186,0 km (informação estimada a partir de coordenadas obtidas com auxílio de imagem do Google Earth, 2015).

Tabela 4. Informações sobre os perfis de Magé e Campos dos Goitacazes, paisagem, drenagem, elevação e coordenadas geográficas.

Perfil	Posição na paisagem	Drenagem	Elev	Coordenadas (UTM)
RJ-01	Várzea, fundo da Baía de Guanabara	Muito mal drenado	3m	23K 0694090 7497861
RJ-02	Várzea, margem Lagoa Feia	Muito mal drenado	3m	24K 0244073 7579174

4.4.2 Análises para Caracterização dos Organossolos

A descrição dos procedimentos analíticos para a caracterização dos Organossolos foi apresentada no **Capítulo I**.

Como a seleção das áreas partiu do princípio de se estudar Organossolos, a Ordem de solo foi pré-determinada, sendo classificados os perfis nos demais níveis taxonômicos inferiores do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). A descrição geral do perfil e a descrição morfológica foi feita de acordo com o Manual de Coleta de Solos no Campo (Santos et al., 2013b) e é apresentada no anexo.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Caracterização Morfológica e Classificação dos Solos

Os perfis RJ-01 e RJ-02 apresentaram horizontes superficiais hísticos, porém no RJ-01 o horizonte orgânico ocorreu em toda a profundidade analisada, enquanto que em RJ-02 a espessura dos horizontes orgânicos somou apenas 40 cm (limite para Organossolos) e ocorrem dois horizontes minerais na sequência (Figura 19), ou seja, o solo tem sequência H1-H2-Cg. A identificação do horizonte Cg no perfil RJ-02 (Campos dos Goytacazes) é consistente com o lençol freático elevado (30 cm na ocasião da coleta) e a posição de várzea próxima a Lagoa Feia.



Figura 19. Perfis de Organossolos, RJ-01 em Magé (esquerda) e RJ-02 em Campos dos Goytacazes (direita), ambos em ambiente de várzeas no Rio de Janeiro. (Foto: Soares, 2012/2013)

O RJ-01 (Magé) apresentou sequência de vários horizontes orgânicos (H) que indica o empilhamento de tipos diferentes de vegetação ao longo do tempo. Nos horizontes H1 e H2 não foi possível a identificação de material orgânico pouco alterado. Já nos demais horizontes foram encontrados pedaços relativamente grandes de troncos médios e finos e galhos em quantidades crescentes (esse material é ilustrado no anexo), no entanto a quantidade de fibras na massa de solo não era perceptível. Esses horizontes receberam numeração indicativa de descontinuidade, representada pelo número 2 precedendo a denominação dos horizontes.

A cor dos horizontes dos dois perfis manteve o mesmo matiz, 10YR (Tabela 5). Para o perfil RJ-01 os dois primeiros horizontes apresentaram cor 10YR 4/4 (bruno amarelado escuro) e nos demais 10YR 3/3 (bruno escuro). Ao longo do perfil, as cores foram mais escuras em RJ-01, devido ao maior teor de material orgânico. Em RJ-02, para o H1 foi identificada a cor 10YR 3/1 (cinzento muito escuro) e em H2 10YR 3/2 (bruno acinzentado muito escuro), tendo os dois horizontes Cg cor 10YR 6/1 (cinzento). Nesse contexto a morfologia dos dois perfis, de cores com valor e croma baixo, indica a influência da matéria orgânica e os caracteriza como Organossolos, de acordo com o SiBCS (Embrapa et al., 2013a).

Os perfis apresentam em seus dois primeiros horizontes os atributos 'textura expedita' e grau de desenvolvimento, tamanho e forma da estrutura, semelhantes (Tabela 5). A textura expedita identifica o material como de natureza orgânica, porém percebem-se distinções quanto à decomposição do material orgânico. Em RJ-02, as fibras ocorrem em maior quantidade em H1 e H2 e em seguida a esses horizontes ocorre o Cg. Nos demais horizontes do perfil RJ-01 (2Hd4, 2Hd5, 2Hd6) a estrutura é maciça e apresentam fragmentos vegetais em bom estado de conservação e identificáveis.

Para os horizontes superficiais as unidades estruturais apresentaram a mesma forma granular, variando de tamanho, sendo menor em RJ-02 (pequenas a médias). Considerando a deposição de material orgânico e o processo de paludização, o RJ-02 pode ser considerado como tendo menor grau de evolução pedogenético em relação ao RJ-01, pois seus dois últimos horizontes são minerais e possuem estrutura maciça (Cg). As características morfológicas e a localização na paisagem indicam que os dois perfis foram formados através do processo de paludização. Em RJ-01 toda a extensão do perfil (compreendendo H1, H2 H3, 2Hd4, 2Hd5, 2Hd6) e em RJ-02 os horizontes H1 e H2 foi formada por esse processo. No RJ-02 também ocorre a gleização (Cg1 e Cg2) (Tabela 5).

Quanto à solubilidade em pirofosfato de sódio, a determinação de fibras esfregadas e a escala de decomposição de Von Post, as duas áreas apresentaram grau de transformação da matéria orgânica semelhante, ambas enquadraram-se como sáprico no terceiro nível taxonômico do SiBCS (Embrapa et al., 2013a). Em ambiente tropical, a matéria orgânica é mineralizada em taxa mais elevada, diminuindo o teor de fibras nos Organossolos, o que pode explicar a presença somente de materiais sápricos, em RJ-01 e em RJ-02 (Tabela5).

Ajunção dos valores de índice de solubilidade em pirofosfato de sódio e dos teores de fibras esfregada quando comparada com os índices da escala de Von Post, mostra variação de valores consistente. Os dois perfis apresentaram em toda ou na maior extensão do perfil o maior grau de evolução da matéria orgânica, ou seja, se enquadram como Sáprico. É possível visualizar que os dados de teor de fibras esfregadas, índice de pirofosfato de sódio e a escala de Von Post se completam, fornecendo bom critério para a classificação dos Organossolos.

Quanto a classificação do solo os valores baixos de pH na maior parte dos 100 cm conferem ao perfil RJ-01 a classificação em nível de sub ordem como Tiomórfico, ao passo que RJ-02 foi classificado como Háptico, por não se enquadrar em nenhuma outra classe. Na sequência os dois foram classificados como Sápricos típicos.

As etapas percorridas para a classificação dos perfis no SiBCS foram apresentadas nas Figura 20 e 21.

Tabela 5. Descrição de alguns atributos morfológicos de horizontes de Organossolos em Magé (RJ-01) e Campos dos Goitacazes (RJ-02).

Perfil	Horiz.	Prof. cm	Cor Munsell	Classe de textura	Estrutura	Von Post		FE %	IP
						Índice	Material		
ORGANOSSOLO Tiomórfico Sáprico típico									
	H1	0-12	10YR4/4	natureza orgânica	Mod, m/g, granular	H8	Sáprico	12	3
	H2	12-35	10YR4/4	natureza orgânica	Mod, m/g, granular	H8	Sáprico	16	3
	H3	35-46	10YR3/3	natureza orgânica	Maciça	H8	Sáprico	17	3
	2Hd3	46-64	10YR3/3	natureza orgânica	Maciça	H9	Sáprico	18	3
RJ-01	2Hd4	64-82	10YR3/3	natureza orgânica	Maciça	H9	Sáprico	18	2
	2Hd5	82-90	10YR3/3	natureza orgânica	Maciça	H9	Sáprico	20	2
	2Hd6	90-100 ⁺	10YR3/3	natureza orgânica	Maciça	H7	Hêmico	26	2
ORGANOSSOLO Háplico Sáprico típico									
	H1	0-19	10YR3/1	natureza orgânica	Mod, p/m, granular	H9	Sáprico	17	2
	H2	19-40	10YR3/2	natureza orgânica	Mod, p/m, granular	H9	Sáprico	20	2
RJ-02	Cg1	40-50	10YR6/1	argilosa	Maciça	---	---	17	5
	Cg2	50-67 ⁺	10YR6/1	argilosa	Maciça	---	---	12	5

4.5.2 Atributos Químicos

Os valores dos elementos do complexo sortivo referentes aos perfis RJ-01 e RJ-02 são apresentados na (Tabela 6). Os valores de pH apresentaram variações ao longo dos perfis, de 3,09 a 3,95, em RJ-01, a 4,03 a 5,14, em RJ-02. Esses valores indicam a presença de materiais sulfídricos em RJ-01, sendo estes caracterizados por valores de pH maiores que 3,5, que quando expostos a aeração diminuem 0,5 ou mais, em geral com croma maior que 2 e valor menor que 5. Os valores de pH identificam os materiais de solo como ácidos, no entanto para solos timórficos essa classificação não é aplicada, já que esses solos podem apresentar pH de até 2,5 (Ebeling et al., 2008; Mesquita et al., 2009; Valladares, 2003).

Em geral os teores dos elementos trocáveis foram baixos, com exceção do Al e H, como é típico dos Organossolos. Os valores de Al foram elevados no perfil RJ-01 (entre 1,62 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, horizonte H₁, e 6,04 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ em 2Hd6). Já em RJ-02 a amplitude dos valores foi menor, variando entre 0,16 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, em Cg2, a 1,58 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ em H1.

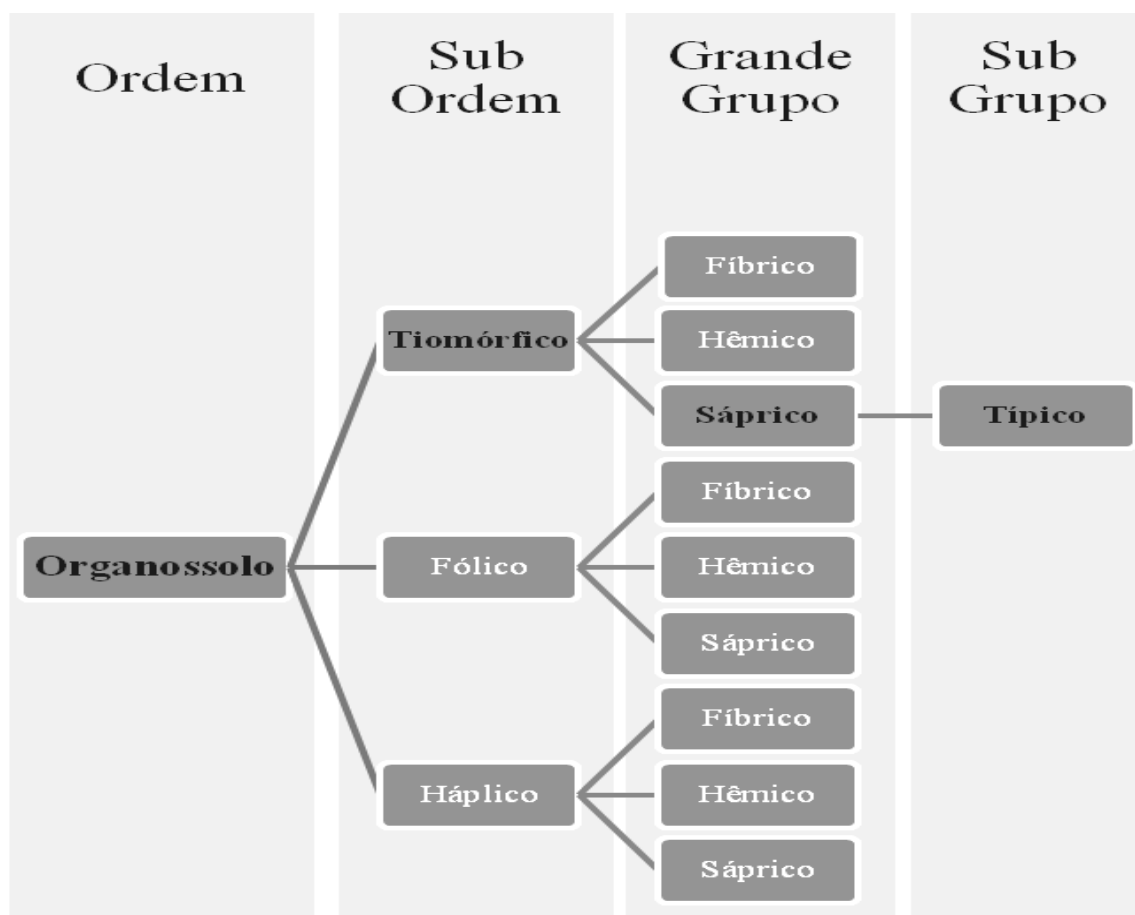


Figura 20. Sequências de passos percorridos no SiBCS até a classificação no 4º nível taxonômico para o perfil RJ-01.

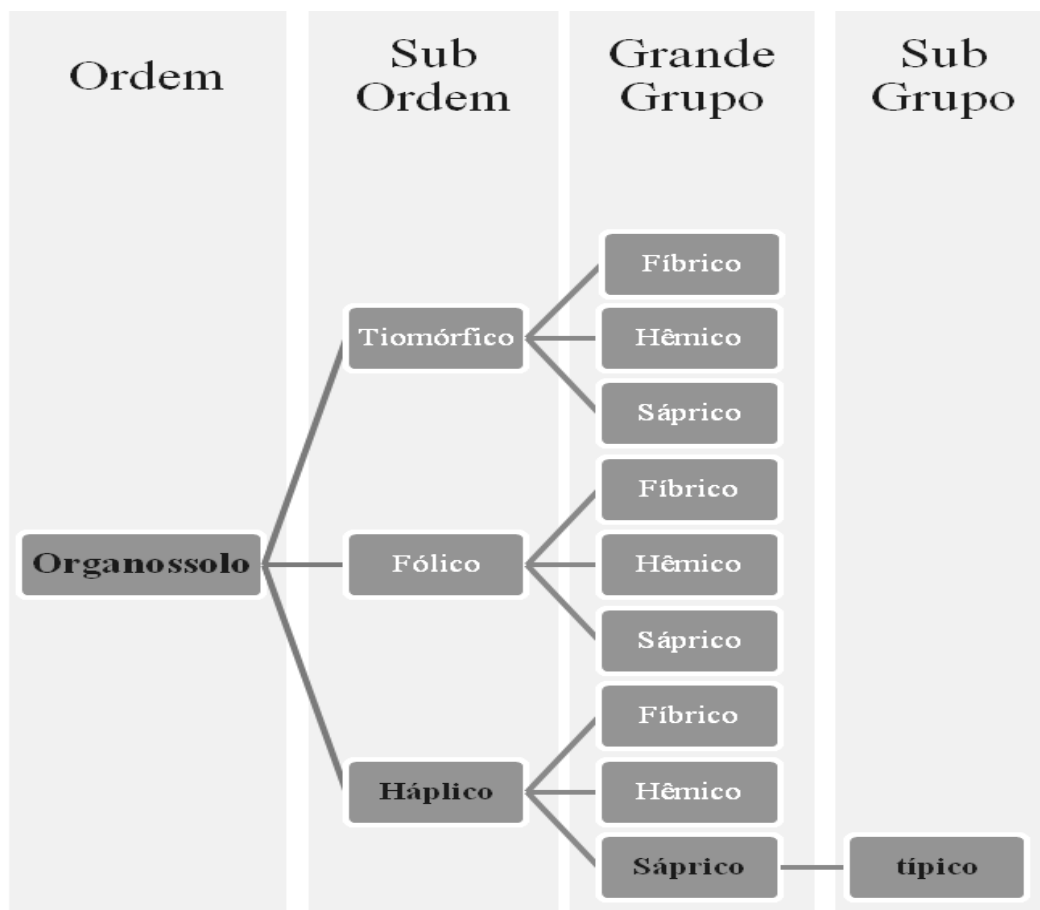


Figura 21. Sequências de passos percorridos no SiBCS até a classificação no 4º nível taxonômico para o perfil RJ-02.

Esses valores têm menor efeito negativo sobre as plantas devido à capacidade da matéria orgânica de complexar o Al (Ebeling et al., 2008; Mesquita et al., 2009; Zon, 2008). O elevado teor de MOS dos Organossolos complexa o Al^{3+} em seus radicais carboxílicos e fenólicos, diminuindo assim o efeito da toxidez de Al para os vegetais (Valladares et al., 2008; Silva et al., 2014).

O íon H^+ predominou no complexo sortivo nos dois perfis. No entanto, o perfil RJ-02 se destacou pelo elevado teor desse elemento, onde os horizontes orgânicos (H1 e H2) apresentaram valores de 43,51 e 44,19 $cmol_c\ kg^{-1}$, respectivamente. Os valores de H^+ são elevados em decorrência dos ácidos orgânicos nas plantas, que durante a decomposição são liberados no solo, o que pode ser visto em toda a extensão do perfil RJ-01 e em RJ-02, com a exceção do Cg2.

Para o elemento Ca os teores variaram entre 0,49 e 3,29 $cmol_c\ kg^{-1}$, respectivamente nos horizontes Cg2 em RJ-02 e H2 em RJ-01. Para o Mg os valores oscilaram de 0,29 $cmol_c\ kg^{-1}$ em H1, RJ-01 a 3,80 $cmol_c\ kg^{-1}$ em H2, RJ-02, na maioria dos horizontes os teores de Mg foram maiores que os de Ca com exceção H1 e H2 em RJ-01. Os valores de Na, K, foram muito baixo nos dois perfis. Já para P os teores oscilaram entre baixo (até 5 $mg\ kg^{-1}$) e muito baixo (entre 5 e 10 $mg\ kg^{-1}$) nos dois perfis (Freire et al., 2014).

O valor S, soma das bases, variou de 1,95 a 9,69 $cmol_c\ kg^{-1}$ ambos em RJ-02 sendo o menor resultado em Cg2 e o maior em H2. O valor T seguiu os valores para a soma de bases, de 6,34 até 55,16 $cmol_c\ kg^{-1}$ nos mesmos horizontes. Já o V% não manteve o mesmo comportamento, os valores foram baixos, pela menor contribuição do valor S em relação ao

valor H (H + Al), variando entre 8% em H2, RJ-01, a 30 % em Cg2, RJ-02, justamente onde os valores de H e Al foram menores.

Tabela 6. Caracterização química para os perfis de Magé e Campos dos Goytacazes.

Perfil	Horiz.	pH água	cmol _c kg ⁻¹			H	Na	K	P	S	T	V
			Ca	Mg	Al							
ORGANOSSOLO Tiomórfico Sáprico típico												
RJ - 01	H1	3,70	1,47	0,29	1,62	15,88	0,55	0,44	1	2,75	20,25	13
	H2	3,95	1,23	0,67	5,52	22,58	0,49	0,18	3	2,57	30,67	8
	H3	3,46	1,38	2,27	7,48	27,12	0,48	0,24	9	4,37	38,97	11
	2Hd4	3,09	1,52	3,36	3,55	12,45	0,59	0,21	6	5,68	21,68	26
	2Hd5	3,28	1,45	5,70	5,12	16,38	0,46	0,16	6	7,77	29,27	26
	2Hd6	3,24	1,63	6,4	4,56	20,54	0,59	0,15	5	8,77	33,87	25
	2Hd7	3,84	0,67	3,16	5,02	19,28	0,38	0,11	10	4,32	28,62	15
ORGANOSSOLO Háptico Sáprico típico												
RJ -02	H ₁	4,16	1,74	2,32	1,58	43,51	2,1	10,0	4	7,16	52,35	13
	H ₂	4,03	3,29	3,80	1,28	44,19	2,3	11,0	2	9,69	55,16	17
	Cg1	5,22	0,81	0,95	0,33	25,42	0,8	0,40	2	2,96	28,71	10
	Cg2	5,14	0,49	0,96	0,16	4,23	0,4	0,01	6	1,95	6,34	30

Na análise de grupamento dos atributos químicos (Figura 22), apenas para o Na foi observado um possível grupamento. Os demais atributos não se mostraram eficientes na separação dos perfis. Na ordenação através do Na foi possível separar os dois primeiros horizontes de RJ-02, que apresentaram valores elevados. Esses horizontes possivelmente estão em processo de salinização, com acúmulo de Na naturalmente na superfície do solo. A área encontra-se na proximidade da Lagoa Feia (que tem água salobra), com elevada taxa de evaporação e o lençol freático elevado, assim a água contendo sais por capilaridade ascende até a superfície, contribuindo para o depósito de sais nos horizontes mais superficiais, no caso deste perfil no H1 e H2 (Brady, 2013).

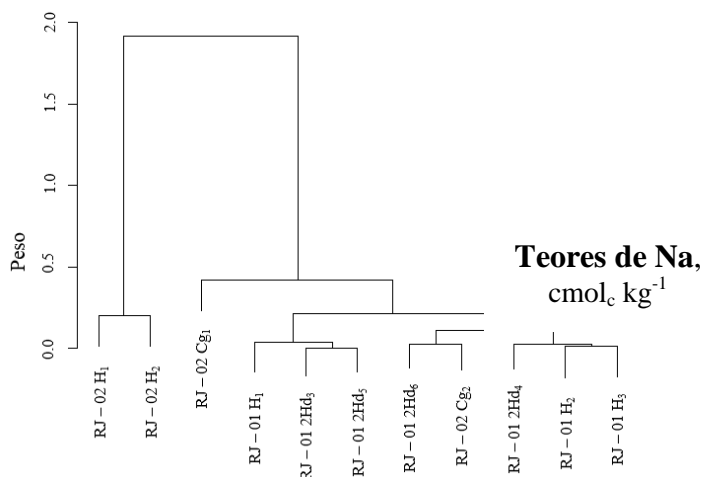


Figura 22. Análise de agrupamento de atributos químicos com potencial de discernimento entre os perfis RJ-01 e RJ-02.

4.5.3 Determinação da Matéria Orgânica do Solo

O comportamento dos valores de carbono é distinto nas duas áreas de estudo (Tabela 7). Em RJ-01 os teores são maiores em profundidade, onde o H1 mesmo sendo identificado como horizonte orgânico possui valores menores (10,87%) quando comparado com 2Hd4 (34,24%); ainda todo o perfil amostrado é formado de horizontes de natureza orgânica. Já em RJ-02, os horizontes superficiais apresentaram os maiores valores, sendo H1 com 24,85% e H2 com 35,95%, e em profundidade os horizontes passaram a minerais.

É comum em Organossolos o horizonte superficial apresentar baixo teor de carbono em relação aos subsuperficiais. Pois, devido à ausência da influência do lençol freático e a presença constante de oxigênio, o material orgânico se decompõe em maior velocidade que nos horizontes subsuperficiais, sob condição de hidromorfismo. Os valores de N e H seguiram a distribuição do C.

Através dos dados de C e N calculou-se a relação C/N do solo, que indica a facilidade que a matéria orgânica do solo possui de ser decomposta, sendo importante para compreender a dinâmica desse material e a partir desse índice se conhecer a dinâmica da humificação no solo. Os valores da relação C/N no perfil RJ-01 foram bastante elevados, variando de 18,1 a 33,6, enquanto que os valores de RJ-02 estiveram entre 15,5 a 18,6. Em geral os valores de RJ-01 foram superiores aos de RJ-02. Em RJ-02 pode ser visto que mesmo nos horizontes de constituição mineral (Cg1 e Cg2) os valores da relação C/N foram elevados e superiores aos horizontes orgânicos (H1) no mesmo perfil.

Os valores de carbono foram separados em três frações, no fracionamento químico das substâncias húmicas, 7. Os dois perfis apresentaram maiores teores de carbono na fração C-HUM, na sequência C-FAH e por último C-FAF. Os valores de C na fração húmica foram elevados nos horizontes orgânicos decrescendo rapidamente na transição para os minerais (RJ-02, Cg1 e Cg2). Os valores das demais frações também diminuiram, mas não com a mesma amplitude.

Os teores de C-HUM em RJ-01 variaram de 314,78 a 151,16 g kg⁻¹ em 2Hd6 e 2Hd7 e em RJ-02 de 116,59 a 47,26 g kg⁻¹ em H2 e Cg2 respectivamente. Os perfis apresentaram comportamentos diferentes, em RJ-01 os valores de C-HUM foram maiores no interior do perfil, enquanto que em RJ-02 o teor decresceu em profundidade. Os valores de C-FAH apresentaram a mesma seqüência, possuindo distribuição idêntica a de C-HUM, variando de 9,34 g kg⁻¹ em 2Hd7 a 20,22 g kg⁻¹ 2Hd4, em RJ-01 e entre 3,06 g kg⁻¹ em 2Hd5 a 12,85 g kg⁻¹ em H2.

O comportamento da fração C-FAF foi distinto das demais. Em geral, os valores mais altos estiveram em superfície e diminuíram em profundidade. No processo de humificação essa fração é a primeira a ser liberada do material orgânico que está sendo decomposto. Dessa forma, os valores elevados na superfície do solo decorrem do recente aporte de material.

As análises de agrupamento utilizando os valores das substâncias húmicas não mostraram distinção dos horizontes nos perfis RJ-01 e RJ-02.

Tabela 7. Valores de carbono, hidrogênio e nitrogênio e relação C/N; teores de C nas frações das substâncias húmicas e relação do extrato alcalino C-FAH/C-FAF em Organossolos em Magé (RJ-01) e Campos dos Goitacazes (RJ-02).

Perfil	Horiz.	Carbono %	Hidrogênio %	Nitrogênio %	C/N	C-HUM		C-FAF	C-FAH/ C-FAF
						g kg ⁻¹			
ORGANOSSOLO Tiomórfico Sáprico típico									
RJ -01	H₁	10,87	2,75	0,60	18,1	163,13	10,85	12,10	0,90
	H₂	25,10	4,18	1,06	23,7	178,84	10,58	12,85	0,82
	H₃	27,61	4,38	1,02	27,1	340,84	19,47	4,84	4,02
	2Hd₄	34,24	2,56	1,68	20,4	174,40	20,22	3,67	5,52
	2Hd₅	28,88	2,54	1,16	25,0	212,44	19,85	3,06	6,48
	2Hd₆	29,45	3,90	1,07	27,5	314,78	19,47	3,44	5,66
	H₁	21,16	3,38	0,63	33,6	151,16	9,34	3,48	2,68
ORGANOSSOLO Háplico Sáprico típico									
7RJ -02	H₁	24,85	3,67	1,60	15,5	105,00	7,17	7,08	1,01
	H₂	35,95	4,47	1,93	18,6	116,39	7,28	4,47	1,62
	Cg1	9,83	2,87	0,53	18,6	58,65	2,55	7,01	0,36
	Cg2	1,27	0,87	0,07	18,1	47,26	1,85	3,14	0,58

4.5.4 Avaliações Específicas para Caracterização de Organossolos

O conjunto de variáveis - Umidade Gravimétrica (%U), Densidade do solo (DS), Densidade da partícula (Dp), Densidade da Matéria Orgânica (DMO), Resíduo Mínimo (RM), Material Mineral (MM) e Volume Total de Poros (VTP), mantêm relação diretamente ou inversamente proporcional a variação dos teores de carbono. As duas áreas apresentaram comportamentos diferentes (Tabela 8).

A análise de Ds tem grande importância em Organossolo, pois a partir desse atributo são calculados outros índices, gerando um conjunto de dados que permite inferir sobre a vulnerabilidade desse solo a subsidência (Valladares, 2003; Silva et al., 2014). Para a Ds foi observada uma distribuição inversamente proporcional aos valores de matéria orgânica, e diferente nas duas áreas. Em RJ-01, os maiores valores ocorreram nos dois primeiros horizontes (0,71 Mg m⁻³ e 0,57 Mg m⁻³, nos horizontes H1 e H2, respectivamente), tendendo a diminuir em profundidade. Já em RJ-02, a Ds teve maior valor nos dois últimos horizontes (minerais), apresentando valores de 0,73 Mg m⁻³ no Cg1 e 1,28 Mg m⁻³ no Cg2; o que denota a maior influência da fração mineral.

Tabela 8. Valores de Densidade do solo (Ds), Densidade da Partícula (Dp), Densidade da Matéria Orgânica (DMO), Resíduo Mínimo (RM), Umidade Gravimétrica (%U), Material Mineral (MM), Volume Total de Poros (VTP) e conteúdo de Matéria Orgânica (MO) em função dos horizontes.

Perfil	Horiz.	Ds	Dp	Dmo	RM	U	MM	VTP	MO
		-----Mg m ⁻³ -----		m m ⁻¹		-----%-----			
ORGANOSSOLO Tiomórfico Sáprico típico									
RJ -01	H1	0,71	1,83	0,22	0,32	13,38	68,93	61,52	31,07
	H2	0,57	1,50	0,32	0,16	41,84	43,26	61,96	56,74
	H3	0,48	0,30	0,29	0,13	22,70	39,26	61,47	60,74
	2Hd3	0,51	1,44	0,30	0,15	68,63	42,50	64,28	57,50
	2Hd4	0,51	0,74	0,30	0,14	83,82	40,99	30,37	59,01
	2Hd5	0,52	1,15	0,32	0,13	73,61	38,02	55,11	61,98
	2Hd6	0,52	1,32	0,25	0,18	13,51	52,67	60,59	47,33
ORGANOSSOLO Háplico Sáprico típico									
RJ -02	H1	0,56	1,54	0,23	0,22	17,34	59,17	65,30	40,83
	H2	0,46	0,32	0,21	0,17	20,45	54,18	56,96	45,82
	Cg1	0,73	1,84	0,15	0,38	12,00	79,04	52,13	20,96
	Cg2	1,28	2,33	0,18	0,73	11,78	86,12	45,69	13,88

Um atributo calculado em função da Ds é a DMO, que é a densidade que a matéria orgânica possui apenas quando livre de material mineral (Lyn et al., 1974). Neste caso, quanto maior a Ds menor será a DMO. As duas áreas apresentaram valores baixos, variando entre 0,15 Mg m⁻³ em Cg1, RJ-012, e 0,32 Mg m⁻³ em H2, RJ-01, esses valores apresentam distribuição semelhante a da matéria orgânica, como também visto por outros autores (Conceição et al., 1999; Valladares, 2003; Ebeling, 2010).

Outro atributo utilizado para avaliar o potencial máximo de subsidência em horizontes ou camadas orgânicas é o RM (Lynn et al., 1974). Os valores foram relativamente altos, variando de 0,13 a 0,73 m.m⁻¹, este último no horizonte Cg2 em RJ-02. A maioria dos valores

está de acordo com o observado por Ebeling (2010), de $0,21 \text{ m.m}^{-1}$, e Valladares (2003), máximo de $0,58 \text{ m.m}^{-1}$. É importante que os Organossolos com valores mais baixos de RM, sejam destinados a áreas de preservação, para assim minimizar o processo de subsidência e seus efeitos na emissão de gases de efeito estufa pela decomposição da MO. Para o % U a área RJ-01 apresentou os menores valores nos primeiros três horizontes, que, por sua vez, possuem menores teores de carbono. Essa área possui melhor drenagem e os horizontes estão, na maior parte do ano, em condições não hidromórficas. Nos demais horizontes houve incremento da umidade conforme o teor de carbono (higroscopicidade do material orgânico). Na área RJ-02 a umidade teve comportamento igual ao do conteúdo de matéria orgânica, decrescendo com o aumento da profundidade.

Já para o conteúdo de MM os valores são inversamente proporcionais aos teores de matéria orgânica. Os valores de MM para RJ-01, em geral, diminuíram em profundidade sendo o menor valor no horizonte 2Hd5 (38,02%). Enquanto que, em RJ-02 os valores aumentaram ao longo do perfil, sendo o maior de 86,12%, em Cg2. As duas áreas apresentaram comportamentos distintos e inversos. Esse comportamento também foi verificado em outros estudos com Organossolos (Conceição et al., 1999a; Valladares, 2003; D'more & Lynn, 2002; Ebeling, 2010).

Para o volume total de poros o perfil RJ-01 apresentou comportamento irregular, não seguiu a variação no teor de matéria orgânica. Os valores não apresentaram grande variação e estão em torno de 60%, com exceção de 2Hd4 (VTP de 30,4%). Enquanto isso, em RJ-02 houve decréscimo em profundidade, sendo diretamente dependente do teor de matéria orgânica. Neste perfil, os valores de VTP oscilaram de 65,3% a 45,69%, respectivamente no primeiro e últimos horizontes. Os maiores valores de porosidade são esperados na superfície, em função da maior porosidade do resíduo vegetal fresco (Andriess, 1988).

4.5.5 Técnicas Isotópicas

a) Análises de ^{12}C , ^{13}C e ^{15}N

Os valores de %C nos perfis apresentaram comportamento distinto (Figura 23). No RJ-01 houve incremento acentuado na profundidade de 40-140 cm, com valores de %C superiores a 20%, após essa profundidade os valores diminuem ligeiramente e passam de 15%. Este perfil apresentou valores elevados de carbono em toda a sua extensão.

Em RJ-02 o incremento de carbono pode ser visto apenas nos horizontes superficiais e até a profundidade de 50 cm os valores se mantêm próximos a 20%. Em seguida ocorre diminuição drástica, de 50 a 80 cm, para valores próximos de 3%; por último, de 80 cm em diante os valores se aproximam do zero. Essa diminuição acentuada em RJ-02, de acordo com o aumento da profundidade, reflete a transição do horizonte orgânico para o mineral.

Os dois perfis estão situados em cotas baixas, com elevação de 3 m. Porém, os fatores relevo e clima influenciaram na vegetação e determinaram a quantidade e qualidade do material orgânico aportado de forma distinta para ambos. Atualmente o aporte de material orgânico é maior em RJ-02, e a manutenção do C resulta das condições de má drenagem, que desfavorecem a decomposição da matéria orgânica do solo. O lençol freático nesta área estava mais alto que em RJ-01, que apresenta melhor drenagem superficial.

O nitrogênio apresentou o mesmo comportamento, o que é esperado, pois a deposição deste elemento no solo ocorre junto com a do material orgânico adicionado. Em RJ-01, os valores mantiveram-se em torno de 1% até 40 cm, oscilando para 1,3% de 40 a 140 cm e diminuindo para 0,5% nas demais profundidades. Para RJ-02, os valores iniciais foram maiores, em torno de 1,5% até 40 cm, diminuindo para 0,5% de 40 a 70 cm e sendo praticamente nulos após 80 cm.

Para a relação C:N houve incremento em profundidade no perfil RJ-01, onde os valores oscilaram até a profundidade de 80 cm, e após essa profundidade se observam valores máximos de 30 nas profundidades de 90 cm, 110 cm e 190 cm. Como a relação C:N é um indicativo do grau de evolução da matéria orgânica, os valores maiores em RJ-01 estão condizentes com o observado na descrição morfológica e nas análises específicas para caracterização de Organossolos, onde esse perfil possui horizontes orgânicos em toda sua extensão e o material foi identificado como sáprico.

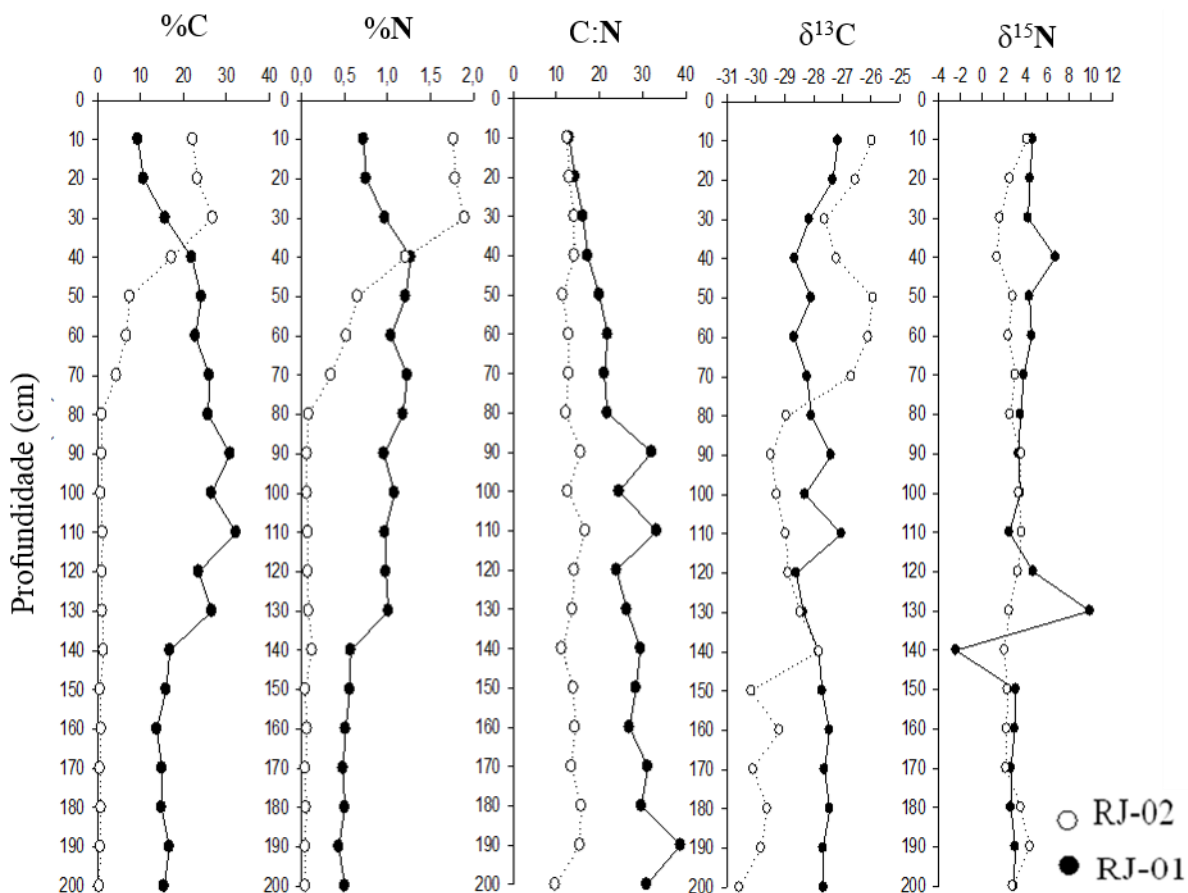


Figura 23. Distribuição do conteúdo de Carbono, Nitrogênio, relação C:N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para os perfis RJ-01 e RJ-04 em função da profundidade.

Para o perfil RJ-01, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ não apresentaram variação significativa, com pequena atenuação de -27 na superfície a -29 em 40 cm, 60 cm e a 120 cm, indicando estabilidade na dinâmica da vegetação com o passar do tempo. Principalmente após a profundidade de 140 cm, onde os valores são semelhantes aos da condição atual (superfície do solo), não sendo assim possível inferir sobre alterações climáticas.

Já no perfil RJ-02 se observou grande oscilação ao longo de toda a profundidade, houve um empobrecimento de $\delta^{13}\text{C}$ com variação de 4 deltas, onde a superfície apresentou valores de -26, seguidos por variações até a profundidade de 200 cm, com valor de $\delta^{13}\text{C}$ de 30. Esse perfil apresentou três faixas de incremento, na superfície, a 50 cm e a 140 cm, sendo esta última menor que as demais.

A partir dessas variações (Figura 23) é possível inferir que a vegetação tornou-se menos densa, dando início a uma mistura de plantas com predomínio de C_4 em detrimento das plantas C_3 . O que corrobora a cobertura vegetal presente. Portanto, em RJ-02 é possível concluir sobre mudanças nas condições hidropedológicas locais. No entanto, algumas plantas

C4 em ambiente com elevada saturação de água podem assumir valores de C3 mascarando os valores da análise. Os valores de em RJ-01 retratam mudanças no regime hídrico local na profundidade de 130 a 140 cm, sendo essa variação de 10 δ . Peterson & Howarth (1987) apontam que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ elevados indicam maior contribuição de algas para a matéria orgânica do solo.

Avaliando a relação entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, os valores que se aproximam do intervalo de 10 a 8 de $\delta^{15}\text{N}$ e de -20 a -25 de $\delta^{13}\text{C}$ correspondem a matéria orgânica proveniente de algas, indicando ambiente de deposição com saturação por água em um período ao longo do tempo. No entanto, se comparados os valores da Figura 24, isso não ocorreu em nenhuma das áreas, pois os dois perfis estão deslocados para próximo dos valores de C3.

O perfil RJ-01 está em destaque na Figura 24. Esse perfil apresentou menor variação entre C3 e C4 durante sua colonização, concentrando os valores de ^{13}C entre -27 e -29. Já o perfil RJ-02 durante sua evolução passou por colonização de vegetais de grupos fotossintéticos diferentes, que atualmente se reflete em compartilhamento com predomínio de C3, porém com expansão da colonização herbácea (Peterson & Howarth, 1987).

O sinal isotópico do solo na área RJ-02 mostra alterações ao longo do tempo nos valores de $\delta^{13}\text{C}$, no entanto os valores de $\delta^{15}\text{N}$ estiveram quase constantes entre 2 e 4. Mesmo com o lençol freático elevado nos dois perfis, principalmente RJ-02, não ocorreu formação e deposição de material proveniente de plantas aquáticas, ou seja, o regime hidromórfico (muito mal drenado) não foi suficiente para a colonização destas plantas (Horak et al., 2011).

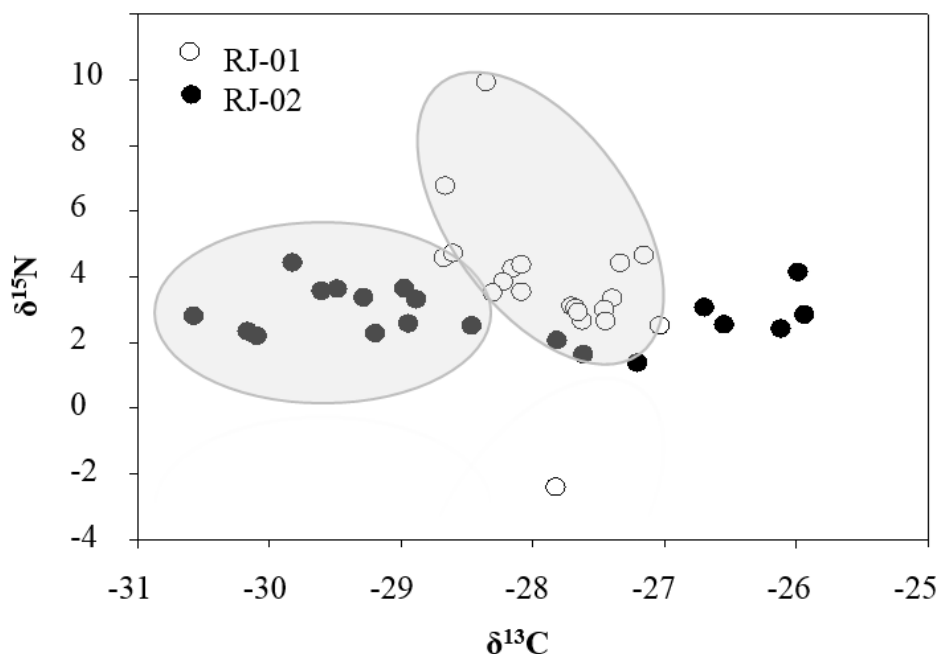


Figura 24. Relação existente entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para os perfis de Magé (RJ-01) e Campos dos Goytacazes (RJ-02).

Quanto a relação entre o $\delta^{13}\text{C}$ e a C:N (

Figura 25), é possível visualizar dois agrupamentos distintos (áreas de cor cinza), em que o perfil RJ-02 apresenta maior influência do lençol freático porém não apresenta material orgânico proveniente de plantas aquáticas. Enquanto que o RJ-01 esta quase totalmente no intervalo do padrão que indica a origem de plantas com ciclo fotossintético C3 (Meyers, 2003).

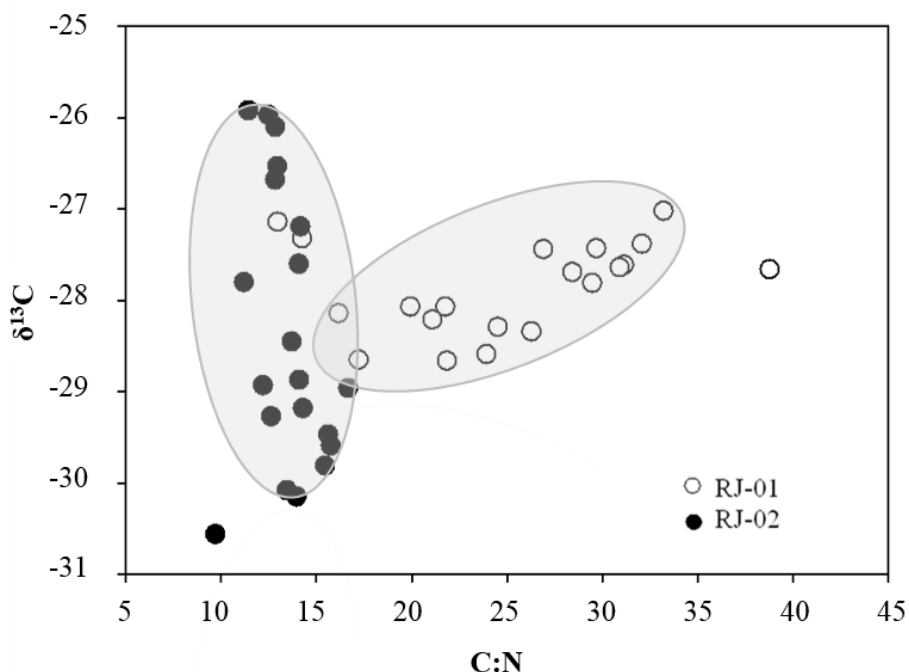


Figura 25. Relação entre $\delta^{13}\text{C}$ e C:N para os perfis de Magé (RJ-01) e Campos dos Goytacazes (RJ-02).

A análise de datação das áreas de várzea mostra valores diferentes (Tabela 9) entre os perfis. Em RJ-01 o material orgânico apresentou idade na faixa de 2121 a 2539 anos na profundidade de 40-50 cm. Enquanto para RJ-02 a variação foi de 2001 a 2009 anos na mesma profundidade do anterior, o que o classificou com idade moderna, esses valores correspondem a idade em anos após calibração.

Tabela 9. Datação radiométrica a partir de ^{14}C da fração humina para os perfis de Magé (RJ-01) e Campos dos Goytacazes (RJ-02).

Área	Profundidade (cm)	Idade AP*	Idade Calibrada
		----- anos -----	
RJ-01	40-50	2310±80	2121-2539
	190-200	3640±80	3720-4157
RJ-02	40-50	moderna	2006-2011

*AP = se refere a idade antes do presente mencionando os erros.

Como o perfil RJ-01 apresentou grande espessura da camada orgânica, foi feita uma segunda amostragem na profundidade de 190 a 200 cm, que revelou idade média de 3640±80 anos. Assim, o tempo médio de sedimentação, para o intervalo de 40 cm e a diferença de idade de 2.310 anos foi estimado em 1,7 mm. ano⁻¹ (taxa média de deposição de material).

Para a área RJ-02, como o perfil tem horizonte orgânico pouco espesso, foi feita a datação apenas na profundidade de 40-50 cm, assim o tempo médio de deposição do material orgânico foi de 1,9 mm.ano⁻¹. Apesar das diferenças de idade entre os solos, não houve grande diferença no tempo de deposição do material, o que é compatível com a semelhança de ambiente (clima e relevo) e a maior expressão dos processos de paludização e gleização.

4.6 CONCLUSÕES

O perfil RJ-01 foi classificado como ORGANOSSOLO Tiomórfico Sáprico típico e o perfil RJ-02 como ORGANOSSOLO Háptico Sáprico típico.

Quanto aos atributos morfológicos: textura, forma e grau de desenvolvimento, os perfis apresentaram descrição similar, diferenciando-se quanto à espessura do material orgânico, maior em RJ-01.

Para os atributos químicos o RJ-02 apresentou indícios de salinização com maiores valores de Na, sendo este o único atributo a diferenciar os perfis na análise de agrupamento.

Quanto ao grau de decomposição da matéria orgânica, os dois solos foram classificados como sápricos e a classificação dos Organossolos através dos teores de fibras esfregadas e índice de pirofosfato mostrou relação consistente com a escala de Van Post.

Os valores de C e N apresentaram comportamentos distintos, onde RJ-01 apresentou incremento nos horizontes subsuperficiais e em RJ-02 os valores decrescem em profundidade.

O aporte atual de carbono é maior em RJ-02, mas a relação C:N indicou maior evolução da matéria orgânica do solo na maior parte do perfil RJ-01, comparado ao RJ-02.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ indicaram empobrecimento de ^{13}C em RJ-02, com mudança de 4 δ ; indicando que a vegetação era composta na maioria por plantas C_3 (-31‰) e atualmente aumentou a mistura de plantas C_3 e C_4 , com valores próximos a -26‰.

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ não refletem variação no regime hidromórfico do solo, não sendo constatada a presença de matéria orgânica proveniente de plantas aquáticas.

A taxa de deposição do material orgânico foi semelhante para RJ-01, com taxa média de 1,7 mm. ano⁻¹, e RJ-02, com média de 1,9 mm. ano⁻¹.

Apesar de diferenças na idade dos perfis, os fatores clima e relevo foram os principais responsáveis pela expressão dos processos de formação paludização e gleização.

5 CAPÍTULO III

GÊNESE DOS ORGANOSSOLOS EM AMBIENTE DE CLIMA FRIO E ÚMIDO E VEGETAÇÃO ALTOMONTANA

5.1 RESUMO

Os ambientes altomontanos possuem um conjunto de fatores que permitem o acúmulo e a conservação da matéria orgânica no solo (MOS), favorecendo a formação de Organossolos mesmo em condições não hidromórficas. Esse ambiente é encontrado no Estado do Rio de Janeiro, no Parque Nacional de Itatiaia (PNI). Ainda, devido à menor influência antrópica no PNI, a MOS depositada ao longo de diversos eventos climáticos é preservada, logo pode ser evidência de mudanças paleoambientais e permite inferir sobre o ambiente pregresso. Os objetivos do trabalho foram caracterizar atributos morfológicos, físicos e químicos de Organossolos em ambiente altomontano no PNI; bem como as condições que levaram a gênese desses solos. Dois perfis foram coletados, descritos e analisados quanto a seus atributos edáficos, valores dos isótopos estáveis de carbono (^{12}C e ^{13}C) e de nitrogênio (^{14}N e ^{15}N) e datação da matéria orgânica através de ^{14}C . Os perfis foram classificados como: ORGANOSSOLO Háptico Hêmico típico (RJ-03) e ORGANOSSOLO Fólico Sáprico cambissólico (RJ-04). Foram observadas diferenças quanto aos atributos morfológicos, o grau de transformação da matéria orgânica e o seu fracionamento químico que são consistentes com a identificação de materiais hêmicos e sápricos. De acordo com as análises isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ os perfis se diferenciam na contribuição do material vegetal para a MOS. No RJ-03 observa-se influência pregressa de algas retratando o regime hídrico (má drenagem) e empobrecimento de $\delta^{13}\text{C}$ atual sugerindo o aporte de plantas C_3 e C_4 . Já em RJ-04, predomina o aporte oriundo de plantas com ciclo fotossintético C_3 . A datação da MOS através do ^{14}C apresentou idade na faixa de 3351 – 3699 anos para o perfil RJ-03 e para RJ-04 entre 2001 – 2009, sendo considerada moderna. O relevo foi fator determinante na gênese e diferenciação de horizontes, também influenciando na vegetação que levou ao aporte de material para a formação dos Organossolos.

Palavras-chave: Turfeiras. Parque Nacional de Itatiaia. Reconstrução ambiental.

5.2 ABSTRACT

The highland environments have a set of factors that allow the accumulation and preservation of soil organic matter (SOM), favoring Histosols training even in non hydromorphic conditions. This environment is found in the state of Rio de Janeiro, in Itatiaia National Park (INP). Still, due to lower anthropic influence in INP, the SOM deposited over several weather events is preserved, may soon be evidence of paleoenvironmental changes and allows inferences about the pregresso environment. The objectives were to characterize morphological, physical and chemical properties of Histosols in altomontano environment IPN; and the conditions that led to the genesis of these soils. Two profiles were collected, described and analyzed as to their soil attributes, values of stable carbon (^{12}C and ^{13}C) and nitrogen (^{14}N and ^{15}N) and dating of organic matter through ^{14}C . The profiles were classified as HISTOSOL Haplic typical hemic (RJ-03) and HISTOSOL Folic sapric cambic (RJ-04). Differences were observed regarding the morphological attributes, the degree of transformation of the organic matter and its chemical fractionation that are consistent with the identification of hêmicos and sápricos materials. According to the isotopic analyzes $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ profiles differ input from the plant material for the SOM. RJ-03 observed past influence of algae depicting the water regime (poor drainage) and current $\delta^{13}\text{C}$ impoverishment suggesting the contribution of C_3 and C_4 plants. Already in RJ-04, the predominant contribution from crops with C_3 photosynthetic cycle. The dating of the MOS ^{14}C presented by age group in 3351-3699 years for the RJ-03 to profile and RJ-04 between 2001-2009 and is considered modern. The relief was an important factor in the genesis and differentiation of horizons, also influencing the vegetation that led to supply material for the formation of Histosols.

Keywords: Peatlands. Itatiaia National Park. Environmental Reconstruction.

5.3 INTRODUÇÃO

O Planalto de Itatiaia está inserido na Serra da Mantiqueira, apresentando litologia diferenciada, relevo montanhoso com escarpas rochosas e elevação variando de 2000 a 2.791 m, o maior valor no Pico das Agulhas Negras (Barreto et al., 2013). Como consequência da elevação, o clima frio e úmido e a vegetação endêmica, caracterizam o ambiente de Itatiaia como altomontano, condição em geral aplicada às áreas situadas em cotas superiores de 2000m (MMA, 2002; Barreto et al., 2013). Em geral, nesses ambientes são encontrados solos pouco desenvolvidos, tais como os Neossolos Litólicos e Cambissolos, e afloramentos rochosos. Porém podem ser formados Organossolos (Simas et al., 2005; Benites et al., 2007, Silva et al., 2009; Scheer et al., 2011; Soares, 2015), pelo favorecimento do aporte da matéria orgânica em detrimento a sua transformação, conduzindo a acumulação (Silva et al., 2013; Soares, 2015; Bispo et al., 2015) e diminuição da decomposição em função das baixas temperaturas, já que o aporte de material é constante (Silva et al., 2009, Benites et al., 2007, Pereira, et al., 2005).

Os Organossolos são conceituados como solos formados em ambientes saturados ou úmidos de altitude elevada saturados com água por poucos dias, que possuem coloração escura e características edáficas condicionadas pelo elevado teor de material orgânico ($\geq 80 \text{ g kg}^{-1}$) de grau de decomposição variável (Santos et al., 2013a). Esses solos têm grande importância ambiental/ecológica, desde a elevada capacidade de armazenamento de carbono, até a recarga de aquíferos, ou mesmo como substrato para vegetação adaptada e com capacidade de tamponamento de elementos tóxicos (Pereira et al., 2005; Ebeling et al., 2008; Fontana et al., 2008; Schultz et al., 2011; Ebeling et al., 2011; Loss et al., 2015).

A matéria orgânica do solo (MOS) pode dar subsídio para avaliar alterações ambientais em um dado local (Benites et al., 2003) ao registrar informações sobre a origem, identidade e características da vegetação pregressa (Pessenda et al., 2004), uma vez as plantas absorvem C e N de forma diferenciada em razão do seu ciclo fotossintético (C3, C4 e CAM). A partir da abundância natural de isótopos de C e N na MOS é possível deduzir sobre as vias fotossintéticas das plantas originárias estabelecendo um modelo de dinâmica na sucessão natural (Pessenda et al., 2004; Mendonça et al., 2010; Silva et al., 2013). A interpretação dessas análises (^{12}C , ^{13}C , ^{14}N e ^{15}N) revela informações sobre a vegetação pregressa e, quando temporalmente sincronizados com as idades de ^{14}C , podem indicar eventuais alterações ambientais locais (Franceschini et al., 2014; França et al., 2015).

Como a região de estudo possui um conjunto de fatores específicos relacionados à dinâmica paleoclimática no período quaternário, acredita-se que estas mudanças climáticas sejam também registradas nas características isotópicas da MOS dos Organossolos. Além da grande importância ambiental do PNI, que justifica mais estudos pontuais sobre limitações e fragilidades dos solos, os Organossolos em ambiente altomontano têm feições geomórficas distintas (Benites et al., 2007; Scheer et al., 2011; Soares et al., 2015) dos Organossolos em ambiente hidromórfico de várzeas e planícies litorâneas.

Nesse contexto, o estudo tem como objetivos caracterizar atributos morfológicos, físicos e químicos de Organossolos em ambiente altomontano no Parque Nacional de Itatiaia, Rio de Janeiro; bem como as condições que levaram a gênese desses solos, através da análise dos isótopos estáveis de carbono (^{12}C e ^{13}C) e de nitrogênio (^{14}N e ^{15}N) e datação da matéria orgânica pelo método de ^{14}C .

5.4 MATERIAIS E MÉTODOS

5.4.1 Caracterização do Meio Físico

O critério de escolha da área foi descrito anteriormente. A região encontra-se em ambiente de clima frio e úmido e vegetação altomontana, no entanto há variação no relevo local o que confere aos perfis diferenças no regime de umidade.

O local de exame dos perfis está situado na Serra da Mantiqueira dentro do Parque Nacional de Itatiaia - PNI, Rio de Janeiro (Figura 26) que é uma unidade de conservação integral com área de 225,54 km². Para fins de gestão o parque foi subdividido em três áreas estando o local de estudo na parte alta. Essa região do planalto do Itatiaia apresenta relevo montanhoso e escarpado, com altitude variando de 2000 a 2791 m, culminando com o Pico das Agulhas Negras (Barreto et al., 2013).

Quanto a geologia, a parte alta do PNI possui rochas do Maciço Alcalino do Itatiaia (Figura 27), sobre gnaisses do embasamento geológico que sustentam a serra da Mantiqueira. Essa formação é rara, com o maciço alcalino alcançando grandes altitudes. Existindo ainda um contraste com os gnaisses por serem mais resistente ao intemperismo, dessa forma essa junção fornece grande destaque tanto de Geologia quanto de Geomorfologia para o PNI. Assim, por si só, as rochas do Planalto do Itatiaia constituem um importante atrativo turístico (PNI, 2013). Podendo ser encontradas os seguintes tipos de rocha: gnaisses, nefelina-sienitos, quartzo sienitos, granito alcalino, brecha magmática, sedimentos coluvionares e sedimentos aluvionares (FBDS, 2000; PNI, 2013).

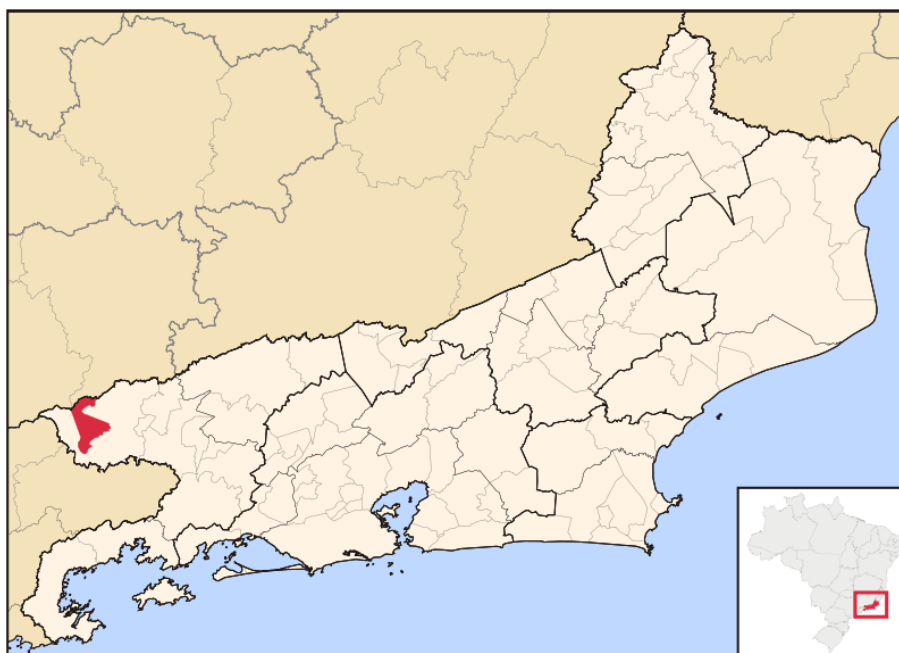


Figura 26. Localização do Município de Itatiaia no Estado do Rio de Janeiro. (Fonte: Wikipédia, 2014)

O clima é classificado como Cwa que corresponde ao sub-tropical de altitude, com verão quente e chuvoso e inverno frio e seco, com temperatura média anual de 16°C e precipitação média anual de 2.300 mm (Köppen, 1948). Na parte alta, no pico das Agulhas Negras ocorrem geadas e a temperatura pode chegar a -10°C nos meses de junho a agosto

(Barreto et al., 2013). A vegetação do planalto pode ser descrita como Complexos Rupestres de Altitude (Benites et al., 2003), sendo formada por um mosaico de tipologias vegetais estando associada a Floresta Atlântica. A vegetação local é constituída por plantas herbáceas de aspecto graminóide com predominância de Cyperaceae e Poaceae que estavam dispostas em touceiras e outras espécies em menor quantidade, Figuras 28 e 29 (Benites et al., 2003).



Figura 27. Paisagem da parte alta do PNI, com destaque para o Pico das Agulhas Negras, a formação rochosa símbolo do parque (Maciço Alcalino).

Foram coletados dois perfis de Organossolos em posições distintas da paisagem. Ambos encontram-se em locais com elevações significativas, com variação vertical de 300 m e a distância horizontal de aproximadamente 3 km de acordo com o GPS MAP78 (Garmin) O perfil - RJ-03 está inserido em uma zona de depressão em fundo de vale fechado com lençol freático elevado (ambiente de hidromorfismo), 23K 0533769 7524084 (Figura 28) e RJ-04 está localizado no terço inferior de encosta em erosão e possui boa drenagem, 23K 0530905 7525596 (Figura 29). A posição na paisagem, classe de drenagem, elevação e coordenadas dos perfis são apresentadas na Tabela 10. A paisagem local foi a principal diferença, fornecendo subsídios para inferir sobre questões relacionadas a hidropedologia e o regime hídrico dos solos. Os ambientes de formação dos perfis RJ-03 e RJ-04, embora em locais próximos, são distintos e condicionaram outros fatores, culminando em diferenças nos atributos morfológicos.



Figura 28. Paisagem de vale suspenso entre as prateleiras e o pico das Agulhas Negras no Parque Nacional do Itatiaia, enfatizando relevo e vegetação de porte herbáceo e de campo de altitude e o fundo de vale. (Fotos: L.H.C. Anjos, 2012)

Tabela 10. Informações sobre os perfis de Itatiaia (RJ), paisagem, drenagem, elevação e coordenadas geográficas.

Perfil	Posição na paisagem	Drenagem	Elevação	Coordenadas (UTM)
RJ-03	Fundo de vale	Mal drenado	2100m	23K 0533769 7524084
RJ-04	Terço inferior encosta	Moderadamente a Imperfeitam. drenado	2400m	23K 0530905 7525596



Figura 29. Paisagem de terço inferior de encosta na área das prateleiras no Parque Nacional do Itatiaia, enfatizando relevo e vegetação de porte herbáceo e de campo de altitude e a elevada umidade do ar (em baixo a direita). (Fotos: L.H.C. Anjos, março de 2012)

5.4.2 Análises para Caracterização dos Organossolos

A descrição dos procedimentos analíticos para a caracterização dos Organossolos foi apresentada no **Capítulo I**.

Como a seleção das áreas partiu do princípio de se estudar Organossolos, a Ordem de solo foi pré-determinada, sendo classificados os perfis nos demais níveis taxonômicos inferiores do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). A descrição geral do perfil e a descrição morfológica foi feita de acordo com o Manual de Coleta de Solos no Campo (Santos et al., 2013b) e é apresentada no anexo.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.5.1 Caracterização Morfológica e Classificação dos Solos

Os perfis RJ-03 e RJ-04 apresentaram horizontes hísticos (H e O) com espessuras somadas de 57 cm e 59 cm, respectivamente (Tabela 11). Esses horizontes estão sobrepostos a horizontes minerais, com sequência H-Cg no RJ-03 e O-Bi no RJ-04 (Figura 30). A identificação do horizonte Cg no perfil RJ-01 é consistente com o lençol freático elevado, condicionado pela sua posição de fundo de vale com o controle de drenagem acarretado pelo leito rochoso e afloramentos nas encostas íngremes. A cor dos horizontes (H e O) foi uniforme, sendo esta 10YR 3/2, em todos os horizontes no RJ-01, e N 2/ na maior parte do perfil em RJ-04, variando assim de bruno acinzentado muito escuro a preto. No perfil RJ-04, os horizontes Bi₁ e Bi₂/BC apresentaram cor da matriz mais clara (N4/). Todos os horizontes hísticos possuem cores escuras, ou seja, valor e croma baixo, que indicam a influência da matéria orgânica do solo, de acordo com critérios para Organossolos do SiBCS (Santos et al., 2013a).



Figura 30. Perfis de Organossolos RJ-03 (esquerda) e RJ-04 (direita) na parte alta do Parque Nacional de Itatiaia, Itatiaia (RJ).

Nos dois primeiros horizontes de cada perfil os atributos morfológicos, classe de textura, grau de desenvolvimento, tamanho e forma da estrutura foram semelhantes (Tabela 11). Ambos os solos têm material de natureza orgânica nos horizontes hísticos, porém são perceptíveis distinções quanto ao grau de decomposição do material orgânico, onde o RJ-03 possui maior quantidade de fibras e ao longo de todo o perfil.

Tabela 11. Descrição dos atributos morfológicos dos Organossolos altomontanos do Parque Nacional de Itatiaia, RJ.

Perfil	Horiz.	Prof. cm	Cor Munsell	Classe de textura	Estrutura	Von Post		FE %	IP
						Índice	Material		
ORGANOSSOLO Háptico Hêmico típico									
RJ-03	H ₁	0 - 12	10YR3/2	Natureza orgânica	Mod, m/g, granular	H6	Hêmico	30	5
	H ₂	12 - 31	10YR3/2	Natureza orgânica	Mod, m, granular	H6	Hêmico	27	4
	H ₃	31 - 58	10YR3/2	Natureza orgânica	Mod, m, blocos angulares	H6	Hêmico	25	4
	Cg ₁	58 - 76	10YR3/2	Franco argilosa	Maciça	H7	Sáprico	14	3
	Cg ₂	76 - 100 ⁺	10YR3/2	Franco argilosa	Maciça	H8	Sáprico	15	3
ORGANOSSOLO Fólico Sáprico cambissólico									
RJ-04	O ₁	0 - 15	N2/	Natureza orgânica	Mod, p/m, granular	H8	Sáprico	31	3
	O ₂	15 - 28	N2/	Natureza orgânica	Mod, p, granular	H8	Sáprico	18	3
	O ₃	28 - 59	N2/	Natureza orgânica	Fr, p, blocos subangulares	H9	Sáprico	17	3
	Bi ₁	59 - 85	N2/	Franco argilosa	Fr, p/m, blocos angulares	H9	Sáprico	17	3
	Bi ₂ /BC	85 - 100 ⁺	N4/	Franco argilosa	Fr, p/m, blocos angulares	H9	Sáprico	15	3

A estrutura nos horizontes H e O é granular, variando de tamanho, em que RJ-04 apresenta agregados pequenos e médios. No RJ-04, se observa no horizonte subsuperficial (Bi) estrutura em blocos subangulares e mesmo angulares, indicando maior grau de evolução em relação ao RJ-03, que tem estrutura maciça nos horizontes Cg. Essa variação está relacionada à drenagem, através de ciclos de umedecimento e secagem mais intensos no RJ-04, que é moderadamente drenado. As características morfológicas e a localização na paisagem indicam que os horizontes orgânicos (H) no perfil RJ-03 foram formados através do processo de paludização (H₁, H₂ e H₃) e são seguidos por dois horizontes com evidência de gleização (Cg₁ e Cg₂). No RJ-04, os horizontes orgânicos (O) foram formados pela acumulação da matéria orgânica (O₁ e O₂ e O₃) favorecida pela baixa transformação em condições de drenagem livre, e os dois horizontes subsequentes de natureza mineral têm características, como a diferenciação da estrutura em blocos, que identificam o horizonte subsuperficial B incipiente (Santos et al., 2013a).

Os indicadores de grau de transformação da MOS nos horizontes hísticos mostram diferentes graus para os perfis RJ-03 e RJ-04 (Tabela 13). Segundo a escala de Von Post, o RJ-03 foi classificado como Hêmico no terceiro nível taxonômico, pelo domínio desse grau de decomposição na maior parte dos primeiros 100 cm do solo. Já o RJ-04 apresentou em toda a extensão do perfil maior grau de evolução da matéria orgânica, o que o identificou como Sáprico. Os índices valores de teor de fibras esfregadas e índice de pirofosfato de sódio (Tabela 13) complementam a interpretação da escala de Von Post na classificação dos Organossolos. A melhor drenagem no perfil RJ-04 favorece a mineralização e/ou humificação diminuindo os teores de fibras, o que explica o domínio de material mais transformado (sáprico). O ambiente hidromórfico, a presença de grande quantidade de fibras, e os indicadores do grau de transformação da MOS no horizonte hístico levaram a classificar o perfil RJ-03 como Organossolo Háptico Hêmico típico. Já o RJ-04, em ambiente de drenagem livre, foi classificado como Organossolo Fólico Sáprico, e devido ao horizonte subsuperficial incipiente foi identificado como cambissólico em nível de subgrupo (Figuras 31 e 32).

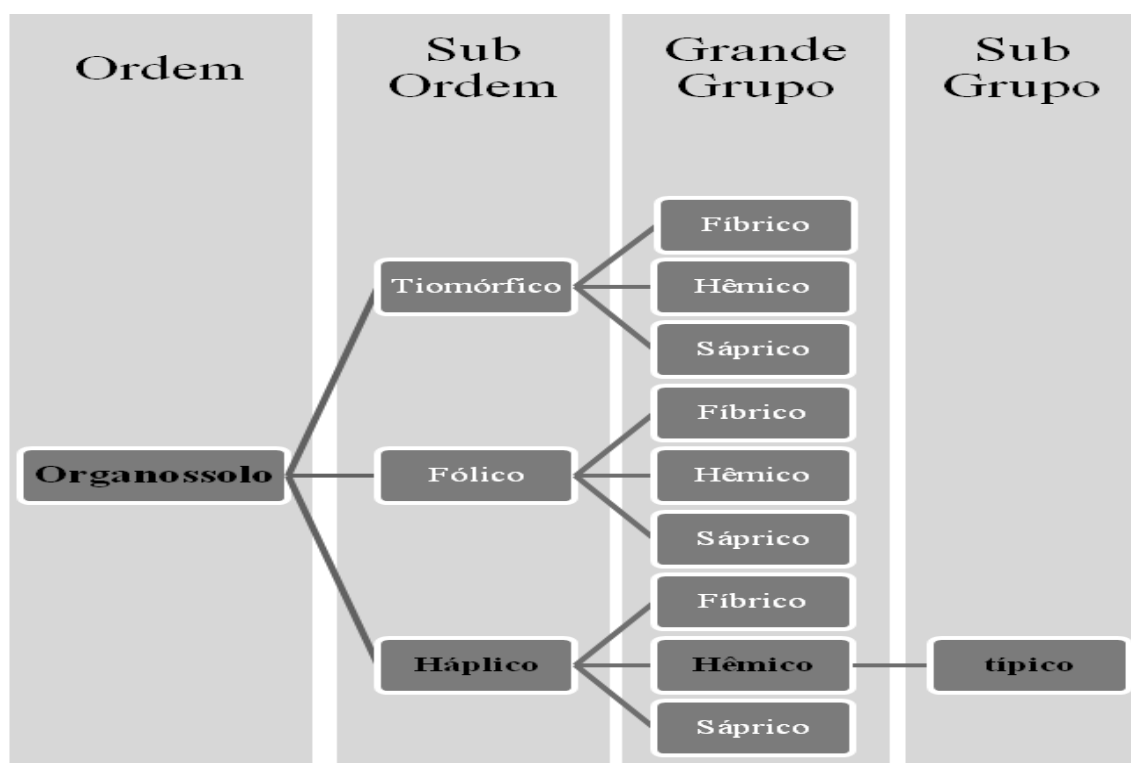


Figura 31. Sequências de passos percorridos no SiBCS até a classificação no 4º nível taxonômico para no perfil RJ-03.

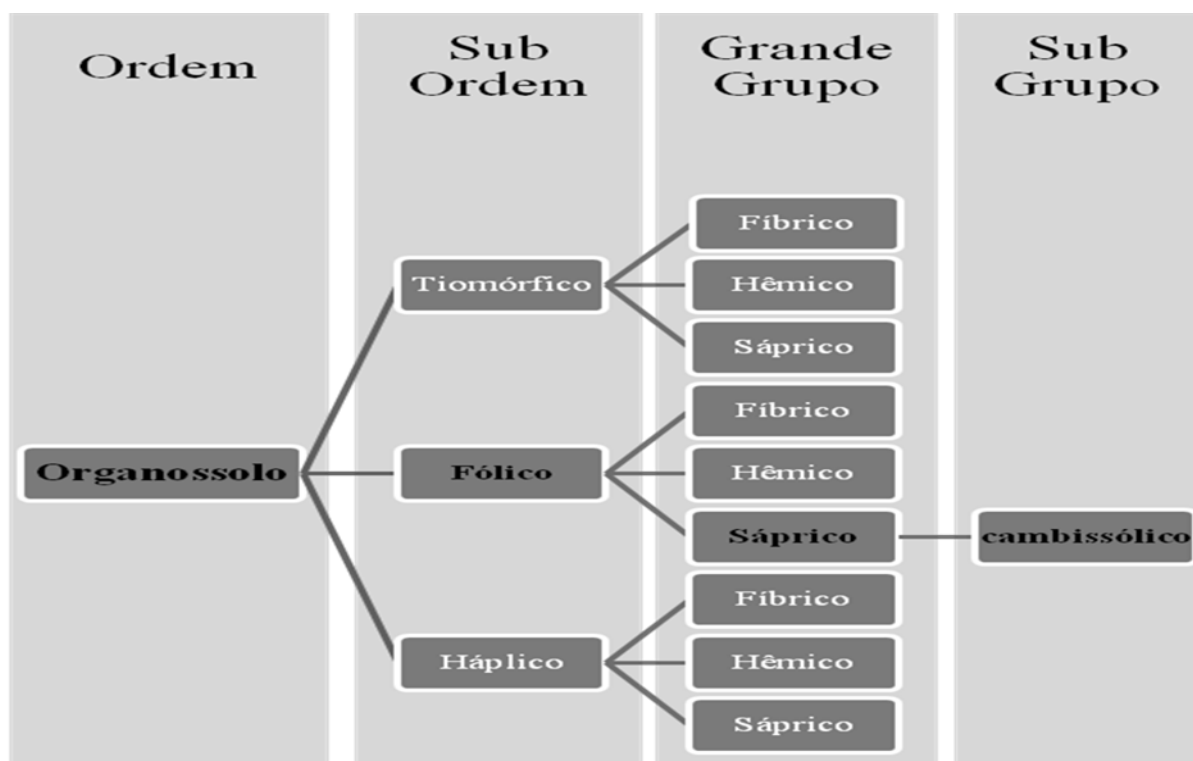


Figura 32. Sequências de passos percorridos no SiBCS até a classificação no 4º nível taxonômico para no perfil RJ-04.

5.5.2 Atributos Químicos

Os valores de pH em água variaram entre 4,4 a 5,4, indicando média acidez (Tabela 12). Esses valores são mais elevados que a média encontrada em Organossolos (Ebeling et al., 2008; Mesquita et al., 2009) e também maiores que os observados em Organossolos Háplicosaltomontanos na Serra de Espinhaço (MG), que foram de 2,8 a 4,7 (Campos et al., 2010) e na Serra da Igreja (PR), de 2,9 a 3,2 (Scheer et al., 2011). Essas diferenças podem estar relacionadas ao material de origem presente na parte alta do PNI.

Em geral os teores dos elementos trocáveis foram baixos, com exceção do Al e H, como é típico em Organossolos. Os valores de Al foram elevados em RJ-03 (variando entre 1,5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ horizonte Cg_1 e 6,0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ em H_1). Já em RJ-04 variaram de 1,3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ em Bi_2/BC a 1,7 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ em O_1 . Devido à capacidade da MOS de complexar o Al ocorre a redução da sua toxicidade na solução do solo, assim os níveis de Al não representam toxidez para as plantas em solos orgânicos (Ebeling et al., 2008; Mesquita et al., 2009; Zon, 2008; Campos et al., 2010, Soares et al., 2015).

O H^+ predominou no complexo sortivo de todos os perfis. No entanto, o perfil RJ-04 se destacou pela menor amplitude, 5,5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ no horizonte Bi_2/BC , até 11,5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ no horizonte O_1 . Enquanto os valores de H^+ em RJ-03 estão relacionados à condição hidromórfica, que conduz a decomposição mais lenta do material vegetal e permanência de ácidos húmicos. Quando os resíduos vegetais são decompostos ácidos orgânicos são liberados no solo e, como a maioria deles apresenta baixo peso molecular são facilmente translocados no perfil, assim se distribuem em toda a extensão do perfil RJ-03 (Ebeling et al., 2008; Mesquita et al., 2009; Zon, 2008; Campos et al., 2010, Scheer, et al., 2011, Soares, et al., 2015). Os valores de H e Al apresentaram o mesmo comportamento nos dois perfis, com decréscimo em profundidade.

Os teores de Ca variaram entre 0,9 e 0,2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, respectivamente nos horizontes Cg_2 em RJ-03 e O_3 em RJ-04. O perfil RJ-04 apresentou valores menores que o RJ-03. Para

Mg os valores oscilaram de 1,4 cmol_c kg⁻¹ em H₃ (RJ-01) a 0,8 cmol_c kg⁻¹ em Bi₂/BC (RJ-02). Em todos os horizontes os teores de Mg foram maiores que os de Ca, o que está relacionado a contribuição das rochas na área de estudo (nefelina-sienito). Os valores de Na, K, e P foram muito baixos nos dois perfis, com maior valor para o fósforo em H₁- RJ-03 (4 mg kg⁻¹). O valor S, soma das bases, variou de 1,46 a 2,64 cmol_c kg⁻¹, e o valor T de 8,36 a 32,93 cmol_c kg⁻¹. Como consequência, o V% é baixo, pela menor contribuição do valor S em relação ao valor H (H + Al).

Tabela 12. Caracterização química de rotina para os perfis de Itatiaia.

Perfil	Horiz.	pH	Ca	Mg	Al	H	Na	K	P	S	T	V
			-----cmol _c kg ⁻¹ -----							mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	%
ORGANOSSOLO Háplico Hêmico típico												
RJ -03	H ₁	4,64	0,67	1,23	6,04	24,36	0,28	0,35	4	2,53	32,93	7
	H ₂	4,61	0,59	1,11	4,31	25,29	0,29	0,13	1	2,12	31,72	6
	H ₃	4,46	0,85	1,47	3,31	18,39	0,25	0,07	1	2,64	24,34	18
	Cg1	4,49	0,76	1,01	1,58	10,72	0,22	0,04	0	2,03	14,33	14
	Cg2	4,97	0,97	1,46	1,59	12,51	0,14	0,02	1	2,59	16,69	15
ORGANOSSOLO Fólico Sáprico Cambissólico												
RJ -04	O ₁	5,06	0,37	0,90	1,78	11,52	0,32	0,2	1	1,8	15,1	11
	O ₂	5,36	0,29	1,10	1,33	10,67	0,27	0,57	1	2,23	14,23	15
	O ₃	5,46	0,21	0,98	1,65	10,55	0,29	0,06	1	1,54	13,74	11
	Bi ₁	5,10	0,28	0,93	1,57	7,13	0,27	0,11	1	1,59	10,29	15
	Bi ₂	5,41	0,32	0,82	1,32	5,58	0,24	0,09	1	1,46	8,36	17

5.5.3 Determinação da Matéria Orgânica do Solo

Os valores de carbono, obtidos pelo método do CHN, foram semelhantes quanto a sua distribuição em profundidade nos dois perfis (Tabela 13). Ainda, nos horizontes superficiais (H₁ –RJ-01, e O₁ –RJ-02) praticamente não há diferença nos valores de C (16,7% e 17,0%). Como o lençol freático encontra-se na maior parte do tempo abaixo do H₁, em RJ-01, não há efeito de hidromorfismo e o principal fator é a similaridade de vegetação, ou seja, os organismos. Já nos horizontes subsuperficiais de RJ-01 (ambiente hidromórfico) observa-se incremento dos valores de C quando comparados aos do perfil RJ-02. O N e H seguem o comportamento do C, pois são ambos relacionados a MOS, sendo que os valores dos elementos determinados pelo método do CHN foram maiores nos horizontes superficiais e decrescem em profundidade. Essa distribuição é corroborada pelos resultados em ambientes altomontanos, na Serra do Mar, no Paraná (Scheer et al., 2011) e em Nova Friburgo, no Rio de Janeiro (Loss et al., 2015).

A relação C/N permite inferir sobre a dinâmica da matéria orgânica e seu estado de humificação e em Organossolos, os valores são em geral elevados. No RJ-02 os valores da relação C/N foram elevados nos horizontes de constituição mineral (Bi₁ e Bi₂/BC) e superiores aos dos horizontes orgânicos no mesmo perfil. Esse resultado sugere a maior transformação da MOS e, conseqüentemente, interação do material orgânico com o mineral, contribuindo para a maior estabilidade da MOS.

Tabela 13. Valores de carbono, hidrogênio e nitrogênio¹ e relação C/N; teores de C nas frações das substâncias húmicas e relação do extrato alcalino C-FAH/C-FAF em Organossolos em ambiente altomontano no Parque Nacional de Itatiaia, RJ.

Perfil	Horiz.	Carbono %	Hidrogênio %	Nitrogênio %	C/N	C-HUM ----- g kg ⁻¹ -----	C-FAH ----- -----	C-FAF	C-FAH/ C-FAF
ORGANOSSOLO Háptico Hêmico típico									
RJ -03	H ₁	16,72	2,95	0,96	17,41	165,24	4,54	6,42	0,71
	H ₂	14,48	2,83	0,72	20,11	131,73	5,48	6,23	0,88
	H ₃	10,01	2,39	0,47	21,29	70,68	5,93	6,57	0,90
	Cg ₁	6,49	1,98	0,33	19,66	17,12	5,29	5,36	0,99
	Cg ₂	7,39	2,11	0,40	18,47	41,91	5,86	5,57	1,05
ORGANOSSOLO Fólico Sáprico cambissólico									
RJ -04	O ₁	16,99	2,87	0,90	18,87	159,43	2,98	2,22	1,04
	O ₂	10,56	2,32	0,60	17,60	64,42	3,59	2,65	1,36
	O ₃	7,10	1,54	0,32	22,18	41,77	2,46	2,08	1,18
	Bi ₁	4,56	1,16	0,18	25,33	22,75	1,47	1,21	1,22
	Bi ₂ /BC	2,77	0,78	0,11	25,18	15,71	2,61	2,46	1,06

¹ Carbono, nitrogênio e hidrogênio obtidos pelo método do analisador elementar (CHN); C-HUM - C na fração Humina, C-FAH - C na fração Ácido Húmico, C-FAF - C na fração Ácido Fúlvico; C-FAH/C-FAF.

Os valores de C do fracionamento químico da MOS (Tabela 13) indicam que nos dois perfis os teores de C-HUM foram elevados nos horizontes superficiais e decresceram em profundidade, variando de 165,24 g kg⁻¹ em H₁ a 27,12 g kg⁻¹ em Cg₂ no perfil RJ-03, e de 159,43 g kg⁻¹ em O₁ a 15,71 em Bi₂/BC no perfil RJ-04. Os valores de C-HUM foram maiores que o das demais frações em todos os horizontes, como já observado por outros autores em estudos com Organossolos (Valladares et al., 2008; Ebeling et al., 2013; Loss et al., 2015).

Em geral, os valores de C-HUM são maiores porque incluem o carbono em partes de folhas e caules e ainda carvão (Valladares et al., 2008). Os maiores valores de C-HUM foram encontrados no perfil RJ-03 que foi classificado como Hêmico, ratificando a classificação com base na análise de fibras esfregadas e na Escala de Von Post, evidenciando diferenças quanto ao grau de humificação dos perfis.

Em contra partida, os valores de C-FAH apresentaram distribuição errática com o aumento da profundidade (Tabela 13), com RJ-03 variando entre 4,54 e 5,86g kg⁻¹, para H₁ e Cg₁; com menores valores em RJ-04, de 1,47 a 3,59 g kg⁻¹ para Bi₁ e O₂, respectivamente. O RJ-03 apresentou maiores valores de C-FAH e de C-FAF em relação ao RJ-04. Como o primeiro perfil apresenta lençol freático elevado, a remoção do material da seção de solo é impedida, levando ao acúmulo das frações solúveis da matéria orgânica em toda a extensão do perfil. Os valores menores de C-FAF em RJ-04 indicam que a MOS encontra-se em estágio de maior evolução, com a formação de estruturas mais estáveis (Loss et al., 2015).

Para a relação C-FAH/C-FAF houve variação entre 0,71 e 1,05 em RJ-03, e 1,04 e 1,36 em RJ-04 (Tabela 13). Esses valores refletem o grau de polimerização da matéria orgânica, e quanto mais alta essa relação mais condensada será a MOS (Canellas, 2005). Dessa forma, a relação corrobora os índices de Von Post, o percentual de fibras e também o conteúdo de C-HUM, que indicam o menor grau de evolução da MOS no perfil RJ-03.

5.5.4 Avaliações Específicas para Caracterização dos Organossolos

Nos Organossolos, atributos físicos diferenciados dos utilizados para solos com predomínio de material mineral (Santos et al., 2013) tais como: Umidade Gravimétrica (%U), Densidade do Solo (DS), Densidade da partícula (Dp), Densidade da Matéria Orgânica (DMO), Resíduo Mínimo (RM), Material Mineral (MM) e Volume Total de Poros (VTP); estão relacionados com os teores de carbono orgânico, em geral diretamente proporcionais. Nos perfis RJ-03 e RJ-04 os valores desses atributos foram semelhantes (Tabela 14) e o teor de matéria orgânica influenciou todas as demais variáveis.

Os valores de Ds são inversamente proporcionais ao teor de MOS e a Ds tende a aumentar em profundidade, nos dois perfis. A maior Ds ocorreu em RJ-04, no Bi₂/BC (1,17 Mg m⁻³) com forte influência da fração mineral. A Ds é um atributo físico ainda mais relevante em Organossolos, sendo usado no cálculo da DMO e como indicador do grau de transformação da MOS. Os dois perfis mostram redução da DMO em profundidade, a exceção do RJ-02 no último horizonte. Esse comportamento é reflexo direto do maior grau de humificação e mineralização da matéria orgânica, o qual segundo Ebeling et al. (2010), em ambientes de planalto mostra padrão distinto com a profundidade do solo.

O RM é utilizado para avaliar o potencial máximo de subsidência em horizontes ou camadas formadas por material orgânico, e é referido como a espessura remanescente de solo por unidade da medida após subsidência máxima (Lynn et al., 1974). Os valores de RM foram relativamente altos, variando de 0,20 a 0,56 m.m⁻¹, estando de acordo com os encontrados por Ebeling (2010), Valladares (2003) e Soares et al. (2015). O RM indica a maior suscetibilidade à degradação do Organossolo pelo processo de subsidência (perda de volume); sendo que quanto menores os valores de RM maior a vulnerabilidade do solo.

Tabela 14. Valores de Umidade Gravimétrica (%U), Densidade da Matéria Orgânica, Resíduo Mínimo e Material Mineral, Valores de Resíduo Mínimo, da Matéria Orgânica, Densidade do solo (Ds) e Densidade da Partícula (Dp)

Perfil	Horiz.	Ds	Dp	Dmo	RM	U	MM	VTP	MO
		-----Mg m ⁻³ -----			m m ⁻¹	-----%-----			
ORGANOSSOLO Háplico Hêmico típico									
RJ -03	H₁	0,60	1,56	0,23	0,25	18,48	61,14	61,47	38,86
	H₂	0,70	1,60	0,26	0,30	28,04	63,51	56,13	36,49
	H₃	0,70	1,72	0,19	0,34	14,42	73,00	59,63	27,00
	Cg1	0,74	2,00	0,13	0,41	11,98	82,42	63,10	17,58
	Cg2	0,82	1,92	0,18	0,43	12,61	78,27	57,15	21,73
ORGANOSSOLO Fólico Sáprico cambissólico									
RJ -04	O₁	0,54	1,55	0,24	0,20	45,14	55,73	65,30	44,27
	O₂	0,54	1,69	0,23	0,21	40,45	58,01	68,02	41,99
	O₃	0,81	1,89	0,15	0,44	21,65	81,75	56,96	18,25
	Bi₁	0,95	1,98	0,10	0,56	8,93	89,22	52,13	10,78
	Bi₂/BC	1,17	2,15	0,41	0,50	10,13	64,65	45,69	35,35

O percentual de umidade gravimétrica manteve relação direta com os valores de MOS, o que é esperado dado que a mesma possui grande higroscopicidade (capacidade de captação da água da atmosfera e armazenamento). Esta é também uma propriedade normalmente observada em Organossolos, ou seja, a grande quantidade de água retida e nos horizontes orgânicos. Os valores de %U diminuíram com o aumento da profundidade e, em RJ-04, os horizontes minerais (Bi₁ e Bi₂/BC) apresentaram os menores valores de %U. Já para o MM os valores são inversamente proporcionais aos teores de matéria orgânica e aumentem em profundidade, sendo o maior valor (89,22%) em RJ-04, no Bi₁. Esse padrão também foi observado em outros estudos com Organossolos (Conceição et al. 1999; Valladares, 2003; D'more & Lynn, 2002; Ebeling, 2010).

Os dois perfis apresentaram comportamento similar de VTP, com valores decrescentes em profundidade e diretamente relacionados ao teor de matéria orgânica, que variaram de 68,02 a 45,69%, ambos em RJ-04. Os valores maiores em superfície devem-se ao material orgânico recém aportado, que possui maior quantidade de macroporos e no processo de decomposição/mineralização esses poros colapsam, diminuindo seu tamanho e afetando a porosidade total (Andriess, 1988). Os valores de VTP foram maiores que os encontrados por Scheer et al. (2011), de 10 a 33%, em Organossolos altomontano da Serra da Igreja, Paraná.

5.5.5 Técnicas Isotópicas

a) Análises de ¹²C, ¹³C e ¹⁵N

Os valores de %C e %N apresentaram comportamento similar entre os perfis, diminuindo de acordo com o aumento da profundidade (Figura 33). Como os solos encontram-se sob a mesma vegetação e no mesmo ambiente altomontano, esses fatores de formação (clima e organismos) estão atuando em igual intensidade na pedogênese atual, sendo o relevo, portanto, o principal fator na diferenciação dos perfis.

Os teores de C até a profundidade de 20 cm são iguais, diferindo a partir de 30 cm, com RJ-04 apresentando os teores menores de C até os 180 cm. Essa maior preservação do C

em RJ-01 resulta das condições de má drenagem favorecendo o acúmulo e a manutenção da MOS.

O nitrogênio apresentou comportamento semelhante. A relação C:N apresenta grande variação em RJ-04, com valores de 13 a 28 e distribuição irregular no perfil (Figura 33). Segundo Allison (1966) valores próximos a faixa de 25 a 30 indicam equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização. Portanto, o maior grau de transformação é observado no RJ-04, com valores da relação C:N em torno de 25 em diversas profundidades no perfil (60 cm, 110 cm, 130 cm, 170 cm e 190 cm). Como esse perfil apresenta drenagem livre, o material orgânico aportado tende a se decompor com maior rapidez, pois os microrganismos aeróbicos são mais eficientes no processo de decomposição da matéria orgânica do solo (FAO, 2014).

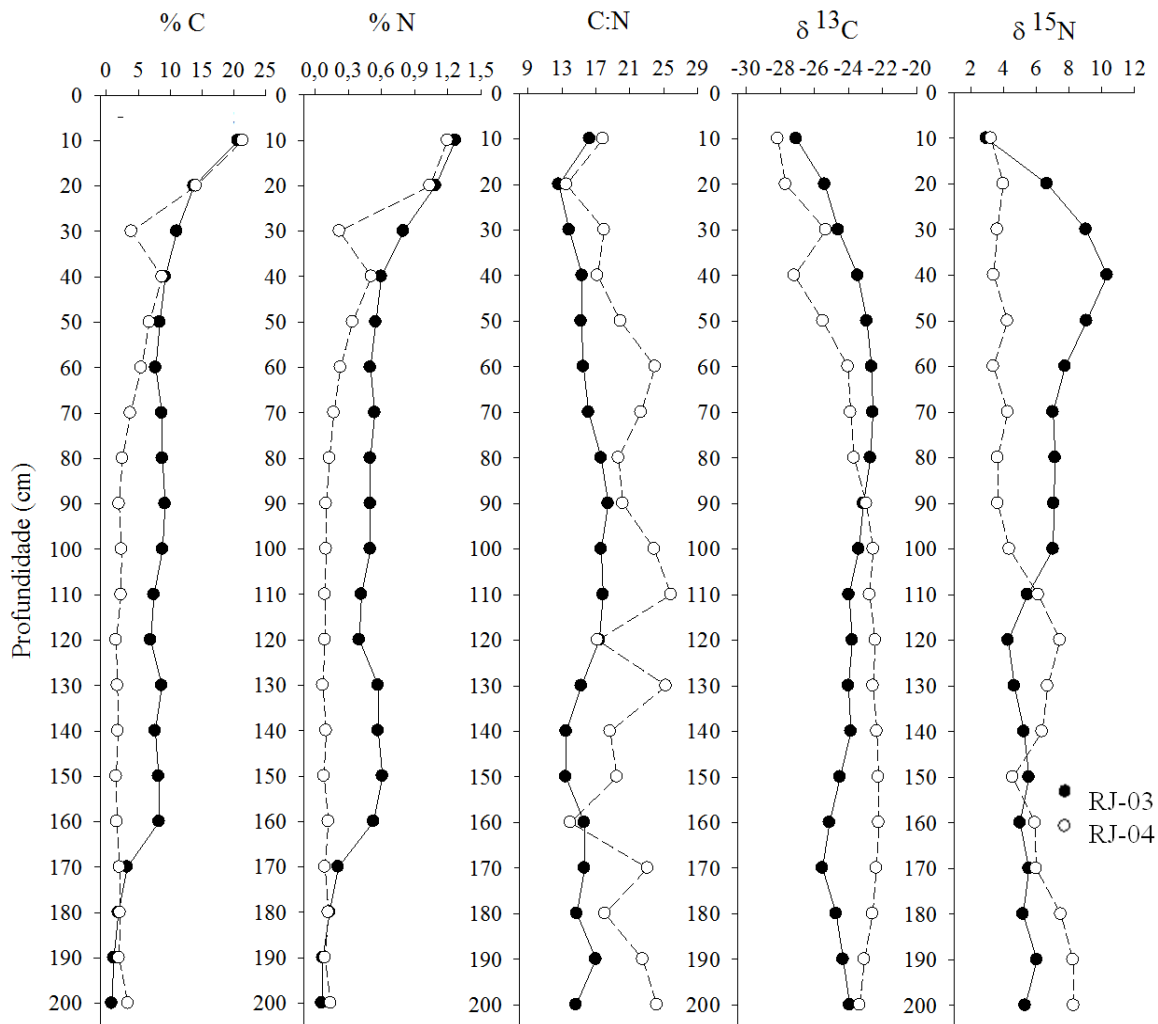


Figura 33. Distribuição do conteúdo de carbono, nitrogênio, relação C:N, $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ para os perfis de Itatiaia, em função da profundidade.

No decorrer da evolução da MOS os valores de C tendem a se estabilizar, enquanto que os de N diminuem. Isso se dá pela remoção de grupamentos mais ricos em aminas, aumentando a relação C:N, como resultado o maior grau de humificação (Canelas, 2005), mas para o caso de Organossolos é um indicativo de grau de pedogênese (Valladares, 2003), pela maior transformação do material orgânico que dá origem ao solo.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ indicaram um empobrecimento relativo de ^{13}C com o passar do tempo, principalmente em RJ-04, com variações de -28 no tempo atual a -22 no passado, nas respectivas profundidades de 0-10 cm e 190-200 cm (Figura 33). De acordo com essa variação (mudança de 6 δ), a vegetação sobre os perfis era composta de mistura de plantas C_3 e C_4 , que compartilharam o ambiente durante certo tempo. Já os valores próximos de -21 indicam a mistura de tipos de vegetação (Pessenda et al., 2004). Portanto, com o passar do tempo aumentou a participação de plantas com o comportamento C_3 , levando aos valores de -28.

As variações nos teores de $\delta^{15}\text{N}$ indicam mudanças no regime hídrico local para os dois perfis, mais acentuada para RJ-03, que apresentou maior amplitude (Figura 34). Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ variaram de 3 a 10, sendo os mais elevados no perfil RJ-03. Os maiores valores indicam predomínio da contribuição de algas para a MOS (Peterson & Howarth, 1987), nas profundidades de 30 a 50 cm, sendo esta, possivelmente, a média anual da altura do lençol freático no perfil RJ-03.

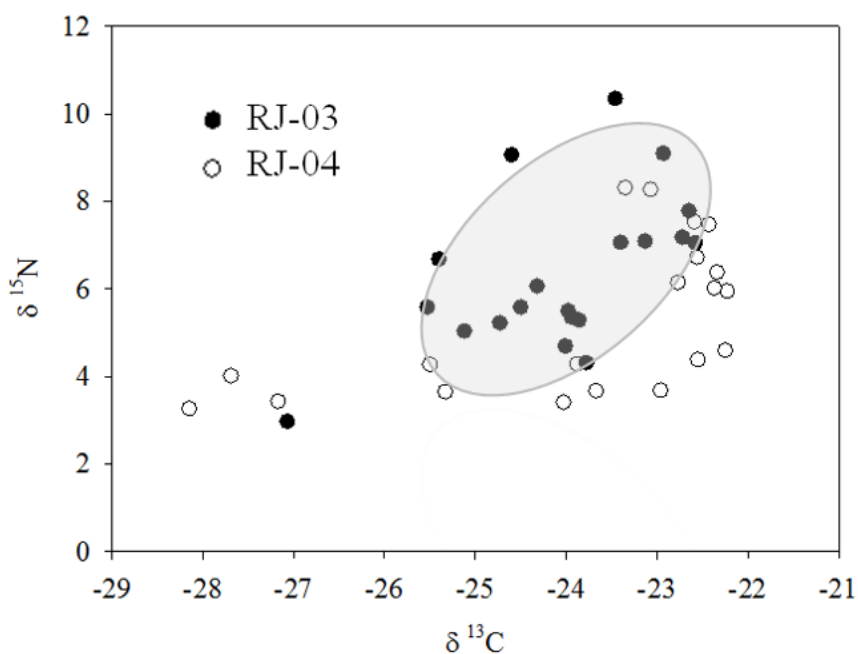


Figura 34. Relação existente entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para os perfis de Itatiaia, RJ-03 e RJ-04.

Avaliando a relação existente entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (Figura 35) os valores que se aproximam do intervalo de 10 a 8 de $\delta^{15}\text{N}$ e de -20 a -25 de $\delta^{13}\text{C}$ (área cinza no gráfico) correspondem a matéria orgânica proveniente de algas, indicando um ambiente com saturação de água por um período ao longo do tempo (Peterson & Howarth, 1987). Quanto a relação entre o $\delta^{13}\text{C}$ e a C:N é possível visualizar dois agrupamentos distintos (áreas de cor cinza), em que o perfil RJ-03 apresenta maior proximidade com material orgânico proveniente de algas e em RJ-04 o material aportado apresenta padrão similar ao originado de plantas com ciclo fotossintético C_3 (Peterson & Howarth, 1987).

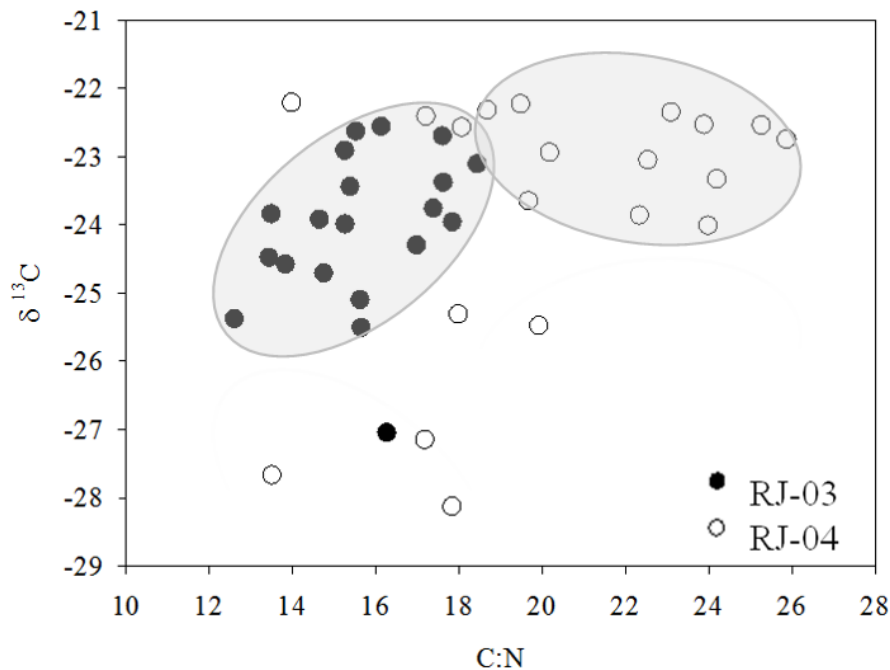


Figura 35. Relação existente entre $\delta^{13}\text{C}$ e C:N para os perfis de Itatiaia, RJ-03 e RJ-04.

As datações da MOS com ^{14}C mostraram idades distintas entre os perfis. Em RJ-03 o material orgânico apresentou de 3351 a 3699 anos (idade calibrada) enquanto para RJ-04 a variação foi de 2001 a 2009 anos (idade calibrada). Tal diferença de idade em áreas relativamente próximas evidencia a atuação do relevo influenciando na manutenção do carbono aportado no perfil RJ-03, em condições de má drenagem, bem como a remoção no perfil RJ-04 com melhor drenagem (Tabela 15).

Em estudo de materiais orgânicos atribuídos ao Holoceno tardio, Sheer et al. (2013) analisaram dois perfis de Organossolos em ambiente altomontano na Serra da Igreja, no Paraná, situados em locais próximos e também observaram idades distintas nos dois perfis, nas profundidades de 35-40 e 40-50 cm, de 2635 e 235 anos. Os autores justificam que a melhor drenagem pode ter favorecido a mineralização e decomposição acelerada no material orgânico conferindo as diferenças na idade cronológica. Além desse processo, no local avaliado no PNI, o processo erosivo no perfil RJ-03 é mais intenso transportando material orgânico e mineral para a parte mais baixa da paisagem, atuando assim como processo rejuvenecedor do solo.

Tabela 15. Datação radiométrica a partir de ^{14}C da fração humina para os perfis RJ-03 e RJ-04 de Itatiaia.

Área	Profundidade (cm)	Idade AP*	Idade Calibrada
		----- anos -----	-----
RJ-03	40-50	3280±80	3351-3699
RJ-04	40-50	moderna	2001-2009

*AP = se refere a idade antes do presente mencionando os erros.

5.6 CONCLUSÕES

Embora sob condições atuais de clima e vegetação similares, os solos apresentam diferenças morfológicas quanto a sequência dos horizontes e o grau de transformação da matéria orgânica, influenciadas pelo relevo, que caracterizam os perfis como Organossolo Háplico Hêmico típico (RJ-03) e Organossolo Fólico Sáprico cambissólico (RJ-04).

Os atributos morfológicos, os indicadores de grau de transformação da matéria orgânica e o fracionamento da matéria orgânica apresentaram resultados consistentes quanto à identificação de materiais hêmicos e sápricos.

De acordo com as análises isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ os perfis se diferenciam na contribuição do material vegetal para a MOS, com influência progressiva de algas retratando o regime hídrico do perfil RJ-03 (presença contínua de água) e de plantas com ciclo fotossintético C_3 em RJ-04.

O perfil RJ-04 possui MOS mais recente e com maior grau de humificação em função da drenagem mais eficiente e posição na paisagem.

O fator relevo foi determinante para a diferenciação dos solos e na expressão dos processos de formação, atuando diretamente através da drenagem e indiretamente na decomposição da matéria orgânica do solo. O relevo influenciou ainda a vegetação que contribuiu com o aporte de material orgânico para formação dos solos.

6 CONCLUSÕES GERAIS

Os Organossolos são solos pouco estudados e mesmo assim, os estudos na maioria dos casos são realizados em cotas baixas. Sendo as informações em ambientes altomontanos ainda mais escassas.

É necessário mais estudo para o desenvolvimento de procedimentos analíticos específicos dos Organossolos. Com a finalidade de facilitar a coleta, de diminuir a subjetividade do pedólogo e a interferência do teor de carbono nos resultados.

Os perfis apresentam diferenças morfológicas e quanto ao grau de transformação da matéria orgânica, sendo o perfil RJ-01 com maior espessura e maior teor de carbono.

O perfil RJ-02 foi o de menor profundidade, porém o possui os maiores teores de deposição recente de MOS.

O perfil RJ-03 possui a MOS mais antiga, datando na faixa de 3351-3699 anos a 40-50 cm.

O perfil RJ-04 destacou-se dos demais sendo o único com descrição de fólico, possuindo maior grau de humificação e variação de ^{13}C de $\delta 6$, indicando variações na composição florística local com o aumento de vegetação do ciclo fotossintético C_3 , indício de alterações climáticas.

O relevo local foi o fator determinante para a formação dos Organossolos

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLISON, F.E. The fate of nitrogen applied to soils. *Advances in Agronomy*, 18:219-258, 1966.
- ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L. ; JANTALIA, C.P. ; BODDEY, R.M. ; URQUIAGA, S. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e nitrogênio no sistema solo-planta. In: AQUINO, A.M. DE; ASSIS, R.L. DE. (ORG.). *Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 343-368, 2005.
- AMADOR, E. da S. *Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza*. Rio de Janeiro: E. S. Amador, p.539, 1997.
- ANDRIESSE, J.P. Nature and management of tropical peat soils. Rome, FAO, 1988. (FAO Soils Bulletin, 59)
- ARTEAGA, G.A.; CALDERÓN, N.E.G.; KRASILNIKOV, P.V.; SEDOV, S.N.; TARGULIAN, V.O. & ROSAS, N.V. Soil altitudinal sequence on base-poor parent material in a montane cloud forest in Sierra Juárez, Southern Mexico. *Geoderma*, 144:593-612, 2008.
- BARRETO, C.G.; CAMPOS, J.B.; ROBERTO, D.M.; SCHWARZSTEIN, N.T.; ALVES, G. S.G.; – COELHO, W. Plano de manejo do Parque Nacional do Itatiaia. Encarte 2 e 3 - Análise da Unidade de Conservação. Brasília. 2013.
- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O. de A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.7, 2003. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 16)
- BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B. & SANTOS, H.G. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasileira de Botânica*, 30:569-577, 2007.
- BISPO, D.F.A.; SILVA, A.C.; MATOSINHOS, C.C.; SILVA, M.L.N. ; BARBOSA, M.S.; SILVA, B.P.C.; BARRAL, U.M. . Characterization of Headwaters Peats of The Rio Araçuaí, Minas Gerais State, Brazil. *Rev. Bras. Ci. Solo (Online)*, v. 39, p. 475-489, 2015.
- BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L; DOMINGUEZ, J.M.L; FERREIRA, Y.A. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do Estado de Sergipe e sul da costa do Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geociências*, 13(2):93-97, 1983.
- BRADY, N.C. & WEIL R.R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. (3a Ed.). Porto Alegre: Bookman, Livraria Freitas Bastos, 685p, 2013.
- BRADY, N.C. *Natureza e Propriedade dos Solos*. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, p.554, 1989
- BROECKER, W.S. Does the trigger for abrupt climate change reside in the ocean or in the 1883 atmosphere? *Science* 300, 1519–1522, 2003.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D. & MC CRACKEN, R.J. *Soil genesis and classification*. Ames, Iowa State University Press, p. 404, 1980.
- CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M.R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M.R.; OLIVEIRA, I.A. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência de transição Campos/Floresta. *Revista Ciência Agrônoma*, 41: 527-535, 2010.

- CAMPOS, J.R.R.; SILVA, A.C.; FERNANDES, J.S.C.; FERREIRA, M.M. & SILVA, D.V. Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 35:1217-1227, 2011.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G. de A. (Ed.). *Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos dos Goytacazes: Ed. do Autor, 309p., 2005.
- CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS- CIAGRO. Dados climáticos. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. Disponível em: Acesso: 10 de dezembro de 2014.
- CHRISTOFOLETTI, A. O canal fluvial. In: *Geomorfologia Fluvial*. 1. ed. v. 1. São Paulo: Edgard Blücher, Geomorfologia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 313p., 1980.
- CONCEIÇÃO, M.; ARAÚJO, W.S; CUNHA, T.J.F.; MARTIN NETO, L.; SAAB, S.C. Estudo comparativo de métodos de determinação do teor de matéria orgânica em solos orgânicos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, n.3, p.5, 1999.
- KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). *Pedologia: fundamentos*. Viçosa: Rev. Bras. Ci. Solo, p. 81-145, 2012.
- D'MORE, D.V. & LYNN, W.C. Classification of forested Histosols in Southeast Alaska. *Soil Science Society of America Journal*, 66:554-562, 2002.
- DABIN, B. Curso sobre matéria orgânica do solo. Parte 1. Análise dos compostos húmicos do solo. Piracicaba, CENA, 115p. 1976.
- DAWSON T.E., BROOKS P.D. Fundamentals of stable isotope chemistry and measurement. In: *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. K. LAJTHA AND R.H. MICHENER, Eds. Blackwell Scientific Publications, Boston, 447p. 2001.
- DRIESSEN, P.; DECKERS, J.; SPAARGAREN, O. & NACHTERGAELE, F. Lecture notes on the major soils of the world. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 334p. 2001. (FAO World Soil Resources Reports 94)
- EBELING, A.G. Características estruturais da matéria orgânica em Organossolos Háplicos. 153f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010.
- EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. *Bragantia* (São Paulo, SP), v.70, p.157-165, 2011.
- EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S.; PEREZ, D.V.; Substâncias húmicas e suas relações com o grau de subsidência em Organossolos de diferentes ambientes de formação no Brasil. *Revista Ciência Agronômica* (UFC. Impresso). v.44, p.225 - 233, 2013.
- EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G. & NOVOTNY, E.H. Atributos físicos e matéria orgânica de Organossolos Háplicos em distintos ambientes no Brasil. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.37:763-774, 2013.
- EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G.; GOMES, F.W. de F. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em Organossolos Háplicos de várias regiões do Brasil. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.35, p.325 - 336, 2011.
- EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. *Bragantia*, 67:261-266, 2008.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de Análise de solo. EMBRAPA/SNLCS. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, p.312, 2006.
- FAO Encyclopedia Britannica. Encyclopedia Britannica Online. 07 de novembro de 2014 <<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/707981/Histosol>>. 2014.
- FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. O Parque Nacional do Itatiaia. Editor: SANTOS, A.A dos. Cadernos FBDS 3. Rio de Janeiro, 2000.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H. C. dos; BENITES, V. de M. Distribution of Organic Carbon in the Humic Fractions of Diagnostic Horizons from Brazilian Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 39, p. 951-971, 2008.
- FONTANA, A. Fracionamento da matéria orgânica e caracterização dos ácidos húmicos e sua utilização no sistema brasileiro de classificação de solos. 2009. 81f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos brasileiros. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.34, p.1241-1247, 2010.
- FRANCISCO, J.A.S.; LIMA, A.A.; ARÇARI, D.P. The Carbon – 14 Dating, *Revista Gestao e Foco*, 2001.
- FREIRE, L.R.; BALIEIRO, F. de C.; ZONTA, E.; ANJOS, L.H.C. dos; PEREIRA, M.G.; LIMA, E.; GUERRA.J.G.M.; FERREIRA, M.B.C.; LEAL, M.A de A.; CAMPOS, D.V.B.de. POLIDORO, J.C. Manual de calagem e adubação do estado do rio de janeiro. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, Seropédica, RJ, 2013. 430p
- GANNES, L.Z., O'BRIEN, D. & MARTÍNEZ D.R.C. Stable isotopes in animal ecology: assumptions, caveats, and a call for laboratory experiments. *Ecology*, 78, 1271–1276. 1997.
- GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; ROVERATTI, R.; GOMES, B.M. Dinâmica de vegetações durante o Quaternário recente no sul do Amazonas indicada pelos isótopos do carbono (^{12}C , ^{13}C e ^{14}C). *Geochimica Brasiliensis*, 11(3): 355-367, 1999.
- GOUVEIA, S.E; MARQUES, PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R. Datação da fração húmica da matéria orgânica do solo e sua comparação com idades ^{14}C de carvões fósseis. *Química Nova*, Dez 1999, vol.22, no.6, p.810-814. ISSN 0100-4042, 1999.
- HÖGBERG P.T. review no. 95 ^{15}N natural abundance in soil-plants system. *New Phytologist* 137:179-203. 1997.
- HORÁK, I.; VIDAL-TORRADO, P.; SILVA, A.C.; PESSENDA, L.C.R. Pedological and isotopic relations of a highland tropical peatland, Mountain Range of the Espinhaço Meridional (Brazil). *Rev. Bras. Ci. Solo*, v. 35, p. 41-52, 2011.
- HORAK, I. Relações pedológica, isotópicas e palinológicas na reconstrução paleoambiental da turfeira da Área de Proteção Especial (APE) Pau-de-fruta, Serra do Espinhaço Meridional – MG. 282p. 2009. Tese de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2009.
- IBGE, Divisão Territorial do Brasil e Limites Territoriais. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2008. Acessado em: 28 de fevereiro de 2012.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia, 2006 A Dados Climáticos. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/clima.php?lnk=/html/clima> Acesso em 04/2012.
- KER, J.C; KÄMPF, N.; CURI, N. *Pedologia: Fundamentos*. Viçosa: SBCS, 2012, p.207-302.

- KIEHL, E.J. Manual de edafologia – relação solo-planta. São Paulo: CERES, p.262. 1979.
- KONONOVA, M.M. Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soilfertility. Pergamon, Oxford, 2nd English edition, 1966. 544 p.
- KÖPPEN, W., Climatologia: con un studio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Econômica, México, 1948.479 p.
- LEMOS, R.M.J. de; Leitura Histórica do Processo de Apropriação do Território – um estudo no município de Magé – RJ. In: XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, Ouro Preto, Minas Gerais, 2002.
- LORENTE, F.L.; Pessenda, L.C.R. ; CALEGARI, M.R.; Cohen, M.C.L. ; ROSSETTI, D.; GIANNINI, P.C.F.; BUSO JUNIOR, A.A.; CASTRO, D.F. de; FRANÇA, M.C.; Bendassolli, J.A.; MACARIO, K. Fitólitos como indicadores de mudanças ambientais durante o Holoceno na costa norte do estado do Espírito Santo (Brasil). *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 6, p. 26-40, 2015.
- LORENTE, F.L.; PESSENDA, L.C.R.; OBOH I.F.; BUSO, JR., A.A.; LISBOA C., CANCELA M.; MEYER, B., ELISE, K.; FONSECA G., DE OLIVEIRA P.E; ROSSETTI, D. F.; BOROTTI FILHO, M.A. Palynofacies and stable C and N isotopes of Holocene sediments from Lake Macuco (Linhares, Espirito Santo, southeastern Brazil): Depositional settings and palaeoenvironmental evolution. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, v. 415, n. SI, p. 69-82, 2014.
- LOSS, A.; Marcos G.P.; COSTA, E.M.; BEUTLER, S.J. Carbon, nitrogen and the natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in macro and microaggregates. *Idesia (Arica. Impresa)*, v. 32, p. 15-21, 2014.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G., BERNINI, T.A, VALLADARES, G.S. Caracterização química e hidrofóbica de Organossolos e solos com horizonte hístico. *Comunicata Scientiae* 6(1): 113-122, 2015.
- LYNN, W.C.; McKINZE, W.E. & GROSSMAN, R.B. Field laboratory test for characterization of Histosols. In: STELLY, M., ed. *Histosols: their characteristics and use*. Madison, Soil Science Society of America, p. 11-20, 1974. (SSSA Spacial Publication Series, 6)
- MARTINELLI L.A., OMETTO J.P., FERRAZ E.S., VICTORIA R.L., CAMARGO P.B., MOREIRA M.Z. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. São Paulo: Oficina de Textos. 2009. 144 p.
- MENDONÇA, M.M. de. Diagnóstico de propriedades edáficas em áreas agrícolas e de floresta com elevado teor de matéria orgânica no município do Rio de Janeiro. 1999. 195f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 1999.
- MESQUITA, L. F.; ZON, C.; ANDRADE, F. V. Atributos químicos como indicador de qualidade de solos orgânicos submetidos a diferentes tipos de uso e manejo XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba 2009.
- MEYERS, P.A., Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology* 114, 289–302. 1994.
- MEYERS, P.A., Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Org. Geochem.* 34, 261–289. 2003.

MMA, Parâmetros Básicos dos Estágios Sucessionais dos Campos de Altitude Associados à Floresta Ombrófila Mista, à Floresta Ombrófila Densa e às Florestas Estacionais Semidecidual e Decidual no Bioma Mata Atlântica, 2009.

NAVE, C.R. (Rod), HyperPhysics, Atlanta, Georgia: Georgia State University Department of Physics and Astronomy, 2006 <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html> Acessado em 12 de dezembro de 2014.

PAES, S.M.; Disponível em: http://camposturismo.com.br/informacao/940_historia Acessado em 12 de dezembro de 2014.

PEREIRA, A.L., “Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas”, Revista Bioscience. v.13, n.1-2 (jan/jun), pp.16-27. 2007.

PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; VALLADARES, G.S. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, Á.P.; CARDOSO, E.J. (Org.). Tópicos em Ciência do Solo. 4.ed. Viçosa v.4, p.233-276, 2005.

PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M.; ESPÍNDULA JR., A. & EBELING, A.G. Organic carbon determination in Histosols and soil horizons with high organic matter content from Brazil (Note). *Scientia Agricola*. 63:187-193, 2006.

PÉREZ, D.V.; ANJOS, L.H.C. dos; EBELING, A.G.; PEREIRA, M.G. Comparison of H/Al stoichiometry of mineral and organic soils in Brazil. *Rev. Bras. Ci. Solo (Impresso)*, v.33, p.1071 - 1076, 2009.

PESSENDA, L.C.R., DE OLIVEIRA, P.E., MOFATTO, M., MEDEIROS, V.B., GARCIA, R.J.F., ARAVENA, R., BENDASSOLLI, J.A., LEITE, A.Z., SAAD, A.R., ETCHEBEHERE, M.L., The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 14C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. *Quaternary Research* 71, 437–452. 2009.

PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; VALENCIA, E.P.E. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. *Quaternary International*, 114: p.35-43. 2004.

PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; FREITAS, H.A. de; RIBEIRO, A. de S.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J.A.; LEDRU, M.P.; SIEFEDDINE, A.F.; SCHELYBERT, Isótopos de Carbono e suas Aplicações em Estudos Paleoambientais. In: R. SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E (eds.). *Quaternário do Brasil*, Ribeirão Preto, Holos Editora, p.378, 2005.

PESSENDA, L.C.R.; LISI, C.S.; GOUVEIA, S.E.M. Laboratório de 14C. Técnicas e Aplicações em Estudos Paleoambientais. 1 Ed. Plataforma moodle. USP/ESALQ/CENA. 2001.

PESSENDA, L.C.R.; LISI, C.S.; GOUVEIA, S.E.M.; Datação por 14C. In: Pessenda, L.C.R. Laboratório de 14C. Técnicas e aplicação paleoambientais. Piracicaba: CENA/USP, cap.1, p.3-5. 1998.

PETERSON B. J.; FRY, B. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v. 18, p. 293-320, 1987.

PETERSON, B. J., HOWARTH, R. W. Sulfur, carbon, and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt-marsh estuaries of Sapelo Island, Georgia. *Limnology and Oceanography*. 32: p.1195-1213, 1987.

PINHEIRO, E.F.M.; LIMA, E.; CEDDIA, M.B.; URQUIAGA, S.; Alves, B.J.R.; Boddey, R.M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen

stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. *Plant and Soil* (Print), v. 333, p. 71-80, 2010.

PINTO, L.F.S.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SOUSA, R. O. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A. S.; PAULETTO, E. A. (Ed.). *Manejo de solo e da água em áreas de várzea*. Pelotas: Embrapa-CPACT, 1999. p. 11-36.

PONS, L.J.; Soil genesis and classification of reclaimed peat soils in connection with initial soil formation. In: *international congress in soil science transaction*, 7, Madison ASSA/ SSSA, p. 205 – 211. 1960.

PROVÁRZEAS. Relatório síntese dos estudos estratégicos sobre os setores florestal e agropecuário: manejo florestal da várzea. www.ibama.gov.br/provarzea/download.php . Acesso em: 02 de fevereiro de 2010.

RADAMBRASIL. Levantamento dos Recursos Naturais. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, V. 32, Mapa de Vegetação, 1983.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.a

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 5ªEd. (Revista e ampliada). Viçosa, SBCS, 2005. 100p.b

SCHEER, M. B.; CURCIO, G. R.; RODERJAN, C. V. Environmental functionalities of upper montane soils in Serra da Igreja, Southern Brazil, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, no. 4, pp. 1113–1126, 2011.

SCHEER, M.B.; CURCIO, G.R.; RODERJAN, C.V. The Late Holocene upper montane cloud forest and high altitude grassland mosaic in the Serra da Igreja, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciência* 2013, vol.85, n.2, pp. 769-783. ISSN 0001-3765.

SCHULTZ, N., PEREIRA, M.G., BEUTLER, S.J., LOSS, A., ZONTA, E. Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes no feijoeiro em função da calagem em Organossolos. *Revista Ciência Agronômica* 42: 285-291, 2011.

SILVA, A.C.; TORRADO. P.V.; ABREU JUNIOR, J.S. Métodos De Quantificação Da Matéria Orgânica Do Solo Universidade de Alfenas, ALFENAS, 5:21-26,1999.

SILVA, R.C.; VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. dos. Caracterização de Organossolos em ambientes de várzea do Nordeste do Brasil. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.38:26-38, 2014.

SILVA, A.C., HORÁK, I., CORTIZAS, A.M., VIDAL-TORRADO, P., RACEDO, J. R., GRAZZIOTTI, P.H., SILVA, E.B. & FERREIRA, C.A. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional-MG: I – caracterização e classificação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1385-1398, 2009.

SILVA, E.B.; SILVA, A.C.; GRAZZIOTTI, P.H.; FARNEZI, M.M.M.; FERREIRA, C.A.; COSTA, H.A.O. & HORAK, I. Comparação de métodos para estimar a acidez potencial mediante determinação do pH SMP em organossolos da Serra do Espinhaço Meridional. *Brasil. Rev. Bras. Ci. Solo*, 32:2007-2013, 2008.

SILVA, M.L. da; SILVA, A.C.; SILVA, B.P.C.; BARRAL, U.M.; SOARES, P.G.S.; VIDAL-TORRADO, P. Surface mapping, organic matter and water stocks in peatlands of the Serra do Espinhaço Meridional - Brazil. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.37, p.1149-1157, 2013.

- SILVA, R.C.; VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. dos. Caracterização de Organossolos em ambientes de várzea do Nordeste do Brasil. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.38:26-38, 2014.
- SIMAS, F.N.B., SCHAEFER, C.E.G.R, FERNANDES, E.I., CHAGAS, A.C. & BRANDÃO, P.C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. *Geoderma*, 125:187- 201, 2005.
- SIMONSON, R.W. Outline of a generalized theory of soil genesis. *Soil Science Society America. Proc.*, v.23, p.152-156, 1959.
- SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.76, p.39-58, 2004.
- SMITH B.N. & EPSTEIN S. Biogeochemistry of the stable isotopes of hydrogen and carbon in salt marsh biota. *Plant Physiol.* 46:738-42, 1970.
- SMITH J.L.; MYUNG, H.U. Rapid procedures for preparing soil and KCl extracts for ¹⁵N analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.21, p.2273-2279, 1990.
- SUGUIO, K., *Mudanças Ambientais da Terra*. São Paulo: Instituto Geológico, 2008. 336p.
- TALBOT, M.R. & JOHANNESSEN. A high resolution paleoclimatic record for the last 27,000 year in tropical West Africa from the carbon and nitrogen isotopic composition of lacustrine organic matter. *Eart and Planet. Sci. Let.* 110, 23-37, 1992.
- VALLADARES G.S.; GOMES, E.G.; MELLO, J.C.C.B.S; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G. & BENITES, V.M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 32:285-296, 2008.
- VALLADARES, G.S. Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação. 2003. 129p. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2003.
- VELOSO, H.P., RANGEL FILHO, A.L.R. & LIMA, J.C.A. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. IBGE, Rio de Janeiro. 1991.
- VIDOTTO, E., PESSEDA, L.C.R., RIBEIRO, A. de S., FREITAS, H.A. de, BENDASSOLLI, J.A. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. *Acta Amazônica*, v.37, n.3, p.385-400, 2007.
- WAKSMAN, S.A. The peats of New Jersey and their utilization. *New Jersey, Geologic Series, Bulletin*, New Jersey, n. 55, p.152, 1942.
- WIKIPÉDIA, Mapas dos Municípios do Rio de Janeiro, Acessado em: 22 de fevereiro de 2012 e em em 13 de outubro de 2014
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Science and Plant Analisy.* 19:1467-1476, 1988.
- ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, K.; MILTNER, A.; MIANO, T.M. & SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralizing of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79:117-161, 1997.
- ZON, C. Influencia de drenagem sobre solos orgânicos e parâmetros de qualidade de água. Estudo de caso: “Vale do Suruaca”, delta do Rio Doce. 2008. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

8 ANEXOS

Perfil RJ-01 - MAGÉ

DATA DA COLETA - 10/12/2011

CLASSIFICAÇÃO – **ORGANOSSOLO HÁPLICO Tiomórfico típico**

LOCALIZAÇÃO – Colégio Estadual Agrícola Almirante Ernani - CEA – Magé, Rio de Janeiro.

SITUAÇÃO E DECLIVE – trincheira em área plana, sob vegetação de floresta higrófila de várzea, com 0 a 1% declive.

ALTITUDE – Aproximadamente 12 m.

MATERIAL DE ORIGEM E FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Depósitos turfáceos e sedimentos aluviais/coluviais. Quaternário.

PEDREGOSIDADE e ROCHOSIDADE - Ausentes.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano de várzea.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Muito mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta higrófila de várzea.

USO ATUAL – Floresta higrófila de várzea

DESCRITO E COLETADO – Paula Fernanda Chaves Soares, Fernando Zuchello, Paulo Cesar Gomes Soares e Virgínia Maria Barbosa Chaves Soares.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

H₁ – 0-12 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmida); orgânica; moderada média e grande, granular; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

H₂ – 12-35 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4 úmida); orgânica; moderada média a grande granular e blocos subangulares; macia muito friável; não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.

H₃ – 35-46 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmida); muito argilosa; maciça; muito duro firme; plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.

2Hd₄ – 46-64 bruno escuro (10YR3/3úmida); orgânica; maciça; macia muito friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

2Hd₅ – 64-82 bruno escuro (10YR3/3úmida); orgânica; maciça; macia muito friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

2Hd₆ – 82-90 bruno escuro (10YR3/3úmida); orgânica; maciça; macia muito friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

2Hd₇ – 90-100⁺ bruno escuro (10YR3/3 úmida); orgânica; maciça; macia muito friável; não plástica e não pegajosa.

Observações - Em H₁, raízes abundantes médias e finas. Em H₂, muitas e finas. No Cg₁, poucas raízes e finas. Em 2Hd₃, 2Hd₄ foi encontrado material vegetal pouco decomposto com presença de troncos, em 2Hd₅ e 2Hd₆ também foi encontrado material vegetal, porém em estado avançado de decomposição sendo geralmente fibras.



Figura 1. Em Cg₁ podem ser vistas raízes finas e fragmentos muito pequenos de ramos (a); no 2Hd₃ o material orgânico é pouco decomposto e observam-se fragmentos de galhos pouco alterados no material de solo (b); no 2Hd₄ foi encontrado material vegetal pouco decomposto com presença de fragmentos de troncos, porém esses estão em maior grau de decomposição e com natureza quebradiça (c); imagem de parte de tronco pouco decomposto encontrado a 40 - 50 cm de profundidade (d). As marcações mais escuras no papel milimetrado possuem 5 cm².

Lençol freático a 40 cm da superfície durante a abertura da trincheira (Figura 2).



Figura 2. Na imagem a esquerda pode ser observado o perfil RJ-01. E na direita a cobertura vegetal de floresta tropical de várzea.

Perfil RJ-02– CAMPOS DOS GOYTACAZES

DATA DA COLETA - 10/09/2013

CLASSIFICAÇÃO – **ORGANOSSOLO HÁPLICO Háplico típico**

LOCALIZAÇÃO – Sítio Timbó,

SITUAÇÃO E DECLIVE – trincheira em área plana, sob vegetação de campo higrófilo de várzea, com 0 a 1% declive.

ELEVAÇÃO – Aproximadamente 03 metros.

MATERIAL DE ORIGEM E PERÍODO GEOLÓGICO – Depósitos turfáceos e sedimentos alúvio coluvionais. Quaternário.

PEDREGOSIDADE e ROCHOSIDADE - Ausentes.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano de várzea.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Muito mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campo higrófilo de várzea.

USO ATUAL – Campo higrófilo de várzea

DESCRITO E COLETADO – Paula Fernanda Chaves Soares, Sidinei Júlio Beutler, Elias Mendes Costa.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

H₁ – 0- 19 cm; preto (10YR 2/1, úmida); cinzento muito escuro (10YR 3/1, seca); orgânica; moderada pequena a média granular; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

H₂ – 19-40 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR3/2, úmida); orgânica; moderada pequena e média, granular; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

Cg₁ – 40-50 cm; cinzento (10YR6/1, úmida); argilosa; maciça; muito dura; muito firme; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

Cg₂ – 50-67⁺cm; cinzento (10YR6/1, úmida); argilosa; maciça; dura; firme; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

Observações: Muitas raízes fasciculares e pivotantes finas em H1 e H2. Raízes raras fasciculares e pivotantes finas em Cg1.



Figura 5. Na imagem a esquerda pode ser observado o perfil. E na direita a cobertura vegetal de campo higrófilo de várzea.

Perfil RJ-03 - ITATIAIA

DATA DA COLETA - 22/03/2012

CLASSIFICAÇÃO – **ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico**

LOCALIZAÇÃO – Parque Nacional do Itatiaia, terço inferior de encosta e com acesso a esquerda da placa com indicação para a trilha das Prateleiras (23K 0533769 e 7524084).

SITUAÇÃO E DECLIVE – trincheira aberta em terço inferior de encosta, em fundo de vale fechado, sob vegetação densa de campo de altitude, com 0 a 3% declive.

ELEVAÇÃO – 2202 m.

MATERIAL DE ORIGEM E PERÍODO GEOLÓGICO – Depósitos turfáceos e sedimentos aluvio/coluvionais. Quaternário.

PEDREGOSIDADE e ROCHOSIDADE – muito rochoso nas encostas adjacentes.

RELEVO REGIONAL – Escarpado.

RELEVO LOCAL – Plano a ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Muito mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campo de altitude.

USO ATUAL – Campo de altitude.

DESCRITO E COLETADO – Alessandro Samuel Rosa, Arcangelo Loss, Daniel Carvalho, Lúcia Helena Cunha dos Anjos, Paula Fernanda Chaves Soares, Sidinei Júlio Beutler, Ted Patrick King

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

H₁ – 0-12 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmida); cinzento muito escuro (10YR 3/1, seca); orgânica; moderada pequena a média granular; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

H₂ – 12-31 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmida); orgânica; moderada pequena e média, granular; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

H₃ – 31-58 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2); orgânica; moderada média blocos sub angulares; dura, firme; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Cg₁ – 58-76 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2); franco argilosa; maciça; muito dura; muito firme; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

Cg₂ – 76-100⁺cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2); franco argilosa; maciça; dura; firme; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

Observações: Muitas raízes fasciculares e pivotantes finas em H₁ e H₂. Raízes comuns fasciculares e pivotantes finas em H₃. Poucas raízes fasciculares em Cg₁. Raras em Cg₂.

Na área adjacente ao solo não se observou pedregosidade e rochiosidade, porém a paisagem ao redor é moderadamente pedregosa e muito rochosa, sendo as partes altas escarpadas.



Figura 3. Na imagem a esquerda pode ser observado o perfil RJ-02. E na direita a cobertura vegetal de campo altitude.

Perfil RJ-04 – ITATIAIA

DATA DA COLETA - 22/03/2012

CLASSIFICAÇÃO – **ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico cambissólico**

LOCALIZAÇÃO – Parque Nacional do Itatiaia, lado direito da rua de acesso ao Abrigo Rebouças, a cerca de 1 km do pórtico de entrada da parte alta do parque. (23K 0530905 e 7525596)

SITUAÇÃO E DECLIVE – perfil descrito em corte no terço inferior de encosta, sob vegetação de campo de altitude, com declive variando de até 20%, no terço médio, e de 3 a 4% no terço inferior da encosta, com pendente curta.

ELEVAÇÃO – 2442 m.

MATERIAL DE ORIGEM E PERÍODO GEOLÓGICO – Depósitos turfáceos e sedimentos coluvio/aluvionais. Quaternário.

PEDREGOSIDADE e ROCHOSIDADE – Moderadamente pedregoso e muito rochoso nas partes mais altas da encosta e na linha de drenagem.

RELEVO REGIONAL – Escarpado.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado a Ondulado.

EROSÃO – Laminar ligeira sobre o perfil e forte com sulcos e áreas escavadas rasas na linha de drenagem das vertentes adjacentes.

DRENAGEM – Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campo de altitude.

USO ATUAL – Campo de altitude.

DESCRITO E COLETADO – Alessandro Samuel Rosa, Arcangelo Loss, Daniel Carvalho, Lúcia Helena Cunha dos Anjos, Paula Fernanda Chaves Soares, Sidinei Júlio Beutler, Ted Patrick King

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

O₁ – 0-15cm; preto (N 2/0, úmida); orgânica; moderada pequena e média, granular; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

O₂ – 15-46cm; preto (N 2/0, úmida); orgânica; moderada pequena e média, granular; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

O₃ – 46-59cm; preto (N 2/0, úmida); orgânica; fraca pequena, granular e blocos sub angulares; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Bi₁ – 59-85cm; preto (N 2/0, úmida), franco argilosa, com pontuações de minerais primários; fraca pequena prismática e blocos subangulares; macia, muito friável; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição ondulada e gradual.

Bi₂ – 85-100cm; cinzento escuro (N 4/0, úmida), franco argilosa, com pontuações de minerais primários; maciça; macia, muito friável; ligeiramente plástica e não pegajosa.

Observações - Pontuações de grãos de feldspato e fragmentos de rocha pouco alterados em Bi. Muitas raízes fasciculares e pivotantes finas em O1 e O2. Raízes comuns fasciculares e pivotantes finas e médias em O3. Poucas raízes fasciculares em Bi. Raras em Bi2/BC.

Na área adjacente ao solo observou-se pouca pedregosidade e rochiosidade, porém a paisagem ao redor é moderadamente pedregosa e muito rochosa, sendo as partes mais altas escarpadas.

A condição do perfil caracteriza drenagem imperfeita. Porém o solo não estava úmido e, em outro local, apresentava rachaduras e abaixo do local de coleta do perfil ocorre zona abaciada com erosão intensa e água corrente. Essa condição de paisagem e solo foi observada em várias pequenas áreas ao longo da trilha (Figura 4).

Pode ser observada na figura 4 a rochiosidade da área na cabeceira de drenagem, com a exposição do solo ocasionada pela erosão. No perfil a cobertura vegetal superficial é de gramíneas e observam-se grandes rachaduras.



Figura 4. Na imagem a esquerda pode ser observado o perfil RJ-03. E na direita a cobertura vegetal de campo de altitude.