

KLEBER RAMON RODRIGUES

**GEOAMBIENTES E SOLOS EM AMBIENTES ALTIMONTANOS NOS  
PARQUES NACIONAIS DE ITATIAIA E CAPARAÓ-MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

R696g  
2011

Rodrigues, Kleber Ramon, 1969-  
Geoambientes e solos em ambientes altimontanos nos parques nacionais do Itatiaia e Caparaó-MG / Kleber Ramon Rodrigues. – Viçosa, MG, 2011.  
xi, 132f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: João Luiz Lani.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Solos - Classificação. 2. Parque Nacional do Itatiaia (RJ e MG). 3. Parque Nacional do Caparaó (ES e MG). 4. Mineralogia do solo. 5. Solos - Análise. 6. Química do solo. 7. Mapeamento do solo. 8. Solos - Erosão. 9. Solos - Degradação. 10. Solos orgânicos. 11. Solos ácidos.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

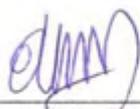
CDD 22. ed. 631.44

KLEBER RAMON RODRIGUES

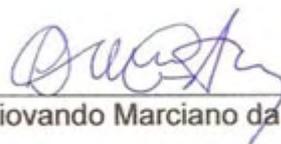
**GEOAMBIENTES E SOLOS EM AMBIENTES ALTIMONTANOS NOS  
PARQUES NACIONAIS DE ITATIAIA E CAPARAÓ-MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

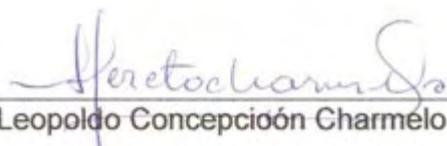
APROVADA: 30 de junho de 2011.



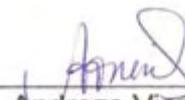
Elpidio Inácio Fernandes Filho  
(Coorientador)



Liovando Marciano da Costa



Leopoldo Concepción Charmelo



Andreza Viana Neri



Carlos Ernesto G.R. Schaefer  
(Presidente)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por todas as oportunidades que tem proporcionado à minha pessoa.

Ao meu filho Miguel Botelho Rodrigues por me fazer lembrar a todo o momento que, além de todos meus pequenos problemas, existe um motivo infinitamente maior que me faz seguir em frente.

Aos meus pais e irmãos, por terem me apoiado, propiciando sempre o melhor para a minha formação pessoal e acadêmica.

À FAPEMIG pelo apoio financeiro ao projeto.

À Fundação Educacional de Caratinga (FUNEC) por ter acreditado no meu potencial, disponibilizando as condições para a realização desse trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial, ao Departamento de Solos por me proporcionarem as condições necessárias para a realização deste trabalho.

Aos meus orientadores João Luiz Lani e Carlos Ernesto pelo apoio técnico e emocional e pela orientação competente, que enriqueceu outra etapa da minha formação como pessoa, docente e pesquisador.

Aos professores João Carlos Ker e Walter Abrahão pelos conselhos e ensinamentos.

Ao amigo Carlos Alberto por ter disponibilizado a estrutura do laboratório de Geoprocessamento do NEPUT (Núcleo de Estudos e Planejamento do Uso da Terra) para a elaboração de mapas e digitalização de imagens.

Aos funcionários do Departamento de Solos pelo apoio e pelo companheirismo. Um agradecimento especial aos laboristas Chico (mineralogia) e Bráz (matéria orgânica).

Aos meus amigos Jonh e Tâmia pelo apoio técnico e amizade.

A todos os meus amigos, que direta e indiretamente, contribuíram para esta jornada.

À minha companheira Paula, pelo apoio nas horas mais difíceis, sabendo entender minhas dificuldades e minhas limitações.

## BIOGRAFIA

Kleber Ramon Rodrigues, filho de Jacinto Rodrigues Costa e Maria das Graças Fonseca Rodrigues, nasceu em 12 de julho de 1969 na cidade de Caratinga, Minas Gerais.

Em dezembro de 1996, graduou-se em Geografia (bacharelado) pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Em dezembro de 1998, graduou-se em Geografia (licenciatura) pelo Centro Universitário de Caratinga - MG.

Em dezembro de 1998, concluiu o curso de pós-graduação "*Lato Sensu*" em geografia física pelo Centro Universitário de Caratinga - MG.

Em abril de 2004, obteve o título de Mestre em Meio Ambiente e Sustentabilidade pelo Centro Universitário de Caratinga – MG.

Em abril de 2007, iniciou seus estudos para obtenção do título de Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em junho de 2011.

## SUMÁRIO

|   | Página |
|---|--------|
| RESUMO .....  | x      |
| ABSTRACT .....  | xiii   |
| INTRODUÇÃO GERAL .....  | 01     |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 04     |
| <br>  |        |
| <b>CAPÍTULO I - GEOAMBIENTES E GRADIENTE PEDOLÓGICO DA PORÇÃO<br/>MINEIRA DO PARQUE NACIONAL DO CAPARAÓ</b> |        |
| RESUMO .....  | 05     |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 06     |
| 2. MATERIAIS E MÉTODOS .....  | 08     |
| 2.1. Localização da Área de Estudo e Características Gerais .....   | 08     |
| 2.2. Estratificação das Unidades Geoambientais .....  | 11     |
| 2.3. Levantamento dos Solos e Coleta de Amostras .....  | 11     |
| 2.4. Análises Físicas .....   | 12     |
| 2.5. Análises Químicas .....  | 12     |
| 2.6. Ataque Sulfúrico .....   | 13     |
| 2.7. Análises Mineralógicas .....   | 13     |
| 2.8. Micromorfologia .....  | 14     |
| 2.9. Fracionamento Quantitativo das Substâncias Húmicas .....   | 14     |

|  |    |
|--|----|
| 2.10. Estoques de Carbono no Solo .....  | 15 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 16 |
| 3.1. Unidades Geoambientais .....  | 16 |
| 3.2. Encostas Íngremes com Colúvio Raso .....  | 19 |
| 3.3. Encostas Íngremes com Colúvio Profundo .....  | 20 |
| 3.4. Vales Estruturais Bem Drenados Entre Cristas .....                                    | 23 |
| 3.5. Mosaico de Serras, Cristas e Pontões .....  | 23 |
| 3.6. Patamares Estruturais .....   | 23 |
| 3.7. Encostas Montanhosas Ravinadas .....  | 24 |
| 3.8. Escarpas Rochosas com Colúvio Raso .....  | 25 |
| 3.9. Encostas íngremes com Escrubes de Candeias .....                                      | 26 |
| 3.10. Vales estruturais Hidromórficos Suspensos .....                                      | 27 |
| 3.11. Posição dos Perfis de Solos na Paisagem do Parna Caparaó .....                       | 28 |
| 3.12. Solos da Topossequência do Parma Caparaó: Aspectos Gerais .....                      | 29 |
| 3.13. Atributos Físicos e Químicos .....   | 35 |
| 3.13.1. Latossolo Amarelo Distrófico húmico (P1) .....                                     | 35 |
| 3.13.2. Cambissolo Húmico Distrófico típico (P2) .....                                     | 36 |
| 3.13.3. Neossolo Regolítico Húmico distrófico (P3) .....                                   | 37 |
| 3.13.4. Cambissolo Húmico Distrófico típico (P4) .....                                     | 37 |
| 3.13.5. Organossolo Háptico Sáprico típico (P5) .....                                      | 38 |
| 3.13.6. Cambissolo Húmico Distrófico típico (P6) .....                                     | 39 |
| 3.13.7. Neossolo Litólico Húmico típico (P7) .....   | 39 |
| 3.13.8. Ataque Sulfúrico .....   | 40 |
| 3.13.9. Características Mineralógicas da Fração Argila .....                               | 41 |
| 3.13.10. Características Mineralógicas da Fração Areia .....                               | 41 |
| 3.13.11. Micromorfologia dos Perfis P2 e P6 (Cambissolo Húmico<br>Distrófico típico) ..... | 50 |
| 3.14. Fracionamento Quantitativo das Substâncias Húmicas .....                             | 55 |
| 3.15. Estoque de Carbono .....   | 57 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 59 |

## **CAPÍTULO II - GEOAMBIENTES DA PORÇÃO MINEIRA DO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA**

|                     |    |
|---------------------|----|
| RESUMO .....        | 63 |
| 1. INTRODUÇÃO ..... | 64 |

|  |    |
|--|----|
| 2. MATERIAIS E MÉTODOS .....   | 65 |
| 2.1. Localização da Área de Estudo e Características Gerais .....                          | 65 |
| 2.2. Estratificação das Unidades Geoambientais .....                                       | 69 |
| 2.3. Levantamento Esquemático dos Solos e Coleta de Amostras .....                         | 70 |
| 2.4. Análises Físicas e Químicas dos Solos .....   | 70 |
| 2.4.1. Análises Físicas .....  | 70 |
| 2.4.2. Análises Químicas .....   | 70 |
| 2.5. Ataque Sulfúrico .....  | 71 |
| 2.6. Análises Mineralógicas .....  | 71 |
| 2.7. Fracionamento Quantitativo das Substâncias Húmicas .....                              | 72 |
| 2.8. Estoques de Carbono no Solo .....   | 73 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 74 |
| 3.1. Maciço Alcalino do Itatiaia: Aspectos Geomorfológicos .....                           | 74 |
| 3.2. Unidades Geoambientais .....  | 77 |
| 3.2.1. Encostas Íngremes com Colúvio com Predominância de Neossolo<br>Litólico .....       | 77 |
| 3.2.2. Encostas Íngremes e Grotas Florestadas com Cambissolos<br>Húmicos Distróficos ..... | 81 |
| 3.2.3. Mosaico de Campos de Blocos e Elevações Rochosas .....                              | 82 |
| 3.2.4. Escarpas Rochosas com Tálus e Campos de Altitude .....                              | 82 |
| 3.2.5. Encostas Íngremes com Colúvio com Cambissolos .....                                 | 83 |
| 3.2.6. Vales Estruturais Suspensos com Turfeiras .....                                     | 84 |
| 3.2.7. Patamares Estruturais Elevados com Neossolos Litólicos Húmicos .....                | 85 |
| 3.3. Estoque de Carbono .....  | 87 |
| 4. CONCLUSÕES .....  | 88 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 89 |

### **CAPÍTULO III - TOPOSSEQUÊNCIA DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE SIENITO NO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA**

|   |    |
|---|----|
| RESUMO .....  | 92 |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 93 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....                                       | 94 |
| 2.1. Localização da Área de Estudo e Características Gerais ..... | 94 |
| 2.2. Levantamento dos Solos e Coleta de Amostras .....            | 96 |
| 2.3. Análises Físicas e Químicas dos Solos .....                  | 96 |

|   |     |
|---|-----|
| 2.3.1. Análises Físicas .....   | 96  |
| 2.3.2. Análises Químicas .....  | 96  |
| 2.4. Ataque Sulfúrico .....   | 97  |
| 2.5. Análises Mineralógicas .....   | 97  |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 98  |
| 3.1. Posição dos Perfis de Solos na Paisagem do Parna Itatiaia .....                          | 98  |
| 3.2. Solos da Topossequência do Parna Itatiaia: Aspectos Gerais .....                         | 103 |
| 3.3. Atributos Físicos e Químicos .....   | 110 |
| 3.3.1. Cambissolo Húmico Distrófico típico .....  | 110 |
| 3.3.2. Cambissolo Húmico Distrófico latossólico .....   | 111 |
| 3.3.3. Organossolo Háplico Hêmico típico .....  | 112 |
| 3.3.4. Neossolo Litólico Húmico típico .....  | 113 |
| 3.3.5. Características Mineralógicas da Fração Argila e Relações<br>Moleculares Ki e Kr ..... | 114 |
| 3.4. Fracionamento Quantitativo das Substâncias Húmicas .....                                 | 117 |
| 4. CONCLUSÕES .....   | 118 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 119 |
| <br>  |     |
| CONCLUSÕES GERAIS .....   | 123 |

## RESUMO

RODRIGUES, Kleber Ramon, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2011. **Geoambientes e solos em ambientes altimontanos nos parques nacionais de Itatiaia e Caparaó-MG.** Orientador: João Luiz Lani. Coorientadores: Carlos Ernesto G.R. Schaefer e Elpídio Inácio Fernandes Filho.

As unidades de conservação (UCs) do Caparaó e Itatiaia encontram-se no alinhamento montanhoso com direção pronunciada nordeste-sudoeste da Serra da Mantiqueira, estando o Parna Itatiaia a sudoeste do Rio de Janeiro e ao sul de Minas Gerais e o Parna Caparaó a sudoeste do Espírito Santo e leste de Minas Gerais. Estas duas UCs representam os ecossistemas altimontanos dominados pelo Campo de Altitude, onde diferem do seu entorno por apresentarem pedoambientes endêmicos, estresse hídrico, oligotrofismo e o acúmulo de matéria orgânica humificada. Em virtude das grandes diferenças edafo-climáticas entre estas áreas e seus entornos, observam-se vegetações particulares, consideradas áreas de refúgio ecológico. Diante da lacuna de estudos do meio físico, o objetivo foi estudar as características micromorfológicas dos perfis P2 e P6 do Parna Caparaó-MG e os atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos de duas topossequências em cada um dos Parques Nacionais no alinhamento da Serra da Mantiqueira, na porção mineira das Unidades de Conservação (UCs) do Caparaó e Itatiaia, estabelecendo as relações entre pedogênese, as variações lito-estruturais, a

morfologia e a cobertura vegetal. A base geológica das UCs é formada pelo sienito (Itatiaia) e pelo gnaiss migmatizado, migmatito com ocorrência de diques de anfibolitos (Caparaó). Os solos das duas topossequências, independentemente da matriz geológica, da profundidade do solum e da fitofisionomia que sobre eles se desenvolve, são pobres em nutrientes e apresentam elevados índices de saturação por alumínio. Os valores de alumínio trocável (acidez trocável) são baixos, chegando a negligenciáveis nos horizontes subsuperficiais. Tal fato sinaliza que a ação dos complexos estáveis de alumínio e matéria orgânica estabiliza a MO e a tornam mais resistente à decomposição microbiana nos ambientes altimontanos de Minas Gerais. A pobreza química desses solos é devida principalmente à natureza da matriz geológica dominante nestes ambientes altimontanos e, em parte, às perdas por lixiviação e erosão que o sistema apresenta. Tais perdas estão associadas ao relevo muito movimentado e à pouca espessura do solum. Nestes ambientes altimontanos predominam Neossolos Litólicos e Cambissolos Húmicos, vegetação herbácea e subarborescente e Afloramentos Rochosos. Nas duas topossequências estudadas, na área de ocorrência da tipologia vegetal, escrubes e campo com candeias, o oligotrofismo, solos mais rasos e a posição mais exposta na paisagem são obstáculos para a ocorrência de uma tipologia florestal mais densa. As Florestas Alto-Montana e Montana ocupam a porção oeste da parte mineira do Parna Caparaó, e a face atlântica do Itatiaia. A vegetação com dominância arbórea (Floresta Montana e Alto-montana) está condicionada pela maior profundidade efetiva do solo e disponibilidade de água. Na UC do Caparaó a Floresta Alto-Montana ocorre em encostas íngremes com solos de maior profundidade em anfiteatros, que potencializam o desenvolvimento de cobertura vegetal mais densa. Essas formas em anfiteatros são mesoambientes condicionados pela estrutura geotectônica fraturada das rochas que formam o Maciço do Caparaó, correspondendo aos modelados de dissecação diferencial com o aprofundamento da drenagem. Nestas áreas de solos mais profundos, ainda que se observe uma riqueza aparente (porte arbóreo da vegetação) predominam solos extremamente pobres em nutrientes. A ocorrência de vales estruturais suspensos em ambas as UCs, com morfologia abaciada (área de sedimentação e colmatagem) tem papel primordial na formação dos Organossolos, responsáveis por forte imobilização de carbono. Estas áreas de

turfeiras com Organossolos no Parna Caparaó são responsáveis pela imobilização de aproximadamente 1.120,50 megagramas de carbono por hectare e de 426 megagramas de carbono por ha no Parna Itatiaia. Apesar da importância ambiental e ecoturística dos cenários altimontanos de Minas Gerais (Caparaó e Itatiaia), pouco se conhece sobre suas características fisiográficas.

## ABSTRACT

RODRIGUES, Kleber Ramon, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2011. **Geoenvironmental and soil in upper montane environments in Itatiaia and Caparaó National Parks, Minas Gerais.** Adviser: João Luiz Lani. Co-Advisers: Carlos Ernesto G. R. Schaefer and Elpídio Inácio Fernandes Filho.

Protected areas (PAs) of the Caparaó and Itatiaia are in alignment with mountain pronounced northeast-southwest direction of the Serra da Mantiqueira mountains, with the National Park of Itatiaia southwest of Rio de Janeiro and the south of Minas Gerais, and National Park of Caparaó southwest of Espírito Santo and eastern Minas Gerais. These two protected areas represent high mountains ecosystems dominated by altitude fields, where they differ from their surroundings by presenting endemic pedoenvironment, water stress, nutrient content and accumulation of humified organic matter. Because of the major soil and climatic differences between these areas and their surroundings, there are particular vegetation, refuge areas considered environmentally friendly. Given the lack of research of the physical environment, the goal was to study the micromorphological features of the profiles P2 and P6 of National Park of Caparaó-MG and the physical, chemical and mineralogical soil of two toposequence in each of the alignment of National Parks in the Serra Mantiqueira mountains in the portion of Minas Gerais of the Protection Areas (PAs) of Caparaó and Itatiaia, establishing relations between pedogenesis,

variations litho-structural, morphology and vegetation cover. The geological foundation of the PAs is formed by syenite (Itatiaia) and migmatized gneiss, migmatite occurrence with amphibolite dikes (Caparaó). The soil toposequence of the two, regardless of the geological matrix, the depth of the solum and vegetation type that grows on them, are poor in nutrients and have high levels of aluminum saturation. The amounts of exchangeable aluminum (exchangeable acidity) are low, even negligible in the subsurface layers. This fact indicates that the action of stable complexes of aluminum and organic matter stabilizes the organic matter and make it more resistant to microbial decomposition in the high mountains environment of Minas Gerais. Poverty chemistry of these soils is mainly due to the geological nature of the matrix dominant in these high mountains environments and, in part, to losses by leaching and erosion that the system presents. These losses are associated with prominent and very busy little thickness of the solum. In these high mountains environments litholic neo soils predominate and humic cambisols, herbaceous vegetation and undergrowth and rocky outcroppings. In two toposequence studied in the area of occurrence of scrub vegetation type and field with candles, the oligotrophic, shallow soils and more exposed position in the landscape are obstacles to the occurrence of a denser forest type. The upper montane and montane forests occupy the western part of the Minas Gerais portion of National Park of Caparaó, and the atlantic fase of Itatiaia. The dominant tree vegetation (montane forest and upper montane) is conditioned by the most effective soil depth and water availability. In PA Caparaó the upper montane forest occurs on steep slopes with deeper soils in amphitheaters, which potentiate the development of denser vegetation. These forms of amphitheaters are conditioned geotectonic by the structure of fractured rocks that form the Maciço do Caparaó meso environments, corresponding to the modeled differential dissection with the deepening of drainage. In these areas of deeper soils, even if a note apparent wealth (arboreal vegetation) predominate extremely nutrient-poor soils. The occurrence of suspended structural valleys in both PAs, morphology abaca (area of sedimentation and clogging) plays a decisive role in the formation of histosols, responsible for strong immobilization of carbon. These areas of peatland in histosols with the National Park of Caparaó are responsible for the immobilization of approximately 1120.50 megagram of carbon per hectare, and 426 megagram of carbon per ha in the

National Park of Itatiaia. Despite the importance of environmental and ecotourism of high mountains scenarios of Minas Gerais (Caparaó and Itatiaia), little is known about its physiographic characteristics.

## INTRODUÇÃO GERAL

A paisagem do estado de Minas Gerais apresenta uma diversidade morfológica que o torna único em relação aos demais estados brasileiros. Na porção leste do estado encontram-se alinhamentos montanhosos com direção pronunciada norte-sul e nordeste-sudoeste, constituindo as Serras do Espinhaço e a Serra da Mantiqueira, constituídos também de outras serras isoladas que seguem estes mesmos alinhamentos, como a Serra do Caparaó e a Serra do Itatiaia. Nestas áreas, são comuns cotas superiores a 1.400 m, algumas atingindo cotas superiores a 2.500 m de altitude.

Ao longo da cumeada das serras, ocupando as áreas de cotas mais elevadas, existem pedoambientes endêmicos onde se observam condições de estresse hídrico e oligotrofismo, impostas pela característica da litologia e pela pouca profundidade do solum em consequência da topografia movimentada. Em alguns casos, a elevada altitude condiciona temperaturas médias baixas, criando condições climáticas menos favoráveis à ação dos microorganismos na decomposição da matéria orgânica do solo, que tende a acumular-se.

De acordo com BENITES (2001), SCHAEFER et al. (2002), BENITES et al. (2005) e BENITES et al. (2007), a matéria orgânica desempenha papel primordial nos processos ecológicos de gênese dos solos da Cadeia do Espinhaço e na sustentabilidade deste ecossistema, uma vez que as rochas são quimicamente pobres, e os solos delas derivados são ácidos e de baixa CTC.

A MO desempenha um importante papel na retenção de umidade e nutrientes, e, na complexação de Fe e Al. A movimentação de matéria orgânica associada a Fe e Al, caracterizando o processo de podzolização é comum nas áreas de vegetação de Campos de Altitude (BENITES et al., 2001). Em virtude das grandes diferenças edafo-climáticas entre estas áreas e seus entornos, observam-se estratos de vegetação bem particulares, consideradas áreas de refúgio ecológico. A vegetação encontrada nestas áreas é classificada como Campos altimontanos ou Campos de altitude, de acordo com a sua composição fitomorfológica e com as características climosequências e pedogeomorfológicas locais (RADAMBRASIL, 1983, VELOSO, 1991 e RIZZINI, 1997). Esta vegetação caracteriza-se por apresentar espécies com elevado grau de especialização às condições locais, o que resulta em elevado grau de endemismo e no surgimento de organismos dotados de estratégias ímpares de adaptação à sobrevivência em pedoambientes muito localizados. Devido á riqueza em biodiversidade destas áreas, as mesmas se concentram em Unidades de Conservação (UCs), como os Parques Nacionais do Caparaó e do Itatiaia, além de outras áreas de preservação ambiental.

Nesta paisagem cênica observa-se uma interação interessante entre a litologia, o solo e as plantas. Na tentativa de obter nutrientes, a vegetação e os líquens produzem uma série de compostos orgânicos, como enzimas e ácidos orgânicos capazes de acelerar a desagregação e decomposição da rocha na tentativa de liberar os nutrientes nela armazenados (Figura 1).

Além disso, estas plantas são capazes de desenvolver sistemas de ciclagem extremamente eficientes. Mantêm, pela ciclagem, os elementos oriundos na rocha (Itatiaia), ou ainda aportam por meio da precipitação pluviométrica, transportado por ventos, como o Na vindo do mar (LANI, 2001). A vida nestes ambientes é um verdadeiro exercício de adaptação a diversos estresses químicos, hídricos e climáticos (baixas temperaturas). Embora seja evidente o controle pedogeomorfológico sobre a vegetação nas áreas de Campos de Altitude, o estudo destes pedoambientes localizados nos trópicos é comparativamente incipiente.



Figura 1. Presença de líquens atuando no início do processo de intemperismo da rocha no Maciço do Caparaó a 2.550 m de altitude (RODRIGUES, 2008).

Por se tratar de ambientes de pouco valor agrícola, baixa capacidade de suporte e difícil sustentabilidade, estes cenários altimontanos estão sujeitos a alterações externas, que podem levá-los à intensa degradação. A interferência antrópica sobre estes ambientes é relativamente de pouca expressão, por se tratar de sistemas não propícios à atividade agrícola. Entretanto, o efeito do fogo de queimadas juntamente com o impacto causado pelo turismo sem orientação adequada, podem causar grandes danos ao sistema que apresenta baixa resiliência, podendo repercutir sobre a vegetação e solos, importantes compartimentos de imobilização de carbono, como os Organossolos e Cambissolos Húmicos.

Devido ao pouco conhecimento existente sobre os pedoambientes altimontanos no estado de Minas Gerais, pouco se conhece sobre a diversidade de solos nestes ambientes de suma importância.

Sendo assim, o presente trabalho buscou suprir a lacuna de conhecimentos pedológicos dos Parques Nacionais do Caparaó e Itatiaia, através do estudo de duas topossequências de solos nas Unidades de Conservação (UCs), estabelecendo as relações entre pedogênese, as variações lito-estruturais, declividade (posição na paisagem) e a morfologia.

Além disso, caracterizaram-se e mapearam-se as Unidades Geoambientais, além de prover informações valiosas sobre a gênese dos solos altimontanos da fachada atlântica brasileira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENITES, V.M. **Caracterização de solos e de substâncias húmicas em áreas de vegetação rupestre de altitude**. Viçosa: UFV, 2001. 74p.: il. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- BENITES, V.M., et al. **Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil**. *Geoderma* 127, 2005. p.104-113.
- BENITES, V.M et al. **Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço**. *Revista Brasileira de Botânica*, v.30, n.4, p.569-577, 2007.
- BENITES, V.M. et al. **Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro**. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 25:661-674, 2001.
- LANI, J.L. REZENDE, S.B.; RESENDE, M. **Estratificação de Ambientes com base nas classes de solos e outros atributos na Bacia do rio Itapemirim**: Espírito Santo. *Ceres*, Viçosa-MG: v.48, p.239-262, 2001.
- RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais: Folhas SF23/24 Rio Janeiro/Vitória; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1983. 780p.
- RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos sociológicos e florísticos**. São Paulo: EDUSP, 1997. 374p.
- SCHAEFER, C.E.G.R. et al. **Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study**. *Geoderma* 107, 2002, p.243–269.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R. & LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro: 1991, 123p.

## **CAPÍTULO I**

### **GEOAMBIENTES E GRADIENTE PEDOLÓGICO DA PORÇÃO MINEIRA DO PARQUE NACIONAL DO CAPARAÓ**

#### **RESUMO**

Há uma lacuna nas pesquisas sobre os geoambientes altimontanos, no Parque Nacional do Caparaó, e, nesse sentido, o presente trabalho objetivou caracterizar uma topossequência de solos representativos do Parque Nacional do Caparaó-MG, bem como caracterizar e mapear as unidades geoambientais do Parque Nacional do Caparaó. Os solos estudados, independentemente do substrato litológico, da profundidade do perfil e da fitofisionomia de ocorrência, apresentam elevados teores de matéria orgânica, acidez média e oligotrofismo, com destaque para os Organossolos e Cambissolos Húmicos. Alguns solos encontrados nestes ambientes altimontanos mostram características endêmicas, peculiares do clima, cobertura vegetal e litologia, e sua preservação é estratégica por se tratar de solos de ocorrência muito restrita na paisagem brasileira. A matéria orgânica desses solos apresenta alto grau de humificação. Foram estudados os atributos físicos e químicos de sete perfis de solos, relacionando-os com a pedogênese nas diferentes unidades geoambientais. Foram identificadas, mapeadas e caracterizadas nove unidades geoambientais do Parna Caparaó. A formação dos solos Altimontanos do Caparaó é mais influenciada pela litologia, declividade (posição na paisagem), controles litoestruturais (diques, fraturamentos e falhas) e cobertura vegetal. A vegetação florestada (Floresta Montana e Alto-Montana) está condicionada à maior profundidade do solo e disponibilidade de água (posição e geoforma da paisagem). São observados, entre os geoambientes, definindo tipos de vegetação bem particulares, representando áreas de refúgio ecológico. A vegetação encontrada no Parna Caparaó é um complexo altomontano, com uma situação fitofisionômica variada, compreendendo desde Campos de Altitude, Escrubes de Candeias até Florestas Ombrófilas "Nebulares". A partir

do fracionamento do carbono em substâncias húmicas ficou evidente a maior presença da fração humina nos solos do Parque Nacional do Caparaó-MG. Com base nos cálculos de estoque de carbono, foi possível evidenciar a importância dos solos do Parna Caparaó na imobilização de carbono, com valores superiores a 1000 Mg/ha.

Palavras-chave: Pedogênese, paleoambientes, endemismo, biodiversidade.

## 1. INTRODUÇÃO

O Parque Nacional do Caparaó foi criado pelo decreto Federal nº 50.646 de 24/05/1961, o qual definiu a área de abrangência como aquela acima da cota de 1.300 m. No entanto, pela dificuldade prática de estabelecer estes limites em campo, o decreto datado de 20/11/1997 veio redefini-los. A área do Parque ficou estabelecida em 31.800 ha, localizados nos municípios mineiros de Alto Caparaó, Caparaó, Espera Feliz e Alto Jequitibá, além dos municípios capixabas de Divino de São Lourenço, Dolores do Rio Preto, Ibitirama, Iúna e Irupí (IBAMA, 1997). Sobre a abrangência, 79% da área do Parque está contida no Espírito Santo e 21% em Minas Gerais (IBAMA, 1997). A paisagem do Parque Nacional do Caparaó apresenta uma diversidade pedogeomorfológica ainda não devidamente estudada, associada à riqueza e endemismo de fauna e flora. No Parna Caparaó, além da biodiversidade, ocorrem grandes diferenças edafoclimáticas associadas às variações topográficas, definindo tipos de vegetação bem particulares, consideradas genericamente como refúgios ecológicos. A vegetação encontrada nestas áreas foi originalmente classificada como "Campo de Altitude" (VELOSO et al., 1991 e RIZZINI, 1997).

Esta vegetação caracteriza-se por apresentar espécies de alta especialização, o que resulta em elevado grau de endemismo e no surgimento de organismos dotados de estratégias singulares de adaptação à sobrevivência em geoambientes altimontanos, frios, sazonalmente secos ou úmidos, e suscetíveis ao fogo. Estas paisagens de rara beleza cênica, adversas ao desenvolvimento agropecuário, representam ambientes de alta fragilidade, onde os impactos antrópicos podem conduzir a intensa degradação (Figura 1). Queimadas anuais no entorno, juntamente com o impacto causado pelo turismo,

sem orientação, têm causado danos ao equilíbrio dos ecossistemas, causando emissões de carbono em solos com elevado potencial de sequestro (SCHAEFER e SIMAS, 2007).



Figura 1. Erosão em sulcos na cota de 2.038 m altitude, indicando impacto antrópico nas trilhas de visitação do Parna Caparaó, que degradam o solo.

A formação dos solos em ambientes altimontanos parece ser mais influenciada pela litologia, declividade (posição na paisagem), controles litoestruturais (diques, fraturamentos e falhas) e cobertura vegetal. A vegetação de dominância arbórea (Floresta Montana e Alto-Montana) está condicionada pela maior profundidade efetiva do solo e disponibilidade de água. Os Campos de Altitude ocorrem nas altitudes mais elevadas (acima de 1500 m) no Parna Caparaó, sendo desenvolvidos sobre solos rasos, ricos em MO como os Neossolos Litólicos Húmicos ou Organossolos e quimicamente muito pobres (DIAS et al., 2002; SCHAEFER e SIMAS, 2007; BRANDÃO et al., 2009).

O presente trabalho buscou suprir a lacuna de conhecimentos pedológicos do Caparaó, através do estudo de uma topossequência de solos na sua porção mineira. Além disso, caracterizaram-se e mapearam-se as Unidades Geoambientais, além de prover informações valiosas sobre a gênese dos solos altimontanos da fachada atlântica brasileira.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Localização da Área de Estudo e Características Gerais

O Parque Nacional do Caparaó localiza-se na divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, entre os paralelos  $20^{\circ}19'S$  e  $20^{\circ}37'S$  e os meridianos  $41^{\circ}43'W$  e  $41^{\circ}53'W$  (IBAMA, 1997) (Figura 2).

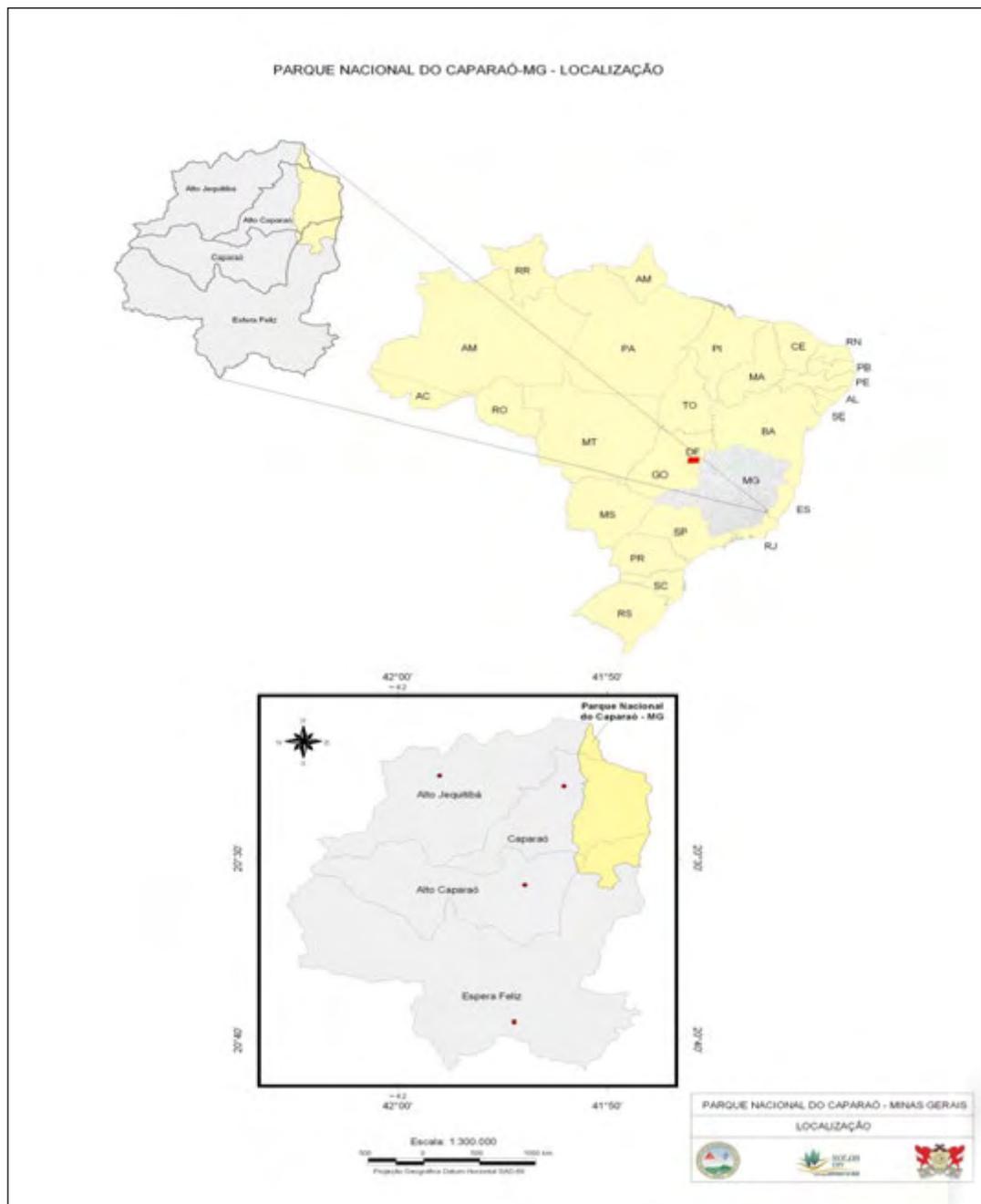


Figura 2. Localização do Parque Nacional do Caparaó no estado de Minas Gerais.

O clima predominante da região é o tropical de altitude/subtropical (Cwb). Possui temperaturas amenas, com médias anuais entre os 19°C e os 22°C. Nas partes mais elevadas, devido à altitude serrana, apresenta temperaturas médias anuais bem menores (IBAMA, 1997).

As partes cimeiras do Parque são lugares muito frios, e alguns pontos são os mais frios do Brasil, com temperaturas que podem variar de 25°C a até -10°C, sendo que, no inverno, as cotas acima de 2.000 m registram queda de geada e temperaturas de -4°C diariamente. Na base do Pico do Cristal, há registro de pelo menos um dia por ano com cobertura de gelo em um dos lagos (IBAMA, 1997).

A região configura uma cadeia de montanhas que se eleva, de forma abrupta até a altitude de 2.890 m, formando o Maciço do Caparaó. Do ponto de vista geológico-estrutural, o Maciço do Caparaó integra uma extensa faixa de dobramentos denominada Faixa Móvel Atlântica desenvolvida na região sudeste do Brasil durante o Ciclo Brasileiro (cerca de 630-550 Ma (RADAMBRASIL, 1983; ALMEIDA, 1967), reativada no ciclo tectônico pós-cretáceo, até o Quaternário (RICCOMINI, 1989).

Dados geocronológicos indicam que as rochas que formam o Maciço do Caparaó são mais antigas que o Brasileiro, tendo sido formadas há cerca de 2 bilhões de anos atrás, sendo, portanto, apenas rejuvenescidas pelo Ciclo Brasileiro. Este ciclo representou um período de intensa atividade geológica de magmatismo e formação de montanhas numa extensa área geográfica que se estende por grande parte da fachada Atlântica do sudeste Brasileiro (RADAMBRASIL, 1983; CPRM, 2007).

O conjunto rochoso do qual faz parte o Maciço do Caparaó distribui-se na direção norte-sul, envolvendo rochas metamórficas de médio a alto grau de metamorfismo. Seu entorno apresenta uma morfologia de mar de morros com geologia gnáissica. No bloco montanhoso (Maciço do Caparaó) predomina um complexo constituído por Migmatitos e Gnaisses Granitizados, localmente migmatizado com diques de anfíbolitos, dioritos e gabros intimamente associados (RADAMBRASIL, 1983; CPRM, 2007) (Figuras 3 e 4).



Figura 3. Presença de gnaiss migmatizado bandado e fraturado no Alto curso do rio José Pedro, na divisa entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo.



Figura 4. Dique de anfibólio profundamente alterado sob vegetação de Campo de Altitude, na porção Mineira do Parna Caparaó.

## **2.2. Estratificação das Unidades Geoambientais**

Para a estratificação do meio físico em Unidades Geoambientais foram avaliados os aspectos pedo-geomorfológicos conforme BERTRAND (1972); SOTCHAVA (1977); TRICART e KIEWIETDEJONGE (1992); SCHAEFER (1997); DIAS et al (2002) BRANDÃO et al (2009).

Foram agrupadas sob uma mesma denominação áreas com características similares em relação aos atributos avaliados, sendo identificadas e descritas as características representativas e problemas geoambientais associados. Para isso, foram utilizadas cartas do IBGE em escala 1:100.000, imagem Landsat com data de 28/05/2009, Projeção (Universal Transversa de Mercator Datum Horizontal SAD-69, Zona 24 Sul). A informação geológica foi baseada no Projeto RADAMBRASIL, ajustada por intenso trabalho de campo. Para a digitalização dos mapas de localização da área, de geologia, de altimetria, de declividade, de vegetação, de classes de solos e Unidades Geoambientais, foram utilizados os programas Arc-Info e Arc-View 9.3 do laboratório de geoprocessamento do Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra - NEPUT da Universidade Federal de Viçosa. A tipologia vegetal encontrada foi classificada segundo VELOSO (1991). Após percorrer toda área, foram abertos sete perfis de solos representativos de acordo com as feições pedogeomorfológicas e identificadas nove Unidades Geoambientais, e foram feitas observações pedológicas complementares. Para caracterização e classificação dos solos, procedeu-se à coleta de amostras, encaminhadas para análises físicas e químicas (EMBRAPA, 1997).

O local onde foram coletadas as amostras de solos dos perfis foi georreferenciado com uso de GPS (*Global Positioning System*) de navegação.

## **2.3. Levantamento dos Solos e Coleta de Amostras**

O levantamento de solos foi realizado com base nas características da paisagem do Parna Caparaó. Abriram-se sete perfis nas unidades geoambientais descritas, com o intuito de se entender melhor os processos de formação em cada ambiente, formando uma topossequência representativa da paisagem altimontana. Foi procedida a coleta de amostras de solo para análises físicas e químicas. A cor do solo foi determinada em amostras de TFSA utilizando a caderneta de Münsell.

Os solos representativos de cada ambiente foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SIBCs (EMBRAPA, 2006).

#### **2.4. Análises Físicas**

As amostras de solos coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, obtendo-se, desta maneira, a terra fina seca ao ar (TFSA), que foi submetida a análises de acordo com os métodos padrões descritas por EMBRAPA (1997).

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta de acordo com EMBRAPA (1997), porém, com utilização de agitação lenta de 50 rpm por 16 h (RUIZ, 2005) e determinação de silte por pipetagem (RUIZ, 2005) e não por diferença.

#### **2.5. Análises Químicas**

As análises na TFSA foram realizadas como descritas abaixo: pH em água e em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (1:2,5), cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, extraídos com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. O cálcio e o magnésio foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, e o alumínio por titulação com solução NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>, enquanto o potássio e sódio trocáveis foram extraídos com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e quantificados por fotometria de chama. A acidez potencial (H + Al) foi extraída com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> ajustada a pH 7,0, e determinada por titulação com solução de NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup> quantificados por fotometria de chama. O fósforo foi extraído com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>+ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>(Mehlich-1), e determinado por colorimetria. Os procedimentos de extração e quantificação foram realizados, conforme os métodos descritos e aplicados rotineiramente na UFV (DEFELIPO & RIBEIRO, 1997). O carbono orgânico total foi determinado pelo método de Walkley- Black, com oxidação da matéria orgânica, por via úmida, com dicromato de potássio 0,1667 mol L<sup>-1</sup> sem aquecimento (EMBRAPA 1997). A titulação foi realizada com sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol L<sup>-1</sup> (DEFELIPO & RIBEIRO, 1997).

O fósforo remanescente (P-rem) foi determinado conforme DEFELIPO & RIBEIRO (1997) e ALVAREZ et al. (2000), com determinação em espectrofotômetro (comprimento de onda de 725 nm).

## **2.6. Ataque Sulfúrico**

Para a determinação dos teores de silício ( $\text{SiO}_2$ ), ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), as amostras de TFSA foram colocadas em contato com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:1 (volume), aquecendo-se por uma hora a  $170^\circ\text{C}$  e, após isto, resfriamento, diluição e filtração. No resíduo, determinou-se a sílica e, no filtrado, os demais óxidos por espectrometria de emissão em plasma (ICP-AES) (EMBRAPA, 1997). De posse dos dados, foram calculadas as relações moleculares  $K_i$  e  $K_r$  (EMBRAPA, 1997).

## **2.7. Análises Mineralógicas**

Com o objetivo de retirar interferências na amostra de solo, foi realizado pré-tratamento por meio de processo de oxidação da matéria orgânica utilizando hipoclorito de sódio ( $\text{NaClO}$ ) e extração das formas de ferro amorfo e cristalino utilizando-se o citrato-ditionito ( $\text{Fed}$ ) e o oxalato de amônio ( $\text{Feo}$ ), respectivamente.

Após o pré-tratamento do solo, para as análises mineralógicas no difratograma de raios-X, foram separadas as frações areia (2,0-0,005 mm, silte (0,05-0,002 mm) e argila (< 0,002 mm). Através da dispersão de 20 g de TFSA com água, hidróxido de sódio (50 mL – 0,5 mol/L) e agitação por 5 minutos, as amostras foram passadas por peneira com malha de 0,053 mm para separação da fração areia. Em seguida, as frações silte e argila que passaram pela peneira, foram separadas por sedimentação, segundo lei de Stokes.

A fração argila obtida foi então seca em estufas com temperatura de  $60^\circ\text{C}$ . As argilas de todos os perfis amostrados foram preparadas em lâminas de vidro sob a forma de películas orientadas, através da técnica do “esfregaço”, de modo de que os minerais sejam orientados para facilitar o diagnóstico dos picos difratométricos dos minerais.

Após a preparação das lâminas, a análise mineralógica da fração argila dos solos foi realizada por meio de difratometria de raios-X, que permitiram a

identificação dos minerais contidos nas amostras. Os difratogramas foram interpretados de acordo com CHEN (1977), BRINDLEY e BROWN (1980) e RESENDE et al. (2005).

## **2.8. Micromorfologia**

As amostras indeformadas foram secas ao ar e impregnadas com resina de poliéster e confeccionadas seções finas. Estas foram estudadas em Microscópio Petrográfico com luz plana e polarizada e Microscópio Eletrônico de Varredura. Para a descrição micromorfológica utilizou-se o princípio básico dos três níveis (BULLOCK et al., 1985), na seguinte sequência: (i) descrição e identificação visual do componente, (ii) comparação visual do componente com padrões de referência e (iii) medições diretas do componente: tamanho, abundância, área proporcional, cor, forma, textura da superfície, limites, variabilidade, orientação e padrões de distribuição. Utilizou-se a terminologia descrita em FITZPATRICK (1993).

## **2.9. Fracionamento Quantitativo das Substâncias Húmicas**

Foram utilizadas amostras dos horizontes dos perfis da topossequência para o fracionamento quantitativo das substâncias húmicas. O teor de cada fração húmica foi determinado em Triplicatas, em todas as amostras, segundo a técnica de fracionamento quantitativo de substâncias húmicas adaptado por BENITES et al. (2001). Em seguida, iniciou-se o fracionamento, evitando superestimar as quantidades da fração húmica. Assim, a partir da técnica de diferença de solubilidade em álcali e ácido, foram separadas as frações: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e húmica (H), método adaptado de Swift (1996) (MENDONÇA & MATOS, 2005). Para a extração das frações, foi utilizada uma solução de NaOH de 0,1 mol L<sup>-1</sup>, com a relação solo:extrator de 1:10, em um tempo de contato de 24 horas. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 3.000 g (FCR<sub>média</sub>) por 20 min, separando o resíduo do extrato alcalino (EA). O resíduo foi levado para estufa a 45°C e reservado para determinação do carbono. O EA teve o pH ajustado para 2,0 ± 0,1 com solução aquosa de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20% e, após 12h de repouso, foi centrifugado a 3.000 g (FCR<sub>média</sub>) por 5 min. O sobrenadante, com a fração AF, foi transferido para

frascos de vidro e aferido o volume para 45 ml com água destilada. Ao precipitado retido no tubo (AH), completou-se o volume para 45 ml de NaOH 0,1 mol.L<sup>-1</sup>. Para a determinação do carbono na forma de humina e dos extratos das frações AH e AF, utilizou-se a metodologia de YEOMANS & BREMNER (1988).

## 2.10. Estoques de Carbono no Solo

Os valores de carbono total nos solos e das Unidades Geoambientais na porção mineira do Parna Caparaó foram estimados adaptando-se a metodologia utilizada por BATJES (1996) para o cálculo do carbono total dos solos do mundo. Segundo este autor, o cálculo do estoque de carbono nos solos passa primeiramente pela determinação dos teores no perfil segundo a fórmula abaixo:

$$Ec_{prof.} = [(\sum (dsi \times COTi \times Hi)) \cdot 100]$$

onde:

$Ec_{prof.}$  = Estoque de carbono orgânico total (em Mg/ha<sup>-1</sup>), à uma profundidade (cm);

$dsi$  = densidade do solo na camada  $i$  (g cm<sup>-3</sup>);

$COTi$  = teor de COT (g C g<sup>-1</sup>) na camada  $i$ ;

$Hi$  = espessura da camada  $i$ ;

No presente trabalho, utilizou-se a seguinte escala de valores de densidade do solo, com base em determinações de laboratório:

1 - Horizonte O = 0,4 g cm<sup>3</sup>

2 - Horizontes Húmicos = 0,6 g cm<sup>3</sup>

3 - Horizontes Bi = 0,9 g cm<sup>3</sup>

4 - Horizontes C e Cr = 1,2 g cm<sup>3</sup>

5 - Horizonte Bw = 0,9 g cm<sup>3</sup>

Com base no estudo do gradiente pedológico e nas características pedo-geomorfológicas de cada Unidade Geoambiental, calculou-se o de estoque de C em cada Geoambiente. Mutiplicou-se o teor de carbono total de cada unidade de mapeamento (associação de solos) representativa da topossequência, chegando a um valor absoluto de estoque de carbono por Unidade Geoambiental e na área total dos Geoambientes.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Unidades Geoambientais

Um bloco-diagrama esquemático do Caparaó (Figura 5) evidencia a natureza tectônica alçada do Maciço Montanhoso, soerguido em relação ao Planalto Gnássico Dissecado.

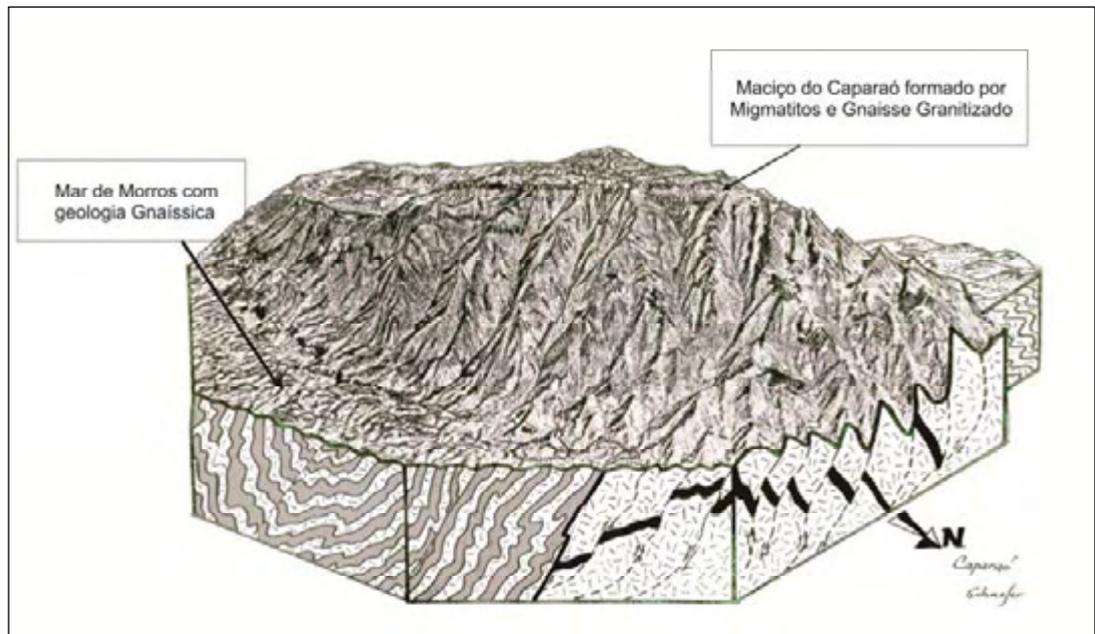


Figura 5. Bloco diagrama da vertente Capixaba do Caparaó, indicando a frente dissecada de blocos falhados e a proeminente escarpa erosiva, de origem tectônica.

A metodologia, utilizada para identificação das Unidades Geoambientais, permitiu separar nove ambientes na porção mineira do Parna Caparaó, conforme pode ser observado no mapa (Figura 6). Estas Unidades foram caracterizadas de acordo com suas características pedo-geomorfológicas (Tabela 1).

A seguir encontram-se as descrições das Unidades Geoambientais representadas no mapa.

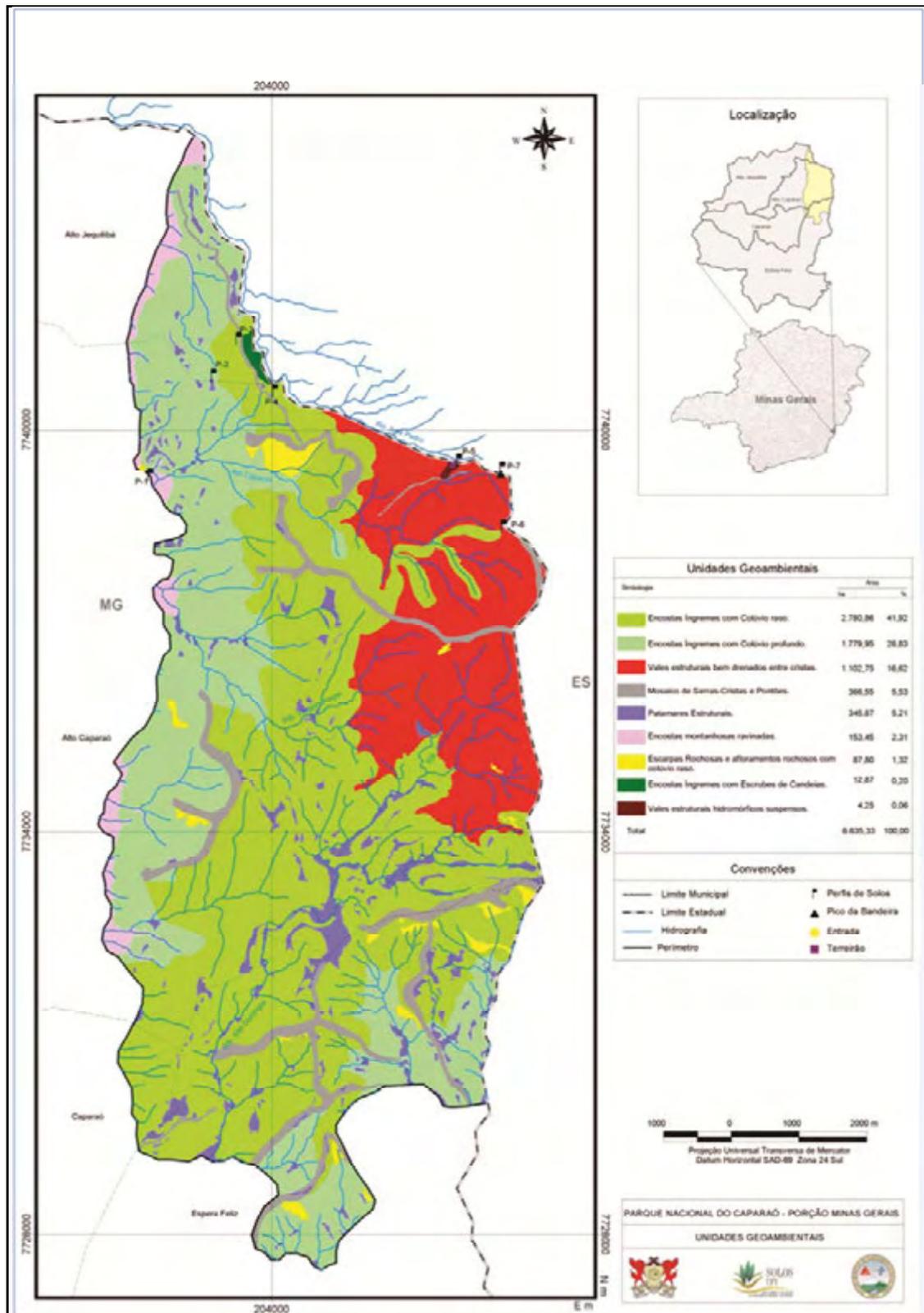


Figura 6. Mapa das Unidades Geoambientais da Porção Mineira Parna Caparaó.

Tabela 1. Unidades Geoambientais da porção mineira do Parque Nacional do Caparaó e seus atributos

| Unidade geoambiental                         | Área            |               | Formas-relevo                         | Pedoambiente                                       | Vegetação  | Indicação de uso  | Características e riscos ambientais   |
|--|-----------------|---------------|---------------------------------------|--|--|---|---|
|  | --- ha ---      | --- % ---     |                                       |  |  |   |   |
| Encostas íngremes com colúvio raso           | 2.780,86        | 41,92         | Dissecação forte-montanhoso-ravinado  | Neossolo litólico Húmico (raso)                    | Campo de Altitude                                  | Preservação permanente                                      | Incêndios nos campos adjacentes-ambiente reliquiar altamente sensível a impactos.   |
| Encostas íngremes com colúvios profundos     | 1.779,95        | 26,83         | Montanhoso<br>Ravinado                | Cambissolo Húmico                                  | Floresta Montana e Alto-Montana                    | Ecoturismo monitorado (beleza cênica) pesquisas científicas | Morfogênese acentuada e incêndios nos campos adjacentes.  |
| Vales estruturais bem drenados entre cristas | 1.102,75        | 16,62         | Colmatagem acúmulo-plano e ondulado   | Cambissolo Húmico                                  | Escrubes e campo de Altitude com arbustos esparsos | Ecoturismo - pesquisas científicas                          | Incêndios nos campos adjacentes-ambiente reliquiar altamente sensível a impactos. Nascentes de importantes mananciais.                                      |
| Mosaico de Serras, Cristas e Pontões         | 366,55          | 5,53          | Dissecação-ravinado escarpado         | Neossolo Litólico Húmico (com Afloramento rochoso) | Campo de Altitude                                  | Preservação permanente                                      | Alteração na quantidade e qualidade das águas e morfogênese acentuada. Nascentes de importantes mananciais.   |
| Patamares Estruturais                        | 345,87          | 5,21          | Acumulação-plano ondulado             | Cambissolo Húmico                                  | Escrubes e Campo de Altitude com arbustos esparsos | Preservação permanente- Pesquisas científicas               | Alteração na quantidade e qualidade das águas- Incêndios nos campos adjacentes.   |
| Encostas montanhosas ravinadas               | 153,45          | 2,31          | Montanhoso ravinado                   | Latossolo Amarelo distrófico húmico                | Floresta Montana                                   | Ecoturismo monitorado pesquisas científicas                 | Morfogênese acentuada. Incêndios antrópicos.  |
| Escarpas rochosas com colúvio raso           | 87,80           | 1,32          | Dissecação forte-montanhoso-escarpado | Neossolo Litólico Húmico (com Afloramento rochoso) | Campo de Altitude                                  | Preservação permanente                                      | Morfogênese acentuada. Incêndios nos campos adjacentes e mirantes naturais.   |
| Encostas íngremes com Escrubes de Candeias   | 12,87           | 0,2           | Dissecação acentuada-linha de crista  | Neossolo Regolítico Húmico típico                  | Escrubes de Candeias                               | Recuperação de fragmentos-ecoturismo-pesquisa científica    | Ambiente reliquiar altamente sensível a impactos. Incêndios nos campos adjacentes.  |
| Vales estruturais hidromórficos suspensos    | 4,25            | 0,06          | Colmatagem acúmulo-plano/suave        | Organossolo Hístico                                | Campo de Altitude                                  | Preservação permanente<br>Pesquisas científicas             | Possível redução nas áreas de sequestro de carbono alteração na qualidade e quantidade das águas-ambiente reliquiar altamente sensível. Turismo predatório. |
| <b>TOTAL</b>                                 | <b>6.635,33</b> | <b>100,00</b> |                                       |  |  |   |   |

### 3.2. Encostas Íngremes com Colúvio Raso

Esta unidade geoambiental possui a maior extensão, com 41,92% (2.780,86 ha), ocupada por um ambiente com tipos vegetacionais mais abertos. Apesar de mostrar uma paisagem relativamente homogênea e aparentemente sem grandes variações (Figura 7) formadas pelo Campo de Altitude. Um exame mais detalhado revela uma diversidade de microhabitats, mais úmidos ou mais secos, e diversas plantas especializadas. Geralmente estes ambientes são dominados pelas famílias Asteraceae, Orquidaceae, Cyperaceae e Myrtaceae. (BRADE, 1941; CAIAFA e ALESSANDRA, 2005; BENITES et al., 2007; MAZINE e SOUZA, 2007; RIBEIRO et al., 2007).



Figura 7. Paisagem homogênea dos Campos de Altitude, na porção mineira do Parna Caparaó, localizado no Geoambiente de encostas íngremes com colúvio raso.

Segundo OLIVEIRA et al. (2005), o isolamento da Unidade Geoambiental de Campo de Altitude, situado nas cotas mais elevadas e nas cimeiras do Parna

Caparaó-MG, está ligado a paleoclimas secos, que existiram entre 20 a 10 mil anos atrás.

Para MARTINELLI (2007) a diversidade e riqueza de espécies em Campos de Altitude, nos trópicos, são dependentes da história climática e geológica e seu impacto sobre a biota.

Entre 20 mil e 10 mil anos atrás, as condições climáticas do sul e sudeste do Brasil eram cerca de 5°C abaixo do atual, e bem mais secos. Desta forma, as formações florestais eram desfavorecidas e se retraíram em regiões onde houve uma manutenção da umidade nas encostas de montanhas e planaltos. Os topos, por sua vez, tornaram-se regiões expostas e abertas que foram colonizadas pela vegetação campestre, tolerante ao fogo e adaptada a estiagens e às geadas frequentes (OLIVEIRA et al., 2005).

VELOSO et al. (1991) utilizam o termo refúgio ecológico para toda e qualquer vegetação florísticamente diferente do contexto da flora regional dominante, constituindo vegetação relíquia que resiste nos ambientes altimontanos, sobre solos rasos, com forte estresse hídrico e oligotrofismo. Este cenário aparece a partir de 2.000 m de altitude em diferentes declividade e formas de relevo (áreas de colmatagem e morfogênese acentuada), tendo como cota máxima o Pico da Bandeira na divisa entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

A natureza coluvionar dos solos superficiais, encontrados nesta unidade geoambiental, é revelada pela frequente presença de linhas de seixos e cascalhos, ao longo dos perfis, denunciando períodos mais secos, e com erosão mais acentuada.

### **3.3. Encostas Íngremes com Colúvio Profundo**

Esta unidade representa 26,83% (1.779,95 ha) da área estudada, sendo a 2ª unidade em área. A vegetação é composta pela Floresta Alto-Montana ou Montana, com as primeiras caracterizadas como ambientes nebulares, ocupando uma faixa altitudinal entre 1.600 m a 2.000 m, aproximadamente. A Floresta Alto-Montana ocupa a porção oeste da parte mineira do Parna Caparaó. Ocorre em encostas íngremes com solos de maior profundidade em anfiteatros, potencializando o desenvolvimento de cobertura vegetal mais densa. Essas formas em anfiteatros são mesoambientes condicionados pela

estrutura geotectônica das rochas que formam o Maciço do Caparaó, (Figura 8) correspondendo aos modelados de dissecação diferencial com o aprofundamento da drenagem.



Figura 8. Floresta Alto-Montana em anfiteatros-ravinados, indicando avanço da Floresta seguindo a dissecação das bordas do Maciço na porção mineira do Parna Caparaó.

A presença de facetas triangulares de falhas, drenagem retangular com vales retinilizados demonstram o controle tectono-estrutural. São formas onde as águas de drenagem abriam incisões/sulcos profundos. O ambiente ombrófilo favorece o crescimento em porte da cobertura vegetal. Os pontos mais elevados dessa Unidade Geoambiental têm como atrativos a exploração dos mirantes naturais, potencializados pelo relevo montanhoso.

A Floresta Montana, comum na faixa altitudinal entre 1.000 a 1.500 m, ocupa o lado oeste do Caparaó-MG (Figura 9). Tal posição, na paisagem, facilita a acumulação de colúvios, visualizados através de horizontes soterrados (Figura 10), aumentando a profundidade do solum e contribuindo para uma maior retenção de água (Cambissolos Húmicos). Os solos são

distróficos em razão do profundo grau de intemperismo das rochas que formam a litologia do Caparaó (migmatitos e gnaisses migmatizados).



Figura 9. Floresta Montana, com uma faixa altitudinal entre 1000 a 1500 m, ocupando a borda oeste do Parna Caparaó-MG.



Figura 10. Horizonte A escurecido soterrado por colúvios nos períodos mais secos, feição comum nos solos do Parna Caparaó-MG.

### **3.4. Vales Estruturais Bem Drenados Entre Cristas**

Com 16,62% (1.102,75 ha), esta é a terceira Unidade Geoambiental em área. Ocorre em relevo plano a ondulado, com declividades que variam de 2 a 20%. Apresenta formas abaciadas que acumulam água, sedimentos e matéria orgânica, dificultando a drenagem e deixando o ambiente sazonalmente úmido (áreas de colmatagem). São localizados entre encostas mais declivosas, onde os processos morfogenéticos são mais atuantes. Nesta Unidade Geoambiental, encontram-se as nascentes de importantes rios da parte mineira do Parna Caparaó tais como: Vargem Alegre, Caparaó e São Domingos. A vegetação é formada pelos Campos de Altitude com arbustos esparsos. Predominam os Cambissolos Húmicos seguidos por Neossolos Litólicos Húmicos ou não.

### **3.5. Mosaico de Serras, Cristas e Pontões**

Esta Unidade Geoambiental ocorre em 5,53% (366,55 ha) da área estudada. Ocupa as cimeiras (divisores de águas) de importantes rios como o Caparaó, São Domingos e José Pedro que abastecem as vilas e cidades turísticas do entorno, entre outras. Predominam os Neossolos Litólicos Húmicos típicos bem como Afloramentos Rochosos. São áreas de morfogênese acentuada e forte dissecação em detrimento da pedogênese mais lenta. Não há praticamente manto pedogenizado (Figura 11). São áreas de difícil acesso (declividade muito elevada), servindo para preservação permanente (paisagem reliquiar) vocacionadas para a pesquisa científica, e com mananciais hídricos importantes para a região.

### **3.6. Patamares Estruturais**

Ocupam 5,21% (345,87 ha) da área estudada com declividades entre 3 a 20%. São formas aplainadas, estruturalmente controladas (tipo platôs) que interligam as grandes elevações, normalmente ocorrendo entre 1.780 a 1.960 m de altitude, com relevo variando de suave ondulado a ondulado. Neste ambiente, predominam Cambissolos Húmicos Distróficos, sob vegetação de Escrubes e Campo de Altitude com arbustos esparsos. São ambientes reliquiaros (refúgio ecológico) de extrema importância para a recarga das bacias

hidrográficas regionais, e muito suscetíveis ao fogo. São áreas de visitação turística com o acesso restrito, devido ao risco de acidentes nas trilhas de difícil conservação e com pouca visibilidade. Estes ambientes altimontanos, nas regiões intertropicais, constituem áreas de elevadas precipitações, favorecendo a ocorrência de nuvens e constantes nevoeiros, dificultando, assim, o acesso.



Figura 11. Cristas/cimeiras e Pontões, no Parna Caparaó, no estado de Minas Gerais.

### 3.7. Encostas Montanhosas Ravinadas

Esta Unidade Geoambiental representa 2,31% da área (153,45 ha) estudada com predomínio de relevo montanhoso, definido pelas características pedogeomorfológicas do Parna Caparaó. A classe de solo que predomina nesta Unidade Geoambiental é o Latossolo Amarelo Distrófico húmico, tendo suas características atreladas a sua posição na paisagem, cobertura vegetal e geologia. Esta Unidade Geoambiental representa o início da topossequência com Floresta Montana. Este ambiente, por suas características pedológicas (textura com granulometria mais fina e estrutura “pó-de-café” nos horizontes superficiais), apresenta boa retenção de água em relação aos demais solos. A

presença de Latossolos em áreas mais preservadas serve de indicativo a existência de uma antiga superfície contínua. A latolização em condições climáticas pretéritas, diferentes da atual, possivelmente mais quentes. Os resultados das análises químicas dessa Unidade Geoambiental revelam um oligotrofismo, associado ao profundo grau de intemperismo da rocha (migmatitos). A importância da profundidade do solum pode ser visualizada com o aumento do porte da vegetação (Figura 12).



Figura 12. Floresta Montana na cota de 1.256 m altitude, no Parna Caparaó-MG.

### **3.8. Escarpas Rochosas com Colúvio Raso**

Esta unidade está entre as três menores, ocupando uma área de 1,32% (87,80 ha). Apresentam características similares à Unidade do Mosaico de Serras, Cristas e Pontões, com relação à vegetação Campos de Altitude e solos rasos, onde predominam os Neossolos Litólicos Húmicos ou Afloramentos Rochosos. Difere quanto à declividade, acima de 75%, com relevo escarpado, em alguns casos chegando a 90%, resultantes da estrutura e geotectônica (Figura 13).

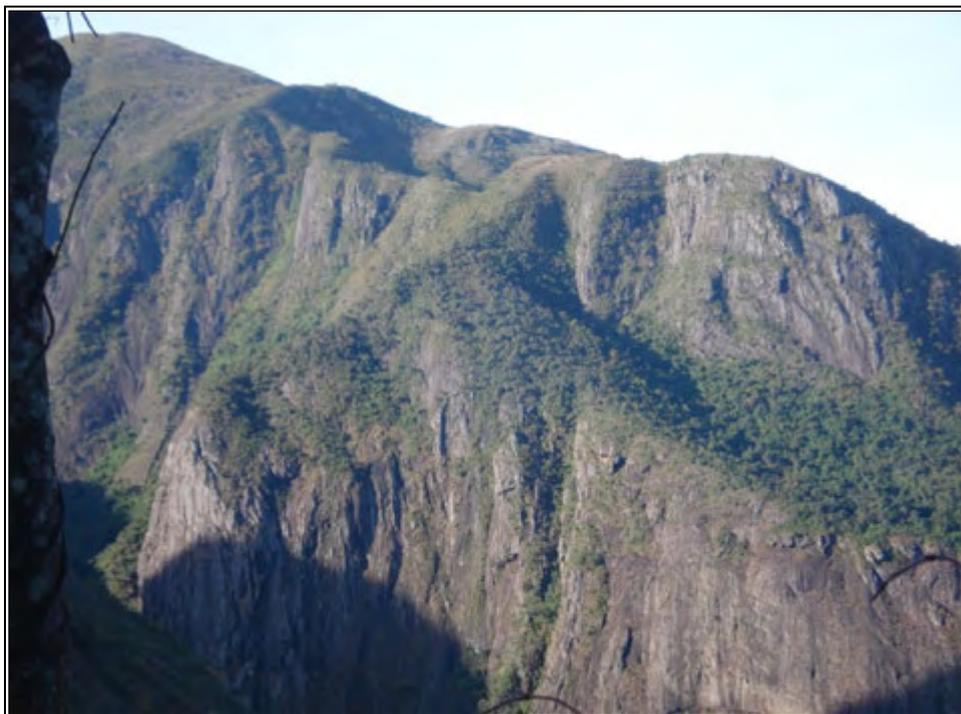


Figura 13. Escarpas rochosas e afloramentos rochosos no Parna Caparaó-MG.

São áreas de processos morfogenéticos bastante intensos, superiores aos processos pedogenéticos, favorecendo a pedogênese de solos rasos e baixa retenção de água.

### **3.9. Encostas íngremes com Escrubes de Candeias**

Esta Unidade Geoambiental ocupa a segunda menor área com 0,20% (12,87 ha). A vegetação é representada por Campo de Altitude com Escrubes de Candeias (*Vanillos mopsis ery tropappa*) sobre Neossolos Regolíticos Húmicos típicos e Neossolos Litólicos Húmicos distróficos com declividades acentuadas (relevo montanhoso). Esta Unidade Geoambiental fica na transição entre a Floresta Montana e o Campo de Altitude, entre 1.770 a 1.990 m. Ocupa a linha de crista, na divisa entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. BENITES et al. (2002) consideraram as Matas de Candeias como Formação com dominância do arbóreo do Complexo rupestre de altitude. Devido às características peculiares em relação à vegetação, difere este ambiente dos demais no contexto do Parna Caparaó-MG. Nesta Unidade Geoambiental pode-se observar o aspecto nebuloso, por isso, são conhecidas como Escrubes nebulares (VELOSO et al., 1991). As análises químicas demonstram um intenso

intemperismo e lixiviação. A maior ameaça sobre este Geoambiente são os incêndios provenientes das áreas adjacentes.

### 3.10. Vales estruturais Hidromórficos Suspensos

Esta Unidade Geoambiental ocupa a menor área com 0,06% (4,25 ha). Sua importância está atrelada à ocorrência dos Organossolos, importante para a imobilização de carbono (DIAS et al., 2002; SCHAEFER e SIMAS, 2007). Segundo OLIVEIRA et al. (2005), as turfeiras destes ambientes altimontanos têm cerca de 9.000 anos. Estudos mostram que, de 9.700 a 8.200 anos, o clima nas cimeiras/prolongamentos da Mantiqueira (Caparaó) era mais úmido e frio. Entre 8.200 a 5.400 anos, o clima tornou-se mais quente e no Holoceno Médio tornou-se mais seco que o atual. Ou seja, ciclos climáticos que atingiram a área em estudo deixaram registros paleoambientais (solos e vegetação). Esta Unidade Geoambiental, com ambientes hidromórficos, inundados, com pouca ou nenhuma aeração ao longo do solo, dificultando a mineralização microbiana dos restos orgânicos, que se acumulam como fibras ou substâncias humificadas. Ocupa uma morfologia plana, representando área de sedimentação e colmatagem (Figura 14).



Figura 14. Vales suspensos entre cristas (terreirão), onde o hidromorfismo propicia a formação de turfeiras com Organossolo Háptico Sáprico típico, na porção mineira do PARNA CAPARAÓ, MG.

Esta Unidade vem sendo utilizada como área de camping, sendo recomendável reavaliar esta destinação atual, escolhendo local mais adequado, já que é uma das maiores áreas de ocorrência dos Organossolos e de mananciais hídricos. As áreas de turfeiras com Organossolo Háptico Sáprico típico no Parna Caparó são responsáveis pela imobilização de aproximadamente 1120, 50 mg de carbono por hectare. Com a ocupação, processos erosivos se instalaram e podem resultar no desaparecimento deste ambiente altimontano singular.

### 3.11. Posição dos Perfis de Solos na Paisagem do Parna Caparó

A Figura 15 ilustra a litologia, a cobertura vegetal e a morfologia ao longo da topossequência de solos.

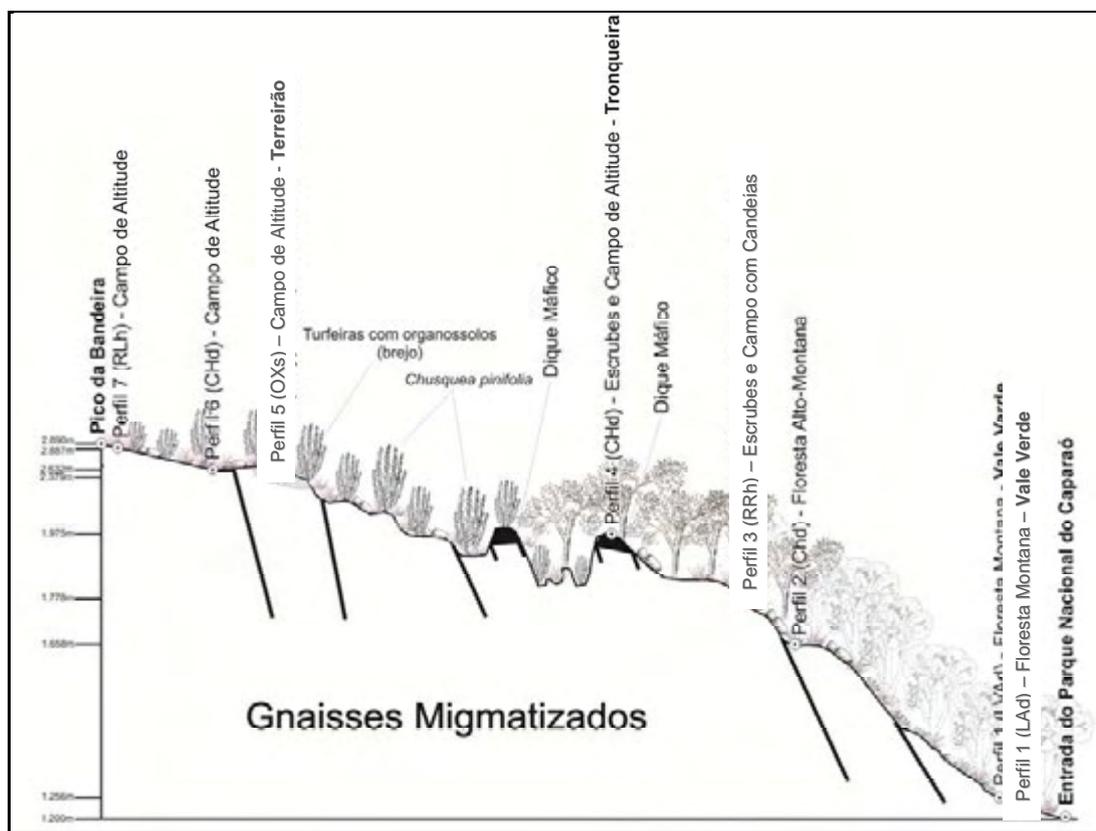


Figura 15. Corte pedogeomorfológico e vegetacional da topossequência da porção mineira do Parna Caparó (RODRIGUES, 2009).

De modo geral, a pedogênese na área de estudo é influenciada pela vegetação, topografia (posição na paisagem) e pelas feições lito-estruturais. Tais influências podem ser observadas com a formação de solos rasos

(Neossolos Litólicos Húmicos) até solos profundos como, o Latossolo Amarelo Distrófico húmico (Caparaó), juntamente com a formação de turfeiras de altitude com Organossolos em vales estruturais suspensos.

### **3.12. Solos da Topossequência do Parna Caparaó: Aspectos Gerais**

Em nível de ordem, foi possível identificar, na área do Parna Caparaó, quatro classes de solos (Tabela 2).

Ocorrem desde Neossolos Litólicos até solos altamente intemperizados e profundos como os Latossolos (Figura 16).

Ao longo da topossequência (Figura 17), foram encontrados fragmentos de migmatitos nos saprolitos e horizontes subsuperficiais dos Neossolos Litólicos e Cambissolos, com variada granulometria e formas, sinalizando a influência de um intemperismo rápido nas zonas fraturadas, ou presença de bandas de minerais mais alteráveis, deixando para trás núcleos mais massivos e resistentes. Tais fragmentos ocorrem ao longo dos horizontes A, B e C indistintamente. No Latossolo (perfil 1), onde não ocorrem, observa-se uma mudança clara, de cores mais escuras (material orgânico) para amarelas, abaixo de 60 cm, com variações no matiz. O Organossolo e o Cambissolo Húmico apresentam cores escuras, sugerindo processo de acumulação da matéria orgânica da parte superior do solum pelas temperaturas mais baixas ou ambiente redutor. Elevados teores de matéria orgânica foram observados no horizonte hístico (Organossolo) e decrescendo nos horizontes A húmicos dos Cambissolos. Além da redução da atividade microbiana pelas baixas temperaturas, o oligotrofismo e altos teores de alumínio trocável podem auxiliar na estabilização da matéria orgânica dos solos (M.O.S.) em solos altimontanos (SIMAS et al., 2005).

Os solos da topossequência apresentam acidez média nos horizontes A, com pH em H<sub>2</sub>O, variando entre 5,03 a 5,38 e 5,19 a 5,60 nos horizontes B, exceto no horizonte hístico do Organossolo que apresenta elevada acidez, com valor de 4,76. O aumento de pH em profundidade nos solos minerais é consequência da natureza gibbsítica/oxídica da fração argila, que possui assim PCZ elevado.

Tabela 2. Localização e características ecogeográficas dos perfis coletados no Parque Nacional do Caparaó – MG

| Perfil | Classificação                       | Características  | Vegetação                     | Altitude      | Coordenadas |             | Declividade   | Relevo |
|--------|-------------------------------------|--|-------------------------------|---------------|-------------|-------------|---------------|--------|
|        |                                     |  |                               | ----- m ----- | Lat.        | Long.       | ----- % ----- |        |
| P1     | Latossolo Amarelo Distrófico húmico | Solo maduro, muito intemperizado, profundo, fragmentos pequenos de saprolito menor que 1cm no Hz AB                    | Floresta Montana              | 1.256         | 20° 25' 17" | 41° 51' 15" | 20 a 45       | FO     |
| P2     | Cambissolo Húmico Distrófico típico | Presença de fragmentos saprolitizados-pequenos (diâmetro de 1cm). Mais desenvolvido que P4.Translocação de MO.         | Floresta Alto -Montana        | 1.658         | 20°41' 50"  | 42° 24' 29" | 45 a 75       | Mt     |
| P3     | Neossolo Regolítico Húmico típico   | Pontuações de bauxita no Hz AB - rocha branda (saprolito) no Hz Cr   | Escrubes e Campo com Candeias | 1.778         | 20° 24' 11" | 41° 50' 29" | 45 a 75       | Mt     |
| P4     | Cambissolo Húmico Distrófico típico | Apresenta característica impermeável-hidrofóbico-presença de nódulos-migmatitos saprolitizados (granulometria variada) | Escrubes e Campo de Altitude  | 1.975         | 20° 24' 37" | 41° 50' 11" | 45 a 75       | Mt     |
| P5     | Organossolo Háptico Sápico típico   | Perfil mal drenado-Hidromórfico-Hz Hístico-morfologia abaciada-densidade leve-fase Hêmica de decomposição              | Campo de Altitude             | 2.379         | 20° 25' 12" | 41° 48' 38" | 3 a 8         | SO     |
| P6     | Cambissolo Húmico Distrófico típico | Apresenta fragmento saprolitizados migmatíticos com menos de 1cm no horizonte 2 <sub>A</sub> - não hidromórfico        | Campo de Altitude             | 2.632         | 20° 25' 43" | 41° 48' 5"  | 8 a 20        | Od     |
| P7     | Neossolo Litólico Húmico típico     | Solo distrófico-delgado-apresenta oligotrofismo  | Campo de Altitude             | 2.887         | 20° 25' 16" | 41° 48' 16" | 3 a 8         | SO     |

FO – Forte ondulado; Mt – Montanhoso; SO – Suave ondulado; Od – Ondulado.

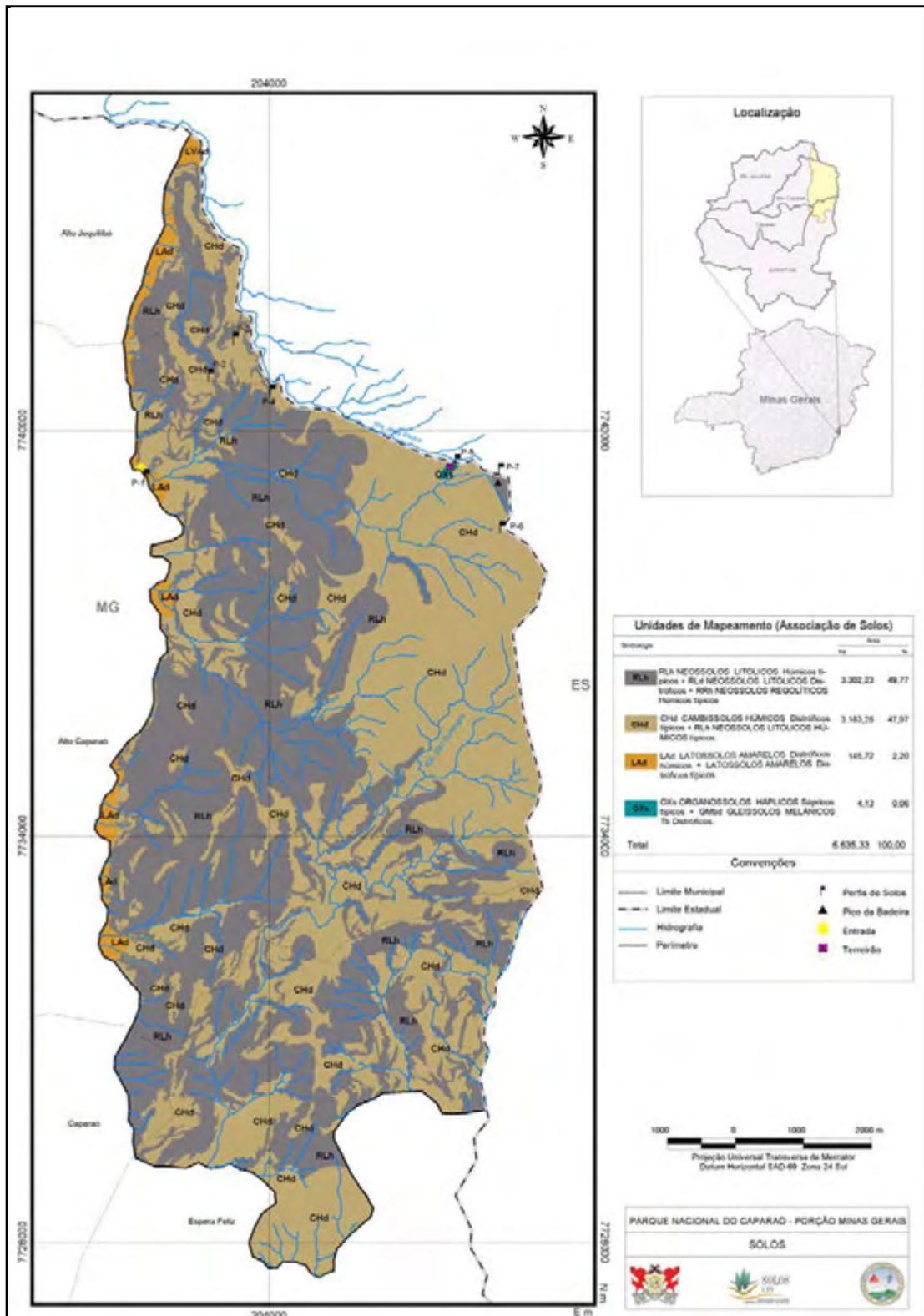


Figura 16. Mapa esquemático dos solos (associações) do Parque Nacional do Caparaó, no Estado de Minas Gerais.



Figura 17. Perfis de solos representativos do Parque Nacional do Caparaó-MG.

Todos os solos do Parna Caparaó apresentam níveis baixos de P, Ca e Mg, sendo que, em subsuperfície, onde o pré-intemperismo foi muito avançado, os teores são quase nulos ou negligenciáveis. Tal fato confirma a natureza essencialmente oxídica/gibbsítica dos solos do Caparaó a exemplo do que foi descrito nos solos da Serra do Brigadeiro por SCHAEFER e SIMAS (2007), e nas partes altas da serra da Mantiqueira por SIMAS et al. (2005).

Os valores de saturação por bases apresentam níveis muito baixos, revelando que a ciclagem da cobertura vegetal é responsável pela pequena concentração de nutrientes em meio grande aporte de matéria orgânica no horizonte A. Este oligotrofismo é o maior destaque em todos os solos encontrados na topossequênciado Caparaó (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Características morfológicas e físicas dos solos representativos do Parque Nacional do Caparaó-MG

| Símbolo  | Horizonte           |          | Cor        |        | Atividade da argila<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | Granulometria (%) |        |      |      | Silte / Argila        | Classe Textural |
|--|---------------------|----------|------------|--------|---|-------------------|--------|------|------|-----------------------|-----------------|
|  | Prof.<br>--- cm --- | Seca     | Úmida      | Areia  |   | Silte             | Argila |      |      |                       |                 |
|  |                     |          |            | Grossa |   |                   |        | Fina |      |                       |                 |
| <b>P1 - Latossolo Amarelo Distrófico húmico - Floresta Montana - Relevo Montanhoso - 1.256 m</b>                 |                     |          |            |        |   |                   |        |      |      |                       |                 |
| A1   | 0-10                | 7,5YR3/2 | 7,5YR2,5/1 | 69,9   | 18  | 8                 | 34     | 40   | 0,85 | Argila                |                 |
| A2   | 10-22               | 7,5YR3/3 | 7,5YR3/1   | 48,6   | 11  | 9                 | 35     | 45   | 0,77 | Argila                |                 |
| AB   | 22-38               | 7,5YR3/4 | 7,5YR3/1   | 42,6   | 11  | 11                | 34     | 44   | 0,77 | Franco-Argilosa       |                 |
| Bw1  | 38-52               | 7,5YR4/6 | 7,5YR3/2   | 37     | 11  | 11                | 33     | 45   | 0,73 | Franco-Argilosa       |                 |
| Bw2  | 52-75               | 7,5YR4/6 | 7,5YR3/2   | 36,7   | 12  | 12                | 30     | 46   | 0,65 | Franco-Argilosa       |                 |
| Bw3  | 75-103+             | 7,5YR4/6 | 7,5YR3/3   | 33,5   | 12  | 15                | 27     | 46   | 0,58 | Franco-Argilosa       |                 |
| <b>P2 - Cambissolo Húmico Distrófico típico - Floresta Alto-Montana - Relevo Montanhoso - 1.658 m</b>            |                     |          |            |        |   |                   |        |      |      |                       |                 |
| A1   | 0-68                | 5YR3/1   | 10YR2/1    | 53,4   | 24  | 11                | 36     | 29   | 1,24 | Franco-argilosa       |                 |
| AB   | 68-82               | 10YR4/3  | 10YR2/2    | 28,3   | 25  | 11                | 30     | 34   | 0,88 | Franco-argilosa       |                 |
| Bi   | 82-113              | 10YR5/6  | 10YR4/6    | 15,3   | 24  | 14                | 22     | 40   | 0,55 | Argila                |                 |
| BiC  | 113-163+            | 10YR6/6  | 7,5YR4/6   | 11,6   | 23  | 12                | 22     | 43   | 0,51 | Argila                |                 |
| <b>P3 - Neossolo Regolítico Húmico típico - Escrubes e Campo com Candeias - Relevo Linha de Crista - 1.778 m</b> |                     |          |            |        |   |                   |        |      |      |                       |                 |
| A1   | 0-18                | 10YR3/1  | 10YR2/1    | 5,5    | 0   | 24                | 33     | 43   | 0,76 | Argila                |                 |
| AB   | 18-35               | 10YR3/3  | 10YR4/4    | 3,4    | 0   | 22                | 41     | 37   | 1,11 | Franco-argilo         |                 |
| CR   | 35-110              | 7,5YR7/6 | 10YR4/6    | 0,4    | 0   | 29                | 38     | 34   | 1,11 | Franco-argilo         |                 |
| <b>P4 - Cambissolo Húmico Distrófico típico - Escrubes e Campo de Altitude - Relevo Montanhoso - 1.975 m</b>     |                     |          |            |        |   |                   |        |      |      |                       |                 |
| A1   | 0-16                | 10YR3/2  | 10YR2/1    | 53,3   | 40  | 11                | 21     | 28   | 0,75 | Franco-argilo-arenosa |                 |
| A2   | 16-40               | 10YR3/2  | 10YR2/1    | 67,5   | 30  | 16                | 25     | 29   | 0,86 | Franco-argilo-arenosa |                 |
| AB   | 40-65               | 7,5YR3/4 | 7,5YR3/2   | 74,9   | 38  | 13                | 24     | 25   | 0,96 | Franco-argilo-arenosa |                 |
| Bi   | 65-75               | 7,5YR6/8 | 7,5YR4/4   | 18,8   | 36  | 9                 | 22     | 33   | 0,66 | Franco-argilosa       |                 |
| C  | 75-120              | 7,5YR7/8 | 7,5YR5/6   | 11,2   | 21  | 5                 | 29     | 45   | 0,64 | Argila                |                 |
| <b>P5 - Organossolo Háptico Sápico típico - Campo de Altitude - Relevo Abaciado - 2.379 m</b>                    |                     |          |            |        |   |                   |        |      |      |                       |                 |
| H  | 0-9                 | 10YR2/1  | 10YR2/1    | 103,6  | 10  | 23                | 46     | 21   | 2,19 | Orgânica              |                 |
| A  | 9-113+              | 10YR2/1  | 7,5YR2/N   | 103,9  | 20  | 12                | 43     | 25   | 1,72 | Orgânica              |                 |
| <b>P6 - Cambissolo Húmico Distrófico típico - Campo de Altitude - Relevo Suave Ondulado Abaciado - 2632 m</b>    |                     |          |            |        |   |                   |        |      |      |                       |                 |
| O  | 0-7                 | 10YR2/1  | 10YR2/2    | 82,4   | 11  | 26                | 34     | 29   | 1,17 | Franco-argilosa       |                 |
| A  | 7-24                | 10YR3/2  | 7,5YR2/N   | 58     | 26  | 42                | 16     | 16   | 1    | Franco-arenosa        |                 |
| 2A   | 24-33               | 10YR3/2  | 10YR2/1    | 56     | 24  | 36                | 18     | 22   | 0,82 | Franco-argilo-arenosa |                 |
| BiC  | 33-75               | 10YR3/3  | 10YR3/2    | 25,4   | 21  | 29                | 20     | 30   | 0,66 | Franco-argilo-arenosa |                 |
| C  | 75-120+             | 10YR6/6  | 10YR5/6    | 12,6   | 13  | 24                | 30     | 33   | 0,9  | Franco-argilosa       |                 |
| <b>P7 - Neossolo Litólico Húmico típico - Campo de Altitude - Relevo Suave Ondulado - 2.887 m</b>                |                     |          |            |        |   |                   |        |      |      |                       |                 |
| A1   | 0-21                | 10YR2/1  | 10YR2/1    | 103,5  | 39  | 22                | 21     | 18   | 1,16 | Franco-arenosa        |                 |
| A2   | 21-27               | 10YR3/2  | 10YR2/1    | 74,3   | 30  | 26                | 24     | 20   | 1,2  | Franco-arenosa        |                 |

Tabela 4. Características químicas dos solos do Parque Nacional do Caparaó-MG

| Símbolo   | Horizonte                          |                  | pH   |                  | ΔpH   | Composição Sortivo |                |                 |       |                  |                    |       |       |                      |      | P (1) | P-rem | V     | m     | ISNa(2) | COT(3) |
|---|------------------------------------|------------------|------|------------------|-------|--------------------|----------------|-----------------|-------|------------------|--------------------|-------|-------|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|
|   | Prof.                              | H <sub>2</sub> O | KCl  | Ca <sup>2+</sup> |       | Mg <sup>2+</sup>   | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | SB    | Al <sup>3+</sup> | H + Al             | CTC   |       |                      |      |       |       |       |       |         |        |
|   |                                    |                  |      |                  |       |                    |                |                 |       |                  |                    | Total | Efet. |                      |      |       |       |       |       |         |        |
| -- cm --  | cmol <sub>d</sub> dm <sup>-3</sup> |                  |      |                  |       |                    |                |                 |       |                  | mg L <sup>-1</sup> | %     |       | dag kg <sup>-1</sup> |      |       |       |       |       |         |        |
| P1 - Latossolo Amarelo Distrófico húmico - Floresta Montana - Relevo Montanhoso - 1.256 m                 |                                    |                  |      |                  |       |                    |                |                 |       |                  |                    |       |       |                      |      |       |       |       |       |         |        |
| A1  | 0-10                               | 5,95             | 5,28 | -0,62            | 11,25 | 3,94               | 0,37           | 0,03            | 15,68 | 0                | 12,3               | 27,98 | 15,08 | 5,4                  | 10,9 | 56    | 0     | 0,22  | 13,73 |         |        |
| A2  | 10-22                              | 5,95             | 5,22 | -0,73            | 7,71  | 2,15               | 0,16           | 0,03            | 10,08 | 0                | 11,8               | 21,88 | 10,08 | 2,5                  | 4,2  | 46,1  | 0     | 0,26  | 9,27  |         |        |
| AB  | 22-38                              | 6                | 5,27 | -0,73            | 6,29  | 1,37               | 0,08           | 0,03            | 7,78  | 0                | 11                 | 18,78 | 7,78  | 2,3                  | 2    | 41,4  | 0     | 0,4   | 7,6   |         |        |
| Bw1   | 38-52                              | 5,75             | 5,11 | -0,64            | 3,89  | 0,86               | 0,07           | 0,04            | 4,87  | 0                | 11,8               | 16,67 | 4,87  | 2,2                  | 0,7  | 29,2  | 0     | 0,9   | 6,83  |         |        |
| Bw2   | 52-75                              | 5,65             | 5,04 | -0,61            | 2,82  | 0,56               | 0,05           | 0,05            | 3,49  | 0                | 13,14              | 16,89 | 3,89  | 2,7                  | 0    | 20,7  | 0     | 1,38  | 6,68  |         |        |
| Bw3   | 75-103+                            | 5,65             | 4,98 | -0,67            | 1,68  | 0,26               | 0,03           | 0,03            | 2,02  | 0                | 13,14              | 15,42 | 2,02  | 3,1                  | 0    | 13,1  | 4,7   | 1,87  | 6     |         |        |
| P2 - Cambissolo Húmico Distrófico típico - Floresta Alto-Montana - Relevo Montanhoso - 1.658 m            |                                    |                  |      |                  |       |                    |                |                 |       |                  |                    |       |       |                      |      |       |       |       |       |         |        |
| A1  | 0-68                               | 5,17             | 4,57 | -0,6             | 0,03  | 0,04               | 0,04           | 0,05            | 0,16  | 0,58             | 15,3               | 15,48 | 0,76  | 1,4                  | 3    | 1,2   | 76,3  | 8,07  | 7,64  |         |        |
| AB  | 68-82                              | 5,17             | 4,8  | -0,37            | 0     | 0                  | 0,02           | 0,07            | 0,09  | 0,1              | 9,5                | 9,62  | 0,22  | 1                    | 4,5  | 1,2   | 45,5  | 39,72 | 4,77  |         |        |
| Bi  | 82-113                             | 5,19             | 4,95 | -0,24            | 0,01  | 0                  | 0,02           | 0,07            | 0,1   | 0                | 6                  | 6,12  | 0,12  | 0,4                  | 0    | 2     | 0     | 69,2  | 2,3   |         |        |
| BiC   | 113-163+                           | 5,15             | 4,99 | -0,16            | 0,02  | 0                  | 0,01           | 0,06            | 0,09  | 0                | 4,9                | 5,01  | 0,11  | 0,7                  | 0    | 2,2   | 0     | 67,59 | 1,37  |         |        |
| P3 - Neossolo Regolítico Húmico típico - Escrubes e Campo com Candeias - Relevo Linha de Crista - 1.778 m |                                    |                  |      |                  |       |                    |                |                 |       |                  |                    |       |       |                      |      |       |       |       |       |         |        |
| A1  | 0-18                               | 5,18             | NA   | NA               | 0,6   | 0,38               | 0,06           | 0,08            | 1,12  | 1,23             | 18,6               | 2,37  | 19,74 |                      | 3,6  | 5,8   | 51,9  | 2,57  | 5,89  |         |        |
| AB  | 18-35                              | 5,14             | NA   | NA               | 0,16  | 0,16               | 0,02           | 0,05            | 0,39  | 0,82             | 12                 | 1,27  | 12,45 |                      | 4    | 3,6   | 64,6  | 4,45  | 4,32  |         |        |
| Cr  | 35-110                             | 5,06             | NA   | NA               | 0,01  | 0,11               | 0,01           | 0,03            | 0,16  | 0                | 3,6                | 0,14  | 3,74  |                      | 9,1  | 3,7   | 0     | 3,11  | 1,34  |         |        |
| P4 - Cambissolo Húmico Distrófico típico - Escrubes e Campo de Altitude - Relevo Montanhoso - 1.975 m     |                                    |                  |      |                  |       |                    |                |                 |       |                  |                    |       |       |                      |      |       |       |       |       |         |        |
| A1  | 0-16                               | 5,38             | 4,45 | -0,93            | 0,02  | 0,04               | 0,06           | 0,11            | 0,23  | 0,77             | 14,6               | 14,93 | 1,1   | 2,6                  | 2,1  | 2,2   | 70    | 17,87 | 6,11  |         |        |
| A2  | 16-40                              | 5,27             | 4,28 | -0,99            | 0,14  | 0,08               | 0,17           | 0,19            | 0,58  | 1,25             | 18,9               | 19,56 | 1,91  | 3,9                  | 2,9  | 3,4   | 65,4  | 11,88 | 9,93  |         |        |
| AB  | 40-65                              | 5,31             | 4,29 | -1,19            | 0,02  | 0,06               | 0,09           | 0,13            | 0,3   | 1,25             | 18,4               | 18,74 | 1,59  | 3,1                  | 2,1  | 1,8   | 78,6  | 9,6   | 8,78  |         |        |
| Bi  | 65-75                              | 5,6              | 5,13 | -0,47            | 0     | 0                  | 0,02           | 0,14            | 0,16  | 0                | 6                  | 6,2   | 0,2   | 0,9                  | 4,4  | 3,2   | 0     | 83,04 | 3,13  |         |        |
| C1  | 75-120                             | 5,52             | 5,23 | -0,29            | 0,03  | 0                  | 0,01           | 0,08            | 0,08  | 0                | 4,9                | 5,05  | 0,15  | 0,5                  | 0,3  | 3     | 0     | 66,96 | 1,75  |         |        |
| P5 - Organossolo Háptico Sápico típico - Campo de Altitude - Relevo Abaciado - 2.379 m                    |                                    |                  |      |                  |       |                    |                |                 |       |                  |                    |       |       |                      |      |       |       |       |       |         |        |
| H   | 0-9                                | 4,76             | 3,93 | -0,83            | 0,41  | 0,27               | 0,4            | 0,2             | 1,28  | 2,8              | 24,5               | 25,9  | 4,2   | 5,7                  | 4,3  | 5,4   | 66,7  | 5,82  | 20,62 |         |        |
| A   | 9-113+                             | 5,22             | 4,56 | -0,66            | 0,13  | 0,01               | 0,02           | 0,04            | 0,17  | 0,67             | 21,6               | 21,82 | 0,89  | 1,6                  | 1,5  | 1     | 75,3  | 5,91  | 15,28 |         |        |
| P6 - Cambissolo Húmico Distrófico típico - Campo de Altitude - Relevo Suave Ondulado Abaciado - 2632 m    |                                    |                  |      |                  |       |                    |                |                 |       |                  |                    |       |       |                      |      |       |       |       |       |         |        |
| O   | 0-7                                | 4,85             | -    | -                | 0,06  | 0,05               | 0,11           | 0,12            | 0,34  | 2,41             | 23,5               | 23,89 | 2,8   | 6,4                  | 3,4  | 1,6   | 86,1  | 5,3   | 14,13 |         |        |
| A   | 7-24                               | 5,27             | 4,75 | -0,52            | 0     | 0                  | 0,01           | 0,06            | 0,07  | 0,1              | 9,2                | 9,28  | 0,18  | 5,4                  | 4,4  | 0,9   | 55,6  | 41,3  | 4,59  |         |        |
| 2A  | 24-33                              | 5,13             | 4,55 | -0,58            | 0     | 0                  | 0,03           | 0,06            | 0,09  | 0,48             | 12,2               | 12,31 | 0,59  | 3,9                  | 2,9  | 0,9   | 81,4  | 12,6  | 6,11  |         |        |
| BiC   | 33-75                              | 5,25             | 4,89 | -0,36            | 0     | 0                  | 0,01           | 0,08            | 0,09  | 0                | 7,5                | 7,61  | 0,11  | 1,9                  | 5,1  | 1,4   | 0     | 87,35 | 3,06  |         |        |
| C   | 75-120+                            | 5,25             | 5,19 | -0,36            | 0     | 0                  | 0,01           | 0,05            | 0,06  | 0                | 4,1                | 4,17  | 0,07  | 1,4                  | 7,7  | 1,7   | 0     | 87,58 | 1,69  |         |        |
| P7 - Neossolo Litólico Húmico típico - Campo de Altitude - Relevo Suave Ondulado - 2.887 m                |                                    |                  |      |                  |       |                    |                |                 |       |                  |                    |       |       |                      |      |       |       |       |       |         |        |
| A1  | 0-21                               | 5,03             | 4,16 | -0,87            | 0,31  | 0,07               | 0,12           | 0,09            | 0,59  | 1,45             | 18                 | 18,63 | 2,08  | 4,4                  | 6,1  | 3,4   | 69,7  | 5,46  | 7,64  |         |        |

<sup>(1)</sup>P disponível em mg dm<sup>-3</sup>; <sup>(2)</sup>Índice de Saturação por Sódio; COT - Carbono Orgânico Total; NA – não amostrado.

Fator muito importante que deve ser levado em consideração, onde o oligotrofismo dos solos é substituído pela melhora das condições físicas, como maior profundidade e aporte de matéria orgânica, favorável à retenção de umidade e ciclagem do pouco nutriente disponível, a partir do intemperismo da rocha.

Nas candeias e no Campo de Altitude a maior exposição do ambiente (radiação solar) e menor tempo de permanência de umidade resultam em menor acúmulo de nutrientes e uma redução de biomassa, principalmente na parte inferior do solum.

Outro fato importante é o papel desempenhado pela matéria orgânica, refere-se aos mecanismos de ciclagem na continuidade dos ecossistemas altimontanos que guardam paleopaisagens e relíctios de climas pretéritos (Figura 18).

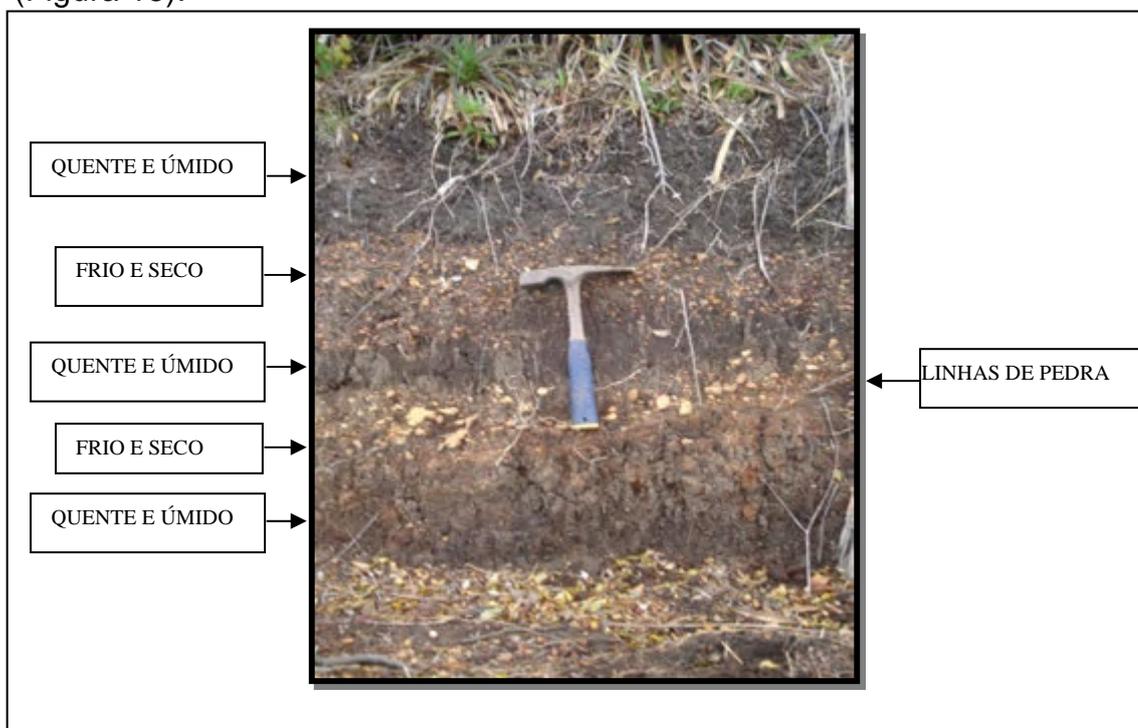


Figura 18. Perfil de solo (Neossolo Litólico) indicando alternâncias climáticas (paleoambientes) a 2158 m de altitude.

### 3.13. Atributos Físicos e Químicos

#### 3.13.1. Latossolo Amarelo Distrófico húmico (P1)

O perfil 1 foi aberto em altitude de 1.256 m, sob Floresta Montana em relevo montanhoso, sendo classificado como Latossolo Amarelo Distrófico

húmico, com classe textural argila a franco-argilosa. Possui teores de argila variando de 40 a 46 dag kg<sup>-1</sup>, bem como de 27 a 35 dag kg<sup>-1</sup> de silte e 11 a 12 dag kg<sup>-1</sup> de areia grossa a partir do horizonte A2, e de 18 dag kg<sup>-1</sup> no horizonte A1. Os teores de areia fina ficam entre 8 a 15 dag kg<sup>-1</sup> ao longo do perfil.

Como pode ser observado ao longo do perfil, a textura mais fina (granulometria) predomina, sinalizando para um perfil mais homogêneo e maduro, principalmente no horizonte diagnóstico (Bw). Ou seja, o perfil apresenta um manto pedogenizado mais profundo. Este solo apresentou os maiores índices de saturação por bases, em relação aos demais perfis amostrados. Tal fato pode ser evidenciado no horizonte A1 com 56% de saturação por bases, devido ao transporte de colúvio juntamente com uma maior ciclagem que os demais perfis de solos. Possui acidez média, com valores de Ca, Mg, K e Na baixos, decaindo ao longo do perfil, resultando em um oligotrofismo, herdado do saprolito, quimicamente pobre. Apresenta valores nulos de índice de saturação por alumínio e acidez trocável em todos os horizontes do perfil. Tal fato sinaliza que a ação dos complexos estáveis de alumínio e matéria orgânica fixa o alumínio e estabiliza a MO e a tornam mais resistente à decomposição microbiana em solos tropicais e subtropicais (VOLKOFF et al., 1994; MENDONÇA, 1995 e BENITES, 2000). Este mecanismo torna-se positivo para as plantas (devido aos teores de COT nos horizontes A1 13,73 mgdm<sup>-3</sup> e A2 9,3 mgdm<sup>-3</sup>), reduzindo a fitotoxicidade do alumínio, e de forma positiva na soma de bases (apesar de valores muito baixos).

### **3.13.2. Cambissolo Húmico Distrófico típico (P2)**

O perfil 2 é localizado em área de altitude de 1.658 m, em declividade acentuada, (45%) em relevo montanhoso, em área adjacente à floresta alto-montana. Foi classificado como Cambissolo Húmico Distrófico típico, com textura de franco-argilosa a argila. Apresenta menores teores de areia grossa e fina em relação ao P4, e maiores teores de argila, principalmente, no horizonte Bi, evidenciando um intemperismo mais atuante e homogêneo como pode ser evidenciado ao longo do perfil. O solo mostra uma acidez média, baixos índices de saturação por bases, ao longo de todo o perfil (2% ou menor), elevado

índice de saturação por alumínio (acima 75%) nos horizontes mais superficiais (A1), valores negligenciáveis de acidez trocável (alumínio trocável) ou nulos nos horizontes mais profundos do solum, coincidindo com os horizontes húmicos. Evidencia-se um cenário, onde, além da baixa disponibilidade de nutrientes e baixas temperaturas, que condicionam o metabolismo microbiano reduzido há possível redução pela sua complexação com MOS. Como observado no P4, os valores muito baixos de P, Na e K ainda reduzem em profundidade, evidenciando a pobreza química extrema do saprolito e a ausência de reposição via intemperismo. A CTC efetiva é muito baixa em todos os horizontes, decaindo ainda mais nos horizontes subsuperficiais (12 a 11  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ), também em função da redução do COT, corroborando a participação dos colóides orgânicos na geração de cargas ao longo do perfil. Como no P1, neste perfil foram encontradas índices aparentes altos de saturação por sódio, o que segundo LANI et al., (2001), é proveniente de chuvas orográficas. Contudo, o seu efeito deve ser limitado, pois, os valores absolutos são baixos e a CTC, baixíssima.

### **3.13.3. Neossolo Regolítico Húmico típico (P3)**

O perfil 3 foi aberto em altitude de 1.778 m sob campos com candeias, em relevo montanhoso (posição de crista), sendo classificado como Neossolo Regolítico Húmico típico, de classe textural argila a franco-argilosa. Este solo é típico das áreas mais declivosas do Caparaó. São rasos, com horizonte A Húmico, gradiente elevado, baixas temperaturas e fertilidade natural muito baixa. Os teores de silte variam de 33  $\text{dag kg}^{-1}$  no horizonte A1 a 41  $\text{dag kg}^{-1}$  no horizonte AB. A areia grossa mostrou-se nula e areia fina valores homogêneos ao longo do perfil.

### **3.13.4. Cambissolo Húmico Distrófico típico (P4)**

O perfil 4 foi aberto a uma altitude de 1.975 m, com declividade entre 45 a 75%, em relevo montanhoso. Foi classificado como Cambissolo Húmico Distrófico típico de classe textural franco-argilo-arenosa a argila, com o aumento de argila em profundidade (horizontes Bi e C1), sob vegetação de Campo de Altitude. São dominante, nas cimeiras da serra Mantiqueira e do

Caparaó, nas altitudes acima de 1.600 m, apresentando horizonte A Húmico. Localizam-se em ambientes elevados, frios, apresentam oligotrofismo, saturação por alumínio (acima de 60%) e índice muito baixo de saturação por bases. Neste perfil o teor de argila varia de 28 dag kg<sup>-1</sup> no horizonte A a 33 dag kg<sup>-1</sup> no horizonte Bi, chegando a 45 dag kg<sup>-1</sup> no horizonte C1. Destaca-se um elevado teor de areia grossa nos horizontes superficiais (A1, A2 e AB), com mudança de cores (matiz), entre os horizontes superficiais (A1, A2 e AB) e subsuperficiais (Bi e C1), com variações de croma e valor em profundidade, sugerindo um limite à mobilidade (translocação) dos compostos orgânicos. A textura, variando de franco-argilosa a argila, sugere a proteção da argila reduzindo a mobilidade dos compostos orgânicos conforme observado por outros autores (MARTIN et al., 1982 e OADES, 1988). Os valores de pH em água mostram a acidez média do solo, enquanto os valores de Na<sup>+</sup> maiores que K<sup>+</sup>, o que sugere o aporte de sprays marinhos (LANI et al., 2001). A exemplo do que ocorre em outros ambientes altimontanos, observa-se um acúmulo generalizado de matéria orgânica pouco decomposta ou humificada nos solos do Parna Caparaó.

Há ocorrência de teores elevados de Al trocável associado a elevados teores de MO neste perfil, permitindo a gênese de Horizonte Húmico profundo. A associação com o Al confere tanto uma menor biodegradabilidade, quanto uma maior resistência à oxidação química (MENDONÇA, 1995). A CTC efetiva em todos os horizontes é baixa, diminuindo com a profundidade, também em função da redução do COT, sinalizando o papel chave dos colóides orgânicos na geração de cargas neste perfil. Também, observa-se uma redução nos teores de K, Na e P a partir do horizonte Bi, demonstrando a pobreza química herdada do saprolito, profundamente lixiviado.

### **3.13.5. Organossolo Háptico Sáprico típico (P5)**

O perfil 5 foi aberto em relevo abaciado (área de colmatagem) situado num vale suspenso entre cristas, a 2.379 m de altitude, sob cobertura vegetal de Campo de Altitude parcialmente inundável. Foi classificado como Organossolo Háptico Sáprico típico, possuindo baixos índices de saturação por bases e altos índices de saturação por alumínio, no horizonte hístico, evidenciando o extremo oligotrofismo. A presença de altos teores do

micronutriente Fe (acima de  $227 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), é proveniente da inundação que aumenta os teores de  $\text{Fe}^{2+}$ , podendo ocasionar toxicidade às plantas. Os valores de Ca, Mg e K são negligenciáveis em profundidade. O Organossolo foi o único perfil com horizonte com acidez elevada (4,7), estimando a pobreza de MO acumulada nos ambientes brejosos.

### **3.13.6. Cambissolo Húmico Distrófico típico (P6)**

O perfil 6 foi aberto em relevo ondulado, em altitude de 2.632 m, com declividade entre (área de colmatagem) 8 a 20% (forma abaciada-área de colmatagem). Foi classificado como Cambissolo Húmico Distrófico típico, com classe textural franco-argilosa a franco-argilo-arenosa. Como os demais perfis supracitados, este também tem sua gênese atrelada a saprolitos de charnoquitos, migmatitos (ora bandados) e gnaisses migmatizados. Apresenta valores maiores da fração argila nos horizontes subsuperficiais Bic e C ( $30$  e  $33 \text{ dag kg}^{-1}$ , respectivamente) em relação aos horizontes superficiais A e 2A ( $16$  e  $22 \text{ dag kg}^{-1}$  respectivamente). É um solo que apresenta acidez média, com baixa fertilidade natural (oligotrofismo), com altos índices de saturação por alumínio, mas com índices baixos de acidez trocável (alumínio trocável) e baixos índices de saturação por bases ( $\leq 1,7$ ) e teores de bases trocáveis com valores negligenciáveis nos horizontes subsuperficiais. A vegetação é de Campos de Altitude, mesma cobertura vegetal de todos os perfis abertos a partir da altitude de 2000 m. Outro fator importante são os altos índices aparentes de saturação por sódio (Na), que sugerem o efeito de chuvas orográficas (LANI et al., 2001). Foram encontrados fragmentos de migmatitos saprolitizados, com granulometria inferior a 1cm de diâmetro (Hz 2A), fato que pode explicar os altos teores de Fe extraível neste horizonte ( $161,5 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), sobrejacente ao BiC, como um possível fluxo lateral de  $\text{Fe}^{2+}$  ao longo das descontinuidade. São fragmentos menores que os encontrados no perfil 1 (Cambissolo Húmico).

### **3.13.7. Neossolo Litólico Húmico típico (P7)**

O perfil 7 foi aberto praticamente no topo do Parna Caparaó, a 2.887 m altitude, próximo à divisa entre os estados de MG e ES, com declividade entre

3 a 8% (morfologia ondulada), sob campos de altitude. Foi classificado como Neossolo Litólico Húmico típico, de classe textural franco-arenosa. Apresenta acidez média, oligotrofismo, altos índices por saturação por alumínio e baixos índices de acidez trocável (alumínio trocável) e índices muito baixos de saturação por bases.

Os valores de P, Ca, Mg e K são quase nulos, negligenciáveis, sendo menores no horizonte A2 diretamente sobrejacente à rocha intemperizada, evidenciando a pobreza química do material de origem. É um solo eletronegativo, onde a CTC é quase que exclusivamente atrelada à fração orgânica do solo, em virtude da atividade muito baixa da fração argila neste perfil.

Como acontece nos perfis anteriormente comentados, em condições de fitotoxidez de alumínio, as plantas produzem quantidades consideráveis de compostos fenólicos reduzindo a degradabilidade da M.O, e contribuindo para sua acumulação, em conjunto com as temperaturas muito baixas (DAVIES et al., 1964).

### **3.13.8. Ataque Sulfúrico**

De modo geral, todos os horizontes dos perfis estudados demonstram valores baixos das relações moleculares  $K_i$  e  $K_r$ , com valores entre 0,2 e 1,2 (Tabela. 6), indicando tratar-se de solos muito intemperizados, fato este, que pode ser confirmado pela mineralogia onde predominam gibbsita e caulinita.

Os teores de  $Fe_2O_3$  estão entre 7,1 a 8,1 dag  $kg^{-1}$ , exceto o P4 com valores entre 9,7 a 9,9 dag  $kg^{-1}$ , o que o caracteriza como mesoférrico (8 a 18%  $Fe_2O_3$ ). (EMBRAPA, 1999). Os valores do  $K_i$  do Latossolo estudado são menores que 2,2 dag  $kg^{-1}$ , estando dentro dos valores definidos para um B Latossólico de natureza mais oxídica e gibbsítica (EMBRAPA, 1999). Como os valores de CTC estão abaixo de 1,5 dag  $kg^{-1}$ , tais valores demonstram ser solos gibbsíticos, resultado este, confirmado pela mineralogia.

Essa homogeneidade decorre da geoquímica da litologia e se reflete nos solos dela formados (RESENDE e SANTANA, 1988). Uma possível explicação para os baixos valores de  $K_i$  e  $K_r$  encontrados em todos os horizontes é uma gênese policíclica de longo prazo de materiais pré-intemperizados (colúvio) muito antigos. Embora o relevo seja muito movimentado, ocasionando a

formação policíclica de material coluvionar, o alto grau de intemperismo e posição na paisagem, que favoreceu a remoção de sílica, traduzem-se em baixos valores de Ki e Kr (Tabela 5).

Tabela 5. Resultados do ataque sulfúrico dos perfis representativos da Porção Mineira do Parna Caparaó

| Ataque Sulfúrico                                |                |                                |                  |                               |                  |                                |      |      |
|---|----------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|------|------|
| Horizonte                                       | Espessura (cm) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | TiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ki   | Kr   |
| .....%  |                |                                |                  |                               |                  |                                |      |      |
| <b>P1 - Latossolo Amarelo Distrófico húmico</b> |                |                                |                  |                               |                  |                                |      |      |
| Bw1   | 14             | 18.57                          | 13.47            | 0.13                          | 0.51             | 7.38                           | 1.23 | 0.52 |
| Bw2   | 23             | 21.26                          | 11.49            | 0.2                           | 0.39             | 7.77                           | 0.92 | 0.39 |
| Bw3   | 28+            | 21.17                          | 15.46            | 0.23                          | 0.53             | 7.84                           | 1.24 | 0.53 |
| <b>P2-Cambissolo Húmico Distrófico típico</b>   |                |                                |                  |                               |                  |                                |      |      |
| AB  | 14             | 22.43                          | 2.43             | 0.13                          | 0.08             | 7.18                           | 0.18 | 0.08 |
| Bi  | 31             | 24.79                          | 5.8              | 0.09                          | 0.18             | 7.41                           | 0.4  | 0.18 |
| BiC   | 50+            | 29.1                           | 10.57            | 0.05                          | 0.28             | 7.63                           | 0.06 | 0.29 |
| <b>P3 - Neossolo Regolítico Humico típico</b>   |                |                                |                  |                               |                  |                                |      |      |
| A1  | 18             | 23.34                          | 9.75             | 0.16                          | 0.32             | 7.13                           | 0.7  | 0.32 |
| AB  | 17             | 31.15                          | 7.7              | 0.07                          | 0.20             | 8.12                           | 0.42 | 0.12 |
| Cr  | 75             | 37.4                           | 10.6             | 0.08                          | 0.22             | 9.5                            | 0.48 | 0.23 |
| <b>P4-Cambissolo Húmico Distrófico típico</b>   |                |                                |                  |                               |                  |                                |      |      |
| AB  | 25             | 18.89                          | 8.19             | 0.15                          | 0.28             | 9.7                            | 0.74 | 0.29 |
| Bi  | 10             | 25.75                          | 4.96             | 0.14                          | 0.13             | 9.98                           | 0.32 | 0.14 |
| <b>P6-Cambissolo Húmico Distrófico típico</b>   |                |                                |                  |                               |                  |                                |      |      |
| BiC   | 42             | 22.4                           | 15.25            | 0.07                          | 0.48             | 7.64                           | 1.16 | 0.5  |

### 3.13.9. Características Mineralógicas da Fração Argila

A mineralogia da fração argila das amostras dos solos estudados é constituída predominantemente por gibbsita, e traços de caulinita, sinalizando para todos os horizontes diagnósticos dos perfis uma mineralogia oxídica na fração argila, confirmando o alto grau de intemperismo dos solos altomontanos, independente da sua profundidade (Figuras 19, 20, 21, 22, 23, 24 e 25).

### 3.13.10. Características Mineralógicas da Fração Areia

Os resultados da difratogrametria de raios-X, revelaram a coexistência de minerais primários e secundários na fração grosseira (areia) dos perfis de solos do Parna Caparaó (Figuras 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32).

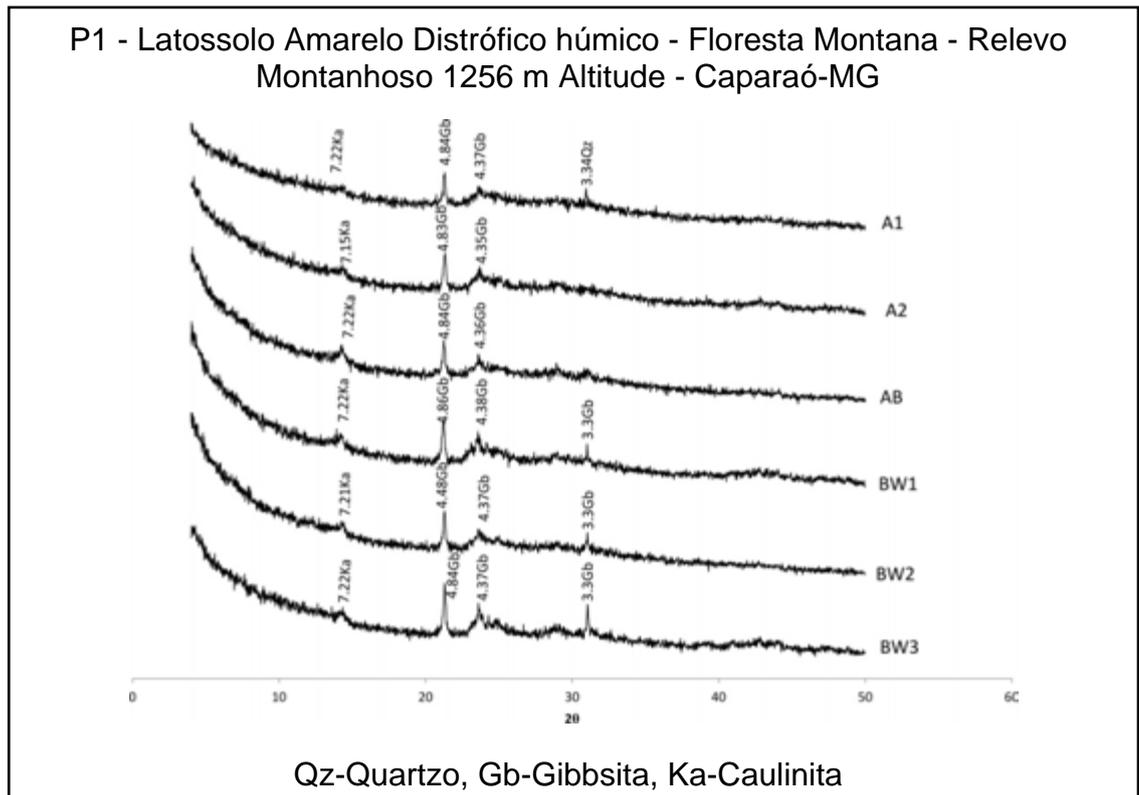


Figura 19. Difratoograma de raios-X da fração argila do P1 – Latossolo Amarelo Distrófico húmico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

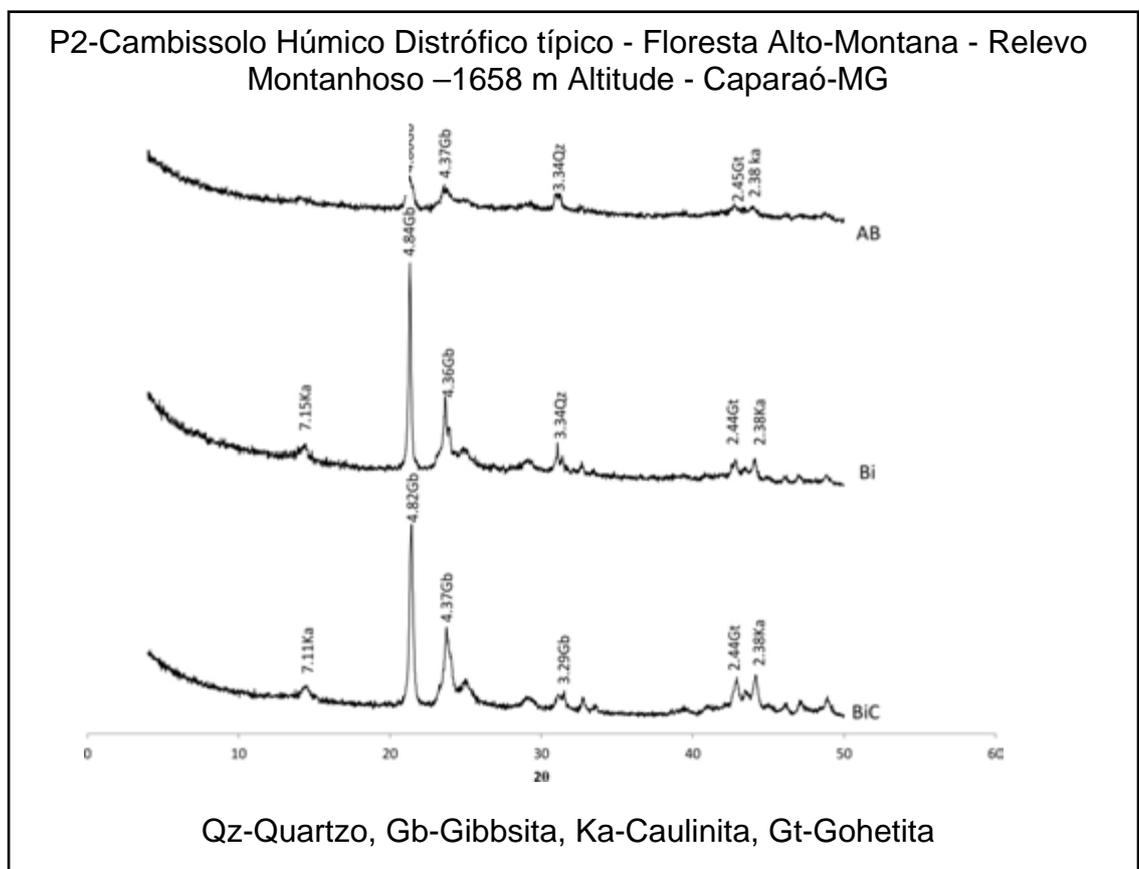
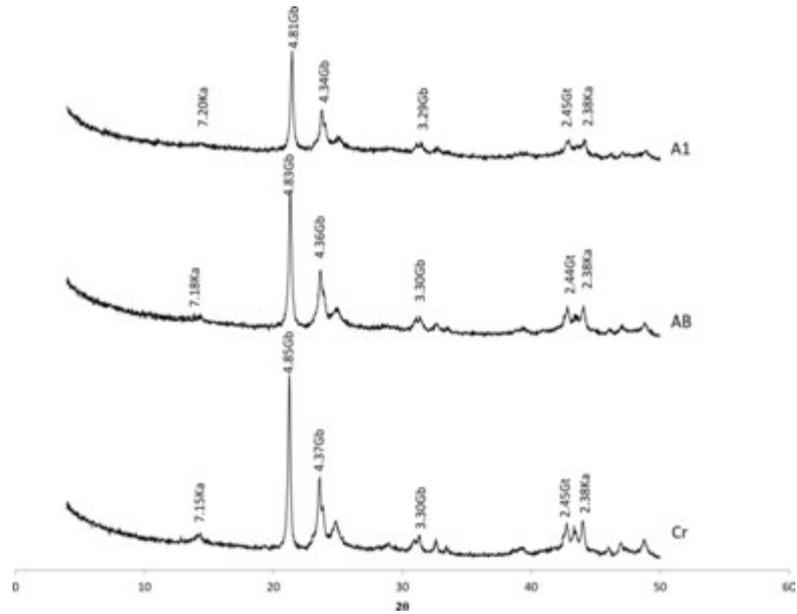


Figura 20. Difratoograma de raios-X da fração argila do P2 – Cambissolo Húmico Distrófico típico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

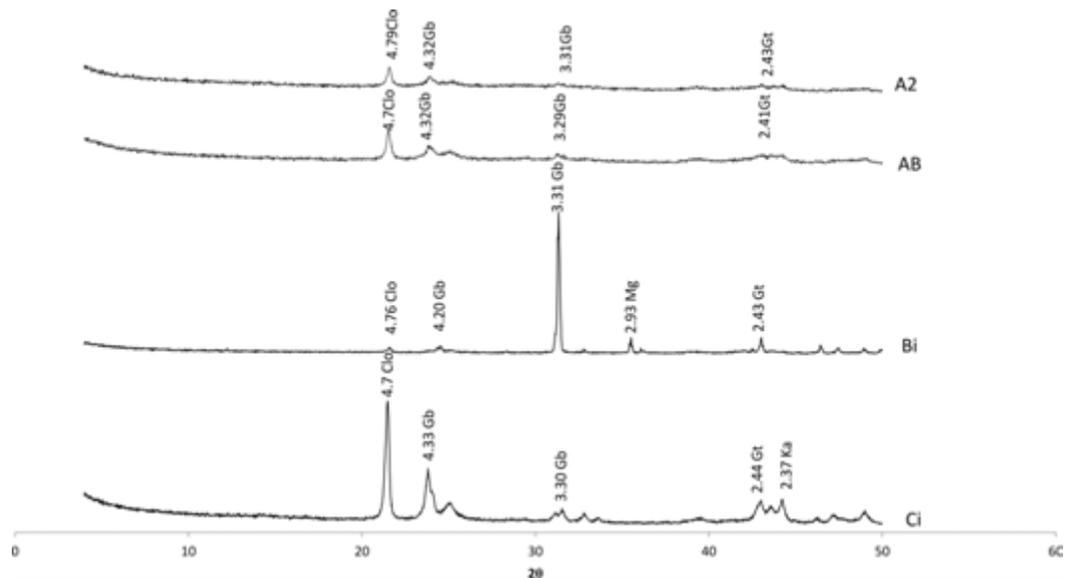
P3 - Neossolo Regolítico Húmico típico – Escrubes e Campo com Candeias - Relevo Linha de Crista -1778 m Altitude - Caparaó-MG



Gb-Gibbsita, Ka-Caulinita, Gt-Goшетita

Figura 21. Difratoograma de raios-X da fração argila do P3 - Neossolo Regolítico Húmico típico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

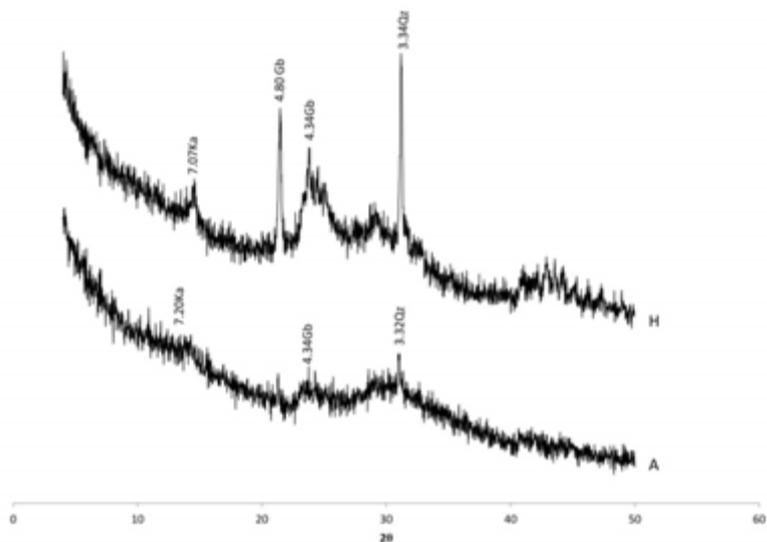
P4 - Cambissolo Húmico Distrófico típico – Escrubes e Campos de Altitude - Relevo Montanhoso - 1975 m Altitude - Caparaó-MG



Gb-Gibbsita, Ka-Caulinita, Gt-Goшетita, Clo-Clorita

Figura 22. Difratoograma de raios-X da fração argila do P4 - Cambissolo Húmico Distrófico típico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

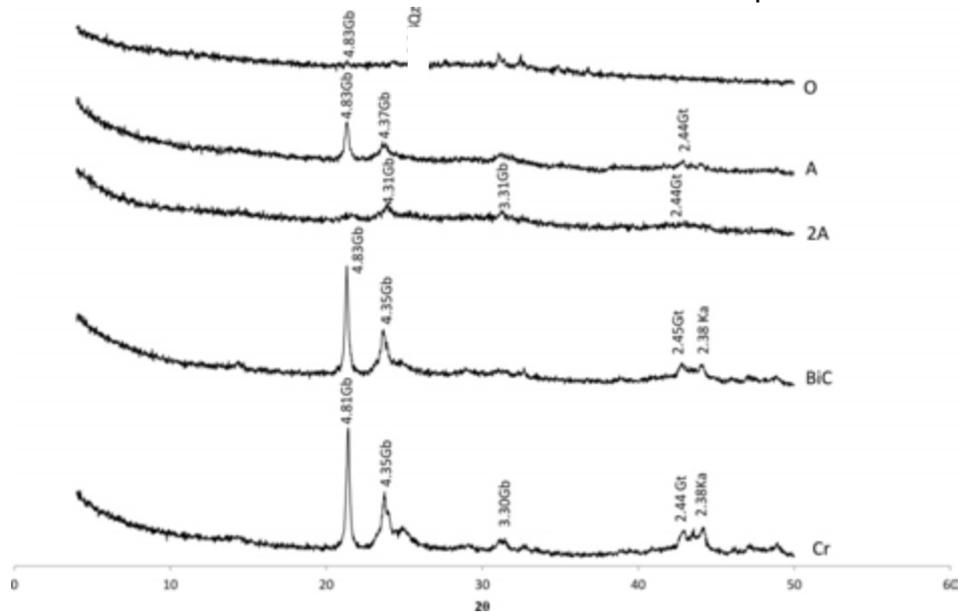
P5 - Organossolo Háplico Sáprico típico - Campo de Altitude - Relevo Abaciado – 2379 m Altitude - Caparaó-MG



Gb-Gibbsita, Ka-Caulinita, Qz-Quartzo

Figura 23. Difratoograma de raios-X da fração argila do P5 - Organossolo Háplico Sáprico típico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

P6 - Cambissolo Húmico Distrófico típico – Campo de Altitude - Relevo Suave Ondulado Abaciado – 2632 m Altitude - Caparaó-MG



Gb-Gibbsita, Ka-Caulinita, Gt-Gogetita

Figura 24. Difratoograma de raios-X da fração argila do P6 - Cambissolo Húmico Distrófico típico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

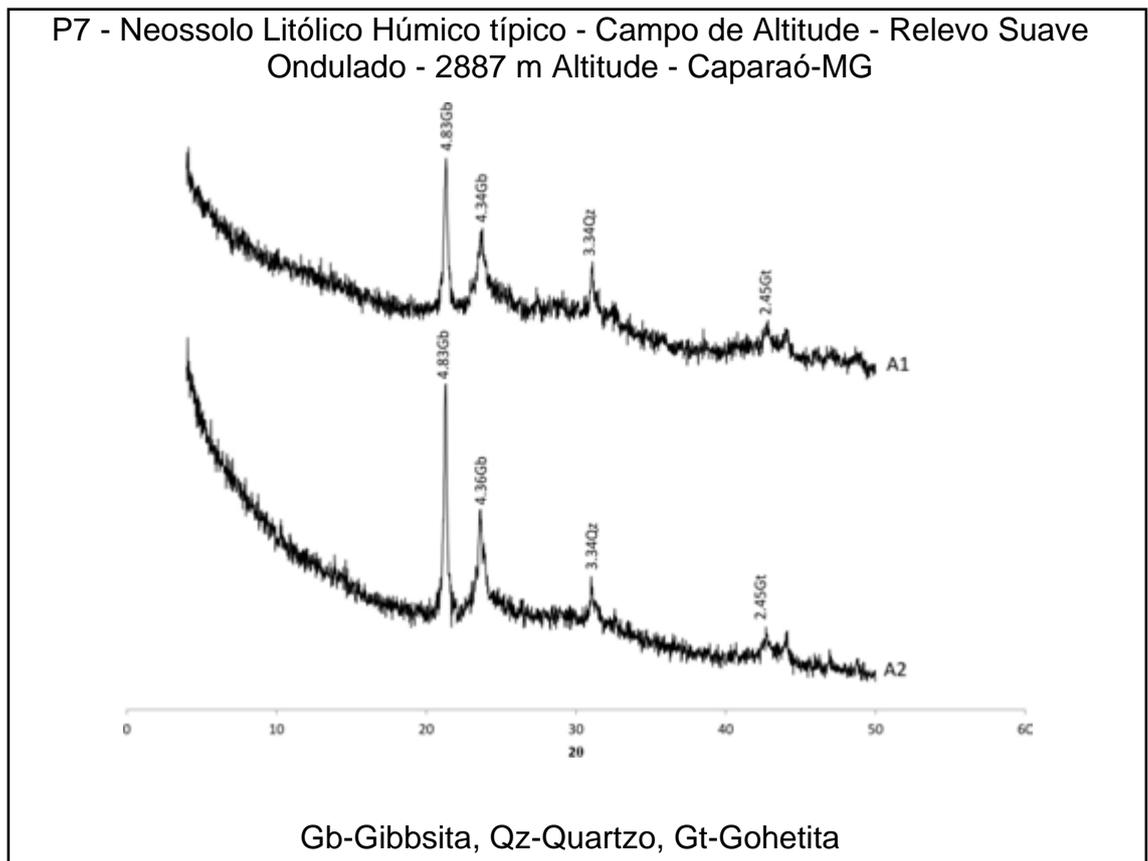


Figura 25. Difratoograma de raios-X da fração argila do P7 - Neossolo Litólico Húmico típico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

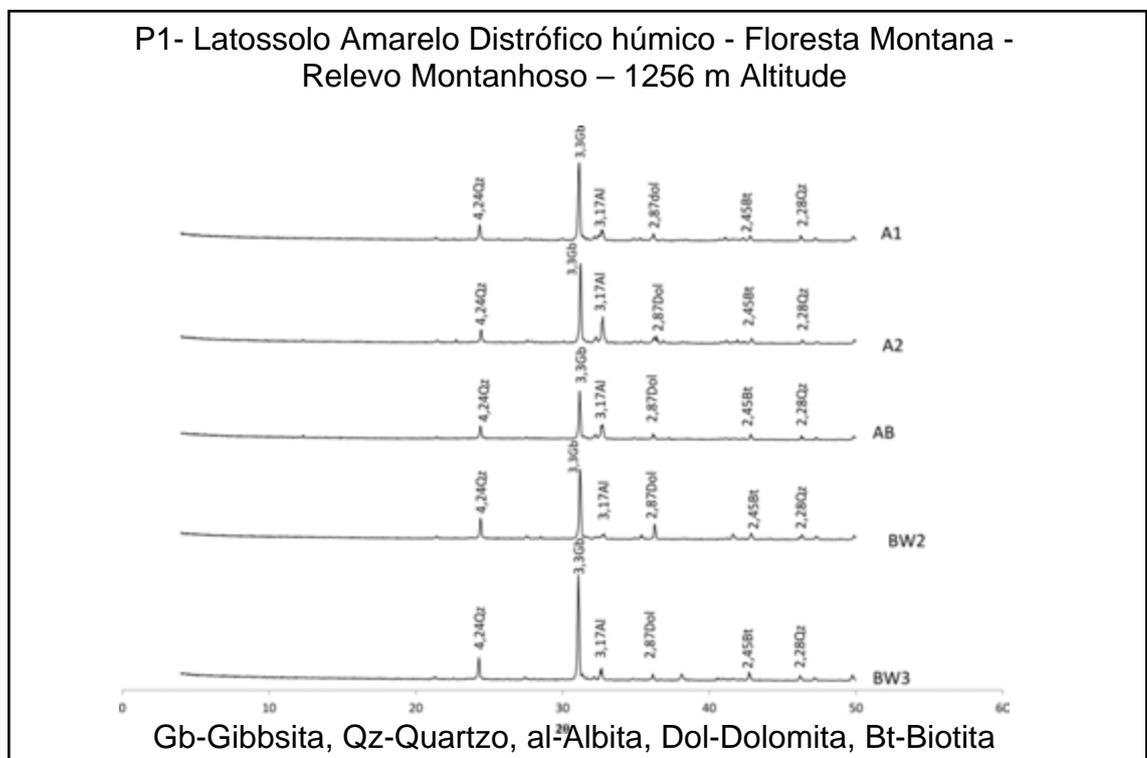
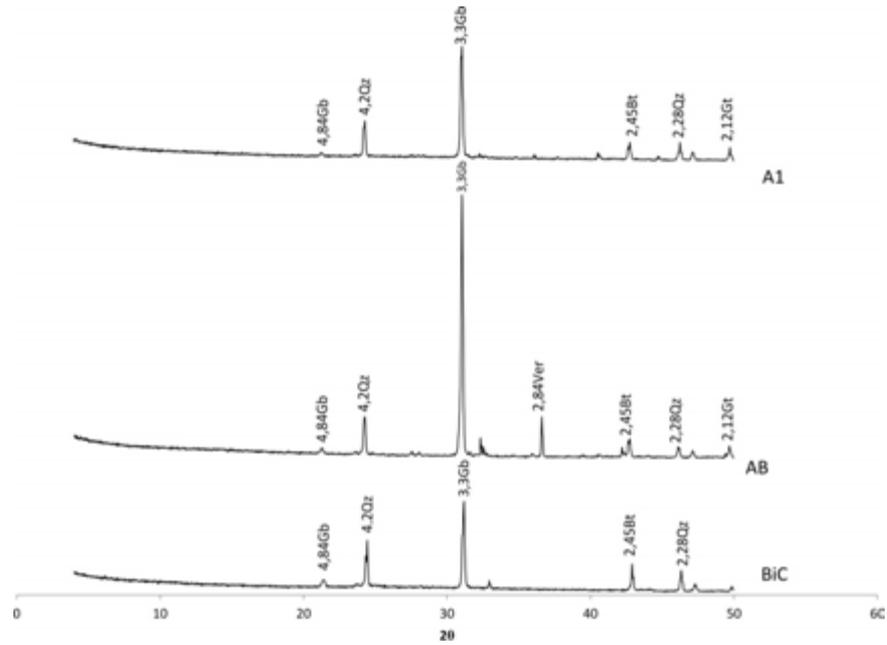


Figura 26. Difratoograma de raios-X da fração areia do P1 – Latossolo Amarelo Distrófico húmico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

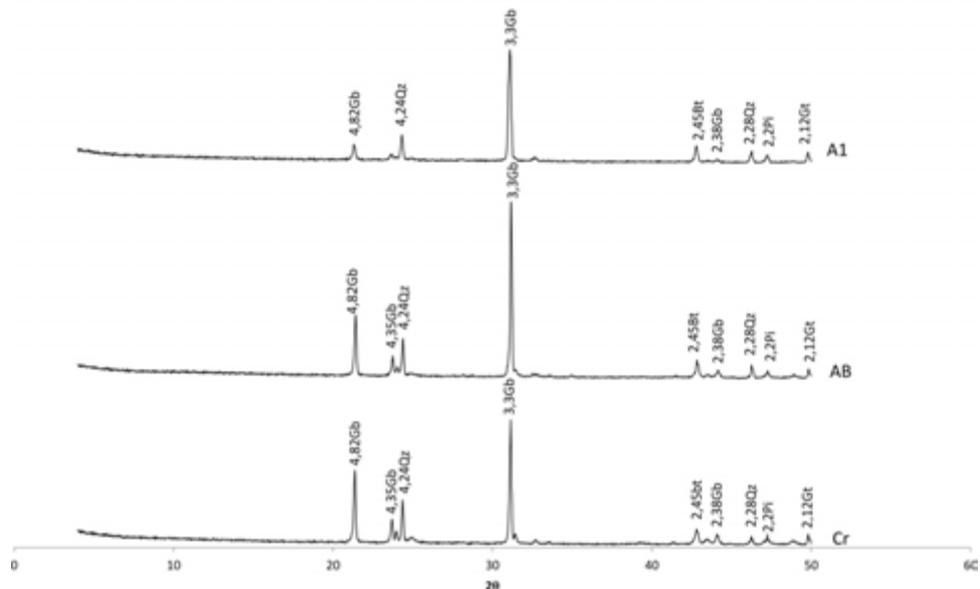
P2-Cambissolo Húmico Distrófico típico - Floresta Alto-Montana - Relevo Montanhoso - 1658 m Altitude



Gb-Gibbsita, Qz-Quartzo, Ver-Vermiculita, Bt-Biotita, Ca-Calcita, Gt-Gogetita

Figura 27. Difratoograma de raios-X da fração areia do P2 - Cambissolo Húmico Distrófico típico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

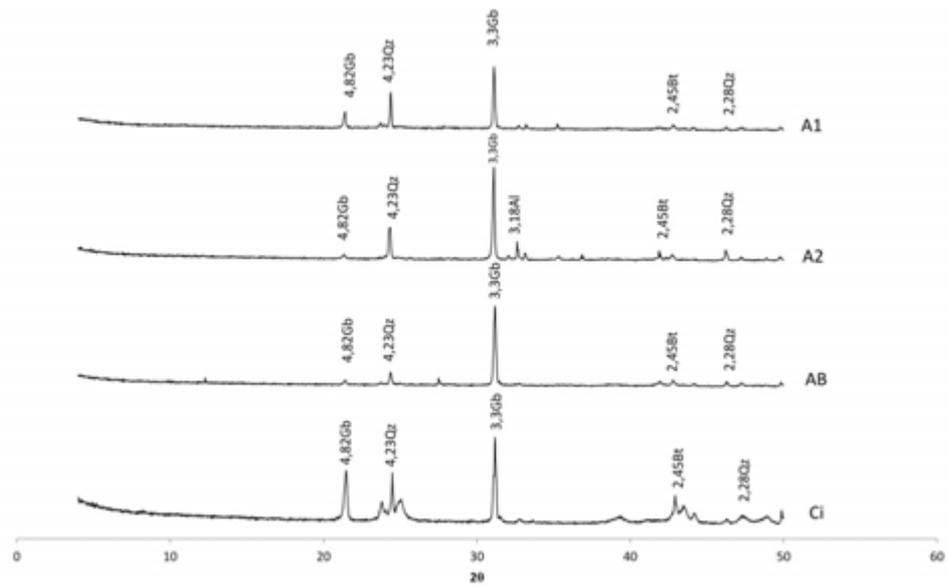
P3 - Neossolo Regolítico Húmico típico – Escrubes e Campos com Candeia - Relevo Linha de Crista – 1778 m Altitude



Gb-Gibbsita, Qz-Quartzo, Bt-Biotita, Pi-Pirita, Gt-Gogetita

Figura 28. Difratoograma de raios-X da fração areia do P3 - Neossolo Regolítico Húmico típico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

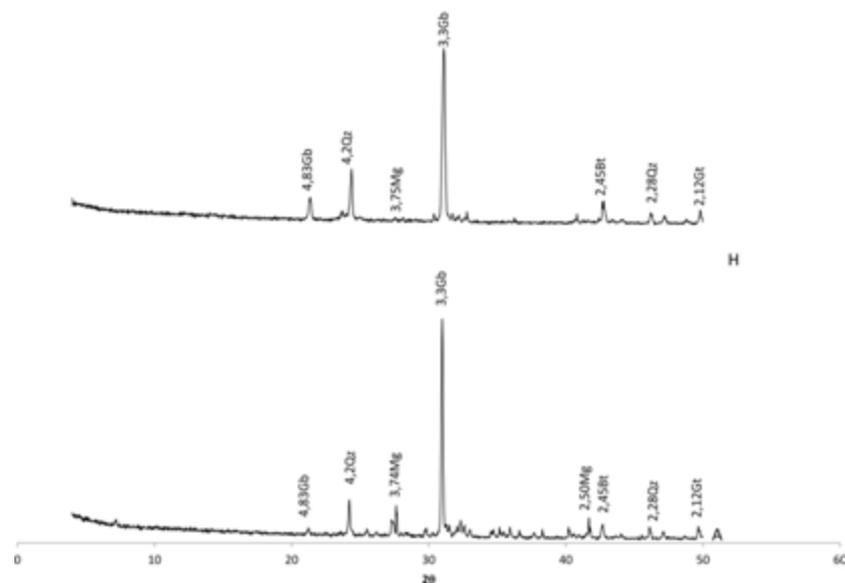
P4 - Cambissolo Húmico Distrófico típico - Campos de Altitude - Relevo Montanhoso 1975 m Altitude



Gb-Gibbsita, Qz-Quartzo, Al-Albita, Bt-Biotita

Figura 29. Difratoograma de raios-X da fração areia do P4 - Cambissolo Húmico Distrófico típico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

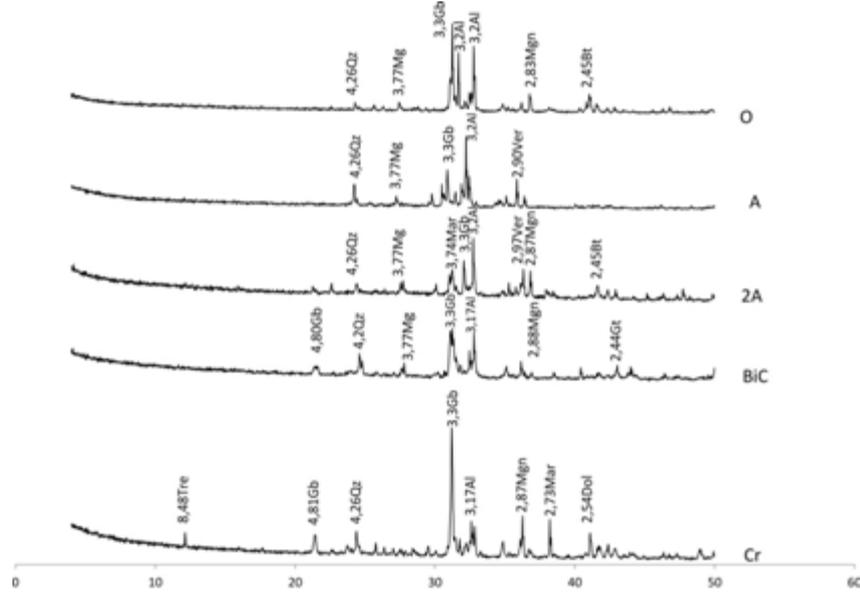
P5 - Organossolo Háplico Sáprico típico - Campo de Altitude - Relevo Abaciado - 2379 m Altitude



Gb-Gibbsita, Qz-Quartzo, Mg-Maghemita, Bt-Biotita, Gt-Goethita

Figura 30. Difratoograma de raios-X da fração areia do P5 - Organossolo Háplico Sáprico típico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

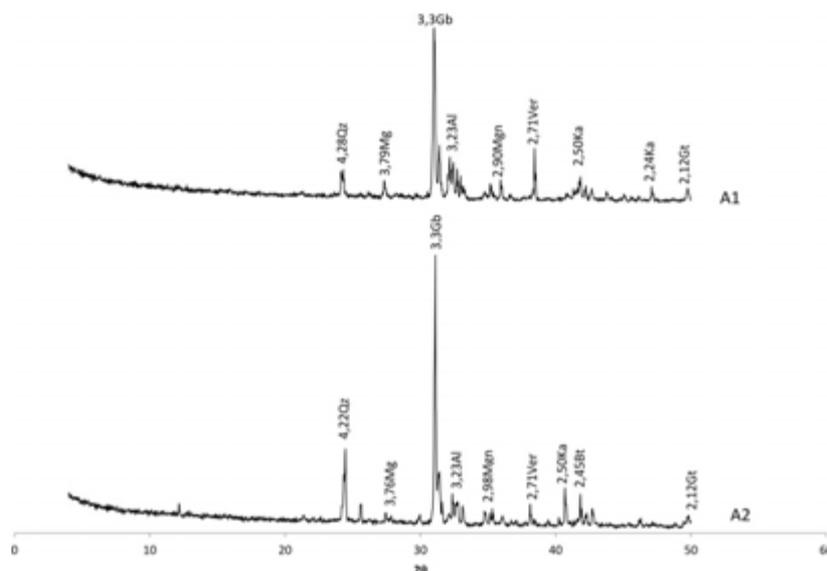
P6 - Cambissolo Húmico Distrófico típico – Campo de Altitude - Relevo Suave Ondulado Abaciado – 2632 m Altitude



Gb-Gibbsita, Tre-Tremolita, Mg-Maghemita, Qz-Quartzo, Mar-Marcasita, Al-albita, Ver-Vermiculita, Mgn-Magnetita, Dol-Dolomita, Bt-Biotita, Gt-Gogetita

Figura 31. Difratoograma de raios-X da fração areia do P6 - Cambissolo Húmico Distrófico típico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

P7 - Neossolo Litólico Húmico típico - Campo de Altitude - Relevo Suave Ondulado-2887m Altitude



Qz-Quartzo, Mg-Maghemita, Gb-Gibbsita, Al-albita, Mgn-Magnetita, Ver-Vermiculita, Ka-Caulinita, Bt-Biotita, Gt-Gogetita

Figura 32. Difratoograma de raios-X da fração areia do P7 - Neossolo Litólico Húmico típico da topossequência do Parque Nacional do Caparaó.

No que se refere aos óxidos de ferro, os resultados da difratometria de raios-X revelaram a presença exclusiva de goethita, conferindo aos solos do Parna Caparaó uma coloração mais amarelada. O fato de não ser detectada a presença da hematita na fração argila, possivelmente está associado aos baixos teores de ferro e o efeito da MOS, reduzindo a atividade do Fe em solução (RESENDE, 1976, SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989), favorecendo a formação da goethita. Embora se tenha observado coloração avermelhada em pontuações e concreções, estes, possivelmente, foram excluídos na separação da TFSA.

A pouca ocorrência da caulinita nestes solos deve-se possivelmente à hidrólise dos cátions básicos e de silicatos. O processo de dessilificação parcial dominante nas regiões de clima quente e úmido favorece a formação e a estabilidade da caulinita nos solos estudados (CURI; KAMPF e MARQUES, 2005). Ou seja, pontualmente, a sílica não eliminada recombina-se com o alumínio também não eliminado, formando uma fase secundária argilosa (caulinita), embora o grau de intemperismo e a taxa de remoção de Si tenham conduzido à formação de gibbsita.

A presença da clorita no P4 (Cambissolo Húmico Distrófico típico) parece estar associada à presença de dique máfico. As cloritas ocorrem em rochas metamórficas de metamorfismo regional de médio grau. São constituintes ocasionais em rochas ígneas, provavelmente de origem secundária por alteração hidrotermal de minerais ferromagnesianos primários (mica, piroxênio e anfíbolito) (BAILEY, 1975). O teor e a frequência de clorita em solos são baixos e sua ocorrência está relacionada com o material de origem. A baixa frequência pode ser decorrente da sua pouca estabilidade ou da dificuldade de distingui-la quando em pequenas quantidades na presença de caulinita (BARNHISEL e BERTSCH, 1989). Sua dissolução é completa em ambientes com pH próximo de 4,5 e com alta concentração de ácidos orgânicos complexantes (PINTO e KAMPF, 1996).

### 3.13.11. Micromorfologia dos Perfis P2 e P6 (Cambissolo Húmico Distrófico típico)

No Parna Caparaó foram selecionados os perfis P2 e P6 (CH) para os estudos micromorfológicos, sendo confeccionadas e analisadas 14 lâminas no total.

Em P2, estudou-se o horizonte Bi e o contato Bi/C. Em Bi, ocorre uma estrutura em blocos incipientes e com grau fraco de pedalidade onde se observa uma acentuada bicromia entre zonas de plasma mais avermelhado/alaranjado, e partes onde a gibbsita predomina totalmente, formando zonas brunadas claras (Fotomicrografias A, B, C) (Figura 33).

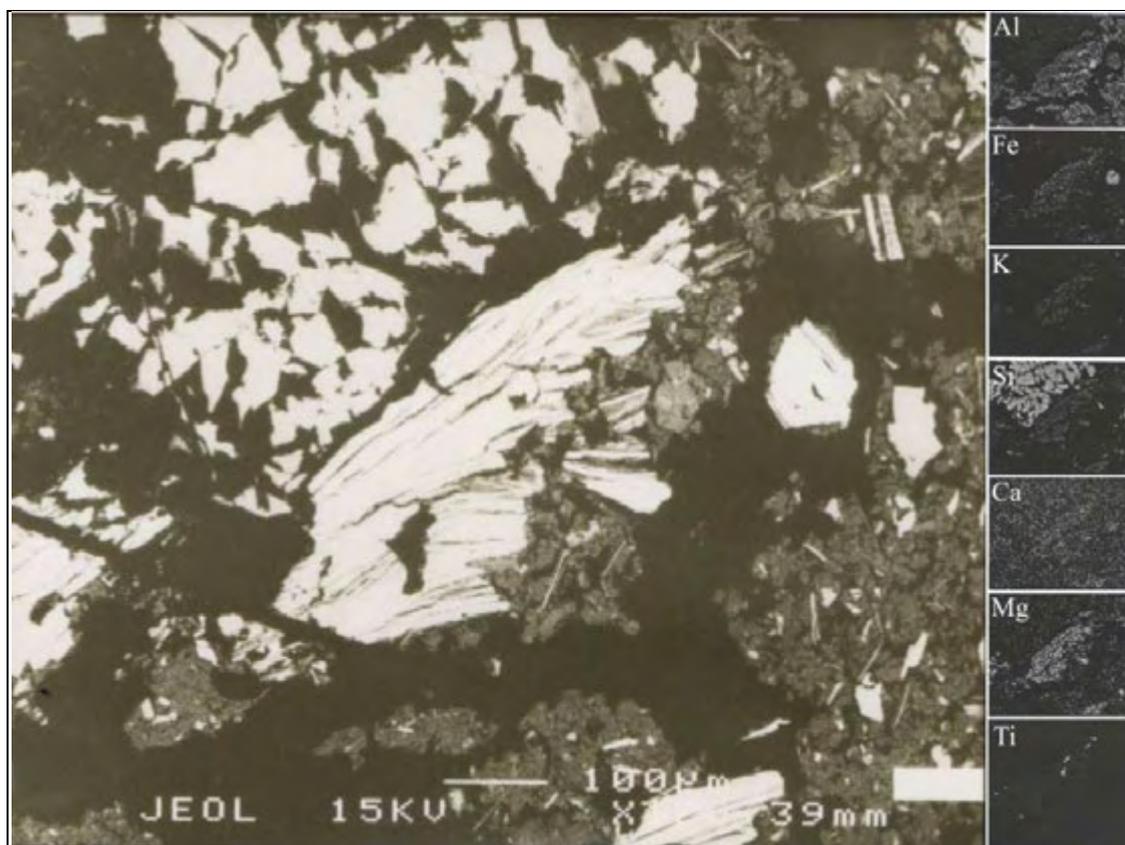


Figura 33. Perfil 2 - Cambissolo Húmico Distrófico típico – Caparaó-MG (horizonte Bi – 85-90 cm/profundidade). Presença de biotita parcialmente alterada em meio a plasma gibbsítico, e grãos de quartzo com forte corrosão, poligonais (topo). Minerais de Ti, secundários, ocorrem dispersos na matriz.

Utilizando o MEV com EDS, pode-se analisar tanto o plasma gibbsítico nas partes mais ricas em ferro (41%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 4%  $\text{SiO}_2$ , 0,3%  $\text{K}_2\text{O}$  e 8%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); quanto nas porções onde a gibbsita predomina (48%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3,5%  $\text{SiO}_2$ , 0,1%

K<sub>2</sub>O e 3,2% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (Figura 34). Nesta fotomicrografia de eletrons retroespalhados, observa-se em detalhe uma litorelíquia pouco alterada de biotita (mapas microquímicos de Mg, K, Fe, Si e Al) e muitos grãos de quartzo corroídos e angulosos, e microfragmentos de VHE de comprimento máximo de 60 µm.



Figura 34. Perfil 2 - Cambissolo Húmico Distrófico típico – Caparaó-MG. Agregado em blocos formado de plasma argiloso de gibbsita em coexistência com minerais primários (fragmentos de biotita) e feldspato postássico fortemente alterado, e quartzo corroído poligonal. O plasma gibbsítico é derivado do intemperismo direto de plagioclásios e K-feldspatos, e fases degradadas permanecem presentes, apesar do grau extremamente elevado de intemperismo.

A microestrutura é aberta e porosa pela pedobioturbação, mas existem zonas de acumulação absoluta de gibbsita no interior dos agregados, indicando uma “bauxita” alloterítica. A pseudomorfose é obliterada pela formação secundária de fracos ferri-argilas (gibbsitas), e a estrutura pedogenética é bioturbada. É semelhante à camada alloterítica como descrita por Beissner et al. (1997) em materiais e solos gibbsíticos em Cataguases. Apesar da presença abundante de quartzo no esqueleto arenoso, não há condições favoráveis à alitização (argilas 1:1) pela excessiva remoção da sílica.

No horizonte de transição de Perfil P2 no contato Bi/saprolito, ocorreram várias feições alteríticas na base (saprolito), como ilustrado pelas feições de box-works de minerais máficos e dos feldspatos integralmente ou parcialmente

alterados em gibbsita, que forma o plasma isalterítico. Na parte superior, já ocorre agregação em blocos e o plasma gibbsítico coexiste em esqueleto arenoso formado de quartzo e feldspatos, com raros máficos e granada. No detalhe da Figura 33, (obtida pelo retroespalhamento eletrônico no MEV, e pelos mapas microquímicos, pode-se observar a coexistência de gibbsita ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  42,5%;  $\text{SiO}_2$  3,5%; 0,25%  $\text{K}_2\text{O}$  e 8,5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e minerais primários (K-feldspatos) na fração areia.

Ocorrem no saprolito zonas basicamente quartzosas (Figura 35), como nesta imagem de retroespalhamento, onde fragmentos corroídos de quartzo se associam a zona de intensa ferruginização secundária (fluxos laterais e descendentes, com precipitação do ferro) ao longo dos canais e zonas de fraqueza.

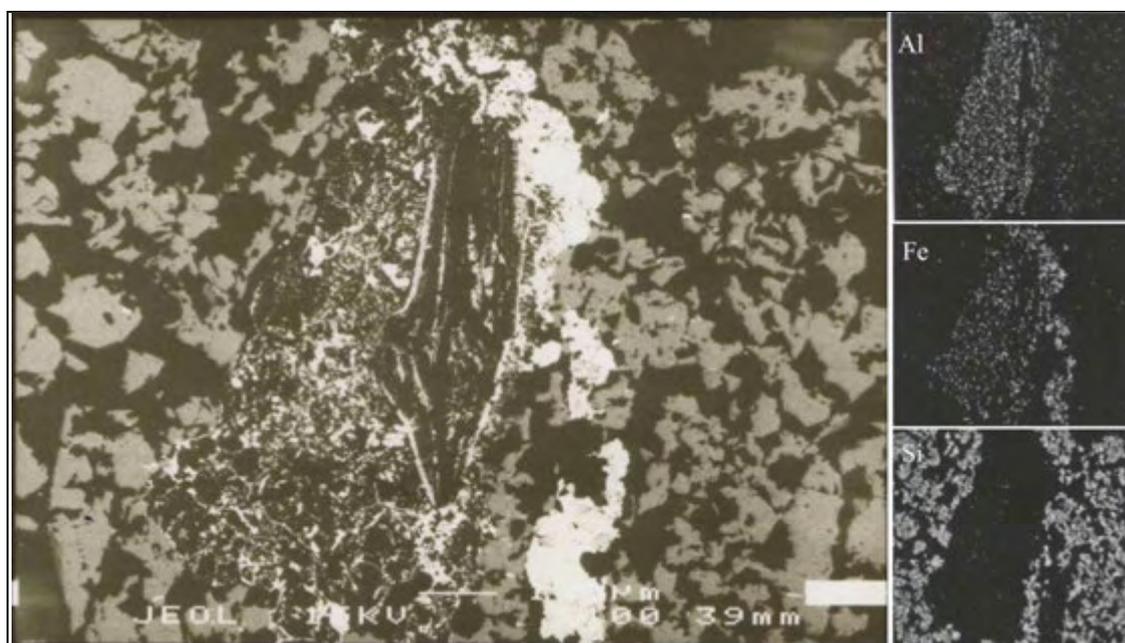


Figura 35. Imagem do retroespalhamento eletrônico do perfil P2, no saprolito, ilustrando a intensa co-precipitação de Fe e Al em fraturas do material saprolítico.

A microestrutura de horizonte Bi e os padrões de alteração no contato Bi-BC-saprolito seguem a mesma tendência do que foi descrita por Simas et al. (2005) na Mantiqueira (Serra Verde) e por Benites et al. (2001) para solos gibbsíticos da Serra do Brigadeiro, próximo ao Caparaó.

No horizonte C do Perfil P6, na parte mais elevada do Caparaó, os solos, mesmo sendo rasos e pouco desenvolvidas, evidenciam a alteração

catamórfica profunda que sofreu com forte remoção de sílica e precipitação do gibbsita e oxi-hidróxidos de Fe, insolúveis.

Coexistem neste saprolito fácies de alteração monossilítica, com minerais 1:1 (Figura 36) associados a zonas ricas em quartzo e feldspato, micro fraturados.



Figura 36. Perfil 6 - Cambissolo Húmico Distrófico típico – Caparaó-MG. Fotomicrografia de retroespalhamento eletrônico e mapas microquímicos (Al, Fe, K, Ca, Mg), evidenciando a pseudomorfose dos minerais ferromagnesianos em box-work com formação de oxi-hidróxidos de Fe (goethita e hematita) nos litoporos e plasma gibbsítico associado. Grau de alteração mesofórmica, com preservação dos Feldspatos potássicos (mapa K), e sua rápida alteração direta para gibbsita. Área de gibbsita e óxidos de Fe apontam ( $\text{SiO}_2$  4,7%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15,2% e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  29,2%) e portanto revela fase fortemente hidratados.

Nas partes mais fraturadas, a pseudomorfose dos K-feldspatos em gibbsita e dos máficos em goethita/hematita é quase completa (Figuras 37, 38) e a alteração alítica pode ser isovolumétrica ou mais densa e compacta, com preenchimento de litoporos pelo plasma gibbsítico que invade.

Os teores de Fe nestes saprolitos são mais elevados, pela maior riqueza em anfibólios e granadas na rocha local.

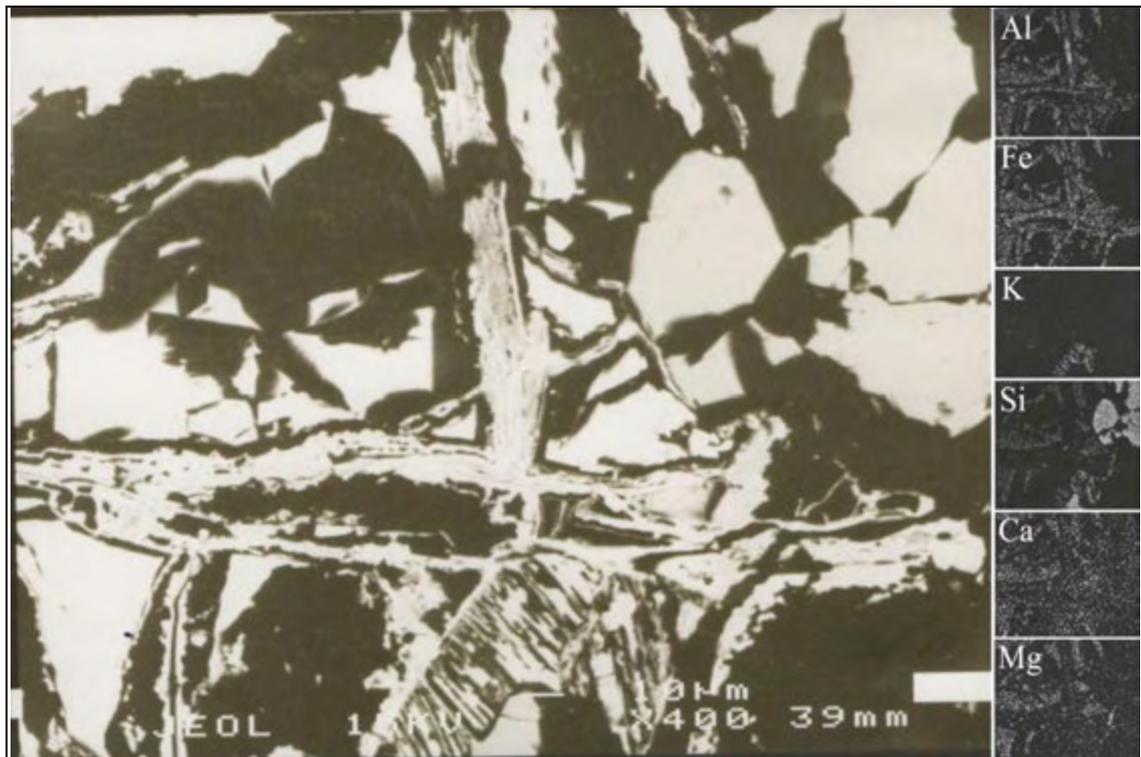


Figura 37. Perfil 6 - Cambissolo Húmico Distrófico típico – Caparaó-MG. Detalhe de Alteromorfo caulínítico septa e Fe-oxídico com corrosão quase completa dos K-feldspatos (mapa K) e minerais máficos, em box-work presente no horizonte C de P6 (90 cm de profundidade).



Figura 38. Perfil 6 - Cambissolo Húmico Distrófico típico – Caparaó-MG. Zona de completa alteração e acumulação de Fe e Al pouco cristalino (Hm e gibbsita) no saprolito do P6 (Caparaó), evidenciando precipitações de gibbsita no espaço poroso. A alteração catamórfica deixou um resíduo extremamente lixiviado e pobre em sílica (38%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 0,5%  $\text{SiO}_2$ ; 22%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

### 3.14. Fracionamento Quantitativo das Substâncias Húmicas

O fracionamento quantitativo das substâncias húmicas dos solos do Parna Caparaó-MG e de seus respectivos horizontes revelou variações na distribuição das diferentes formas de carbono. De maneira geral, a maior parte da fração humina se acumula nos horizontes A dos perfis de solos representativos da topossequência, com exceção do Bw2 do Latossolo Amarelo distrófico húmico. A presença de Fração Humina em profundidade mostra um acúmulo considerável, este atrelado à estabilidade desta fração (Tabela 6). Sua incorporação em profundidade pode ser atribuída a pedoturbação promovida por organismos do solo que atuam na incorporação da matéria orgânica em agregados mais estáveis, ao longo do tempo geológico (MIKLÓS, 1992 e SCHAEFER, 2001). Neste mesmo perfil, ocorre certa homogeneidade nos valores da fração humina, que está associada ao trabalho da fauna subsuperficial que trabalha na mineralização e estabilização da matéria orgânica do solo (MOS). A relação AH/AF mostra-se gradual, com valores entre 1,3 a 1 entre os horizontes A1 e Bw3. No complexo de Altitude do Parna Caparaó, geralmente associados ao porte Subarbustivo-Arbóreo, são encontrados os Cambissolos Húmicos. O fracionamento de substâncias húmicas mostrou evidências de translocação de MO no horizonte B, onde a fração ácidos fúlvicos são normalmente mais solúveis, acumulando-se nos horizontes mais subsuperficiais.

No Organossolo Háplico Sáprico típico, a matéria orgânica se acumula devido às condições de baixas temperaturas, ambiente anaeróbico e presença de alumínio, criando um ambiente desfavorável à decomposição pelos microrganismos, causando a redução das taxas de decomposição da Matéria Orgânica (MO). Uma vez acumulada no solo a MO passa a agir na retenção de água e nutrientes, servindo de substrato para as plantas e complexando o  $Al^{3+}$ , minimizando seu efeito fitotóxico. Entre os solos estudados, o Organossolo Háplico Sáprico típico, foi o que apresentou a maior participação da fração humina no carbono total. Verifica-se um aumento considerável da relação AH/AF em profundidade, sugerindo uma saída da fração AF ou, possivelmente, fração de ácidos húmicos pela polimerização de ácidos fúlvicos e metais. Como se trata de um ambiente de colmatagem (relevo abaciado), possivelmente, exista em profundidades maiores o acúmulo da fração ácido fúlvicos, atrelado

ao aumento do teor de argila em profundidade. Mesmo contendo altos valores de MO humificada, não ocorrem águas escuras no Parna Caparaó-MG, possivelmente devido à formação de complexos argilo-orgânico, estáveis nos solos.

Tabela 6. Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas-Caparaó-MG

| Ponto   | Horizonte | Prof.(cm) |       | Soma    | H       | AH     | AF     | AH/AF |
|---|-----------|-----------|-------|---------|---------|--------|--------|-------|
|   |           |           |       | Mg/ha   |         |        |        |       |
| <b>P1 - Latossolo Amarelo Distrófico húmico - húmico - Floresta Montana - Relevo Montanhoso - 1.256 m</b>       |           |           |       |         |         |        |        |       |
| P1  | A1        | 0-10      |       | 110,172 | 80,032  | 16,9   | 13,24  | 1,27  |
|   | A2        | 10-22     |       | 100,29  | 68,01   | 18,25  | 14,03  | 1,3   |
|   | AB        | 22-38     |       | 113,96  | 75,43   | 20,73  | 17,8   | 1,16  |
|   | Bw1       | 38-52     |       | 97,59   | 65,26   | 17,35  | 14,98  | 1,15  |
|   | Bw2       | 52-75     |       | 160,83  | 106,41  | 26,56  | 27,86  | 0,95  |
|   | Bw3       | 75-103+   |       | 143,68  | 80,2    | 31,54  | 31,94  | 0,58  |
|   |           |           | Total | 726,522 | 475,342 | 131,33 | 119,85 |       |
| <b>P2 - Cambissolo Húmico Distrófico típico - Floresta Alto-Montana - Relevo Montanhoso - 1658m</b>             |           |           |       |         |         |        |        |       |
| P2  | A         | 0-68      |       | 681,05  | 403,31  | 196    | 81,74  | 2,39  |
|   | AB        | 68-82     |       | 20,82   | 10      | 7,42   | 3,4    | 2,18  |
|   | BiC       | 82-113    |       | 73,51   | 42,1    | 10,63  | 20,78  | 0,51  |
|   | Bi        | 113-163+  |       | 80,75   | 48,2    | 2      | 30,55  | 0,065 |
|   |           |           | Total | 859,13  | 503,61  | 216,05 | 136,47 |       |
| <b>P3 - Neossolo Regolítico Humico típico - Escrubes e Campo com Candeia - Relevo Linha de Crista - 1.778 m</b> |           |           |       |         |         |        |        |       |
| P3  | A1        | 0-18      |       | 140,69  | 63,16   | 58,27  | 19,26  | 3     |
|   | AB        | 18-35     |       | 21,51   | 10,22   | 7,12   | 4,17   | 1,7   |
|   | Cr        | 35-110    |       | 9,57    | 6,36    | 2,11   | 1,1    | 1,91  |
|   |           |           | Total | 171,77  | 79,74   | 67,5   | 24,53  |       |
| <b>P4 - Cambissolo Húmico Distrófico típico - Escrubes e Campo de Altitude - Relevo Montanhoso - 1975m</b>      |           |           |       |         |         |        |        |       |
| P4  | A1        | 0-16      |       | 150,53  | 88      | 46,13  | 16,4   | 2,81  |
|   | A2        | 16-40     |       | 271,11  | 162,86  | 82,25  | 26     | 3,16  |
|   | AB        | 40-65     |       | 205,12  | 118,17  | 56,95  | 30     | 1,89  |
|   | Bi        | 65-75     |       | 37,51   | 20,84   | 5,24   | 11,43  | 0,46  |
|   | Cl        | 75-120    |       | 83,02   | 45,76   | 1,8    | 35,46  | 0,05  |
|   |           |           | Total | 747,29  | 435,63  | 192,37 | 119,29 |       |
| <b>P5 - Organossolo Háptico Hêmico típico - Campo de Altitude - Relevo Abaciado - 2379m</b>                     |           |           |       |         |         |        |        |       |
| P5  | A         | 0-9       |       | 118,16  | 67,7    | 42,3   | 8,16   | 5,18  |
|   | H         | 9-113+    |       | 1303,64 | 782,6   | 475,9  | 45,14  | 10,54 |
|   |           |           | Total | 1421,8  | 850,3   | 518,2  | 53,3   |       |
| <b>P6 - Cambissolo Húmico Distrófico típico - Campo de Altitude - Relevo Suave Ondulado Abaciado - 2632m</b>    |           |           |       |         |         |        |        |       |
| P6  | O         | 0-7       |       | 120,8   | 45      | 29,1   | 46,5   | 0,65  |
|   | A         | 7-24      |       | 158,2   | 21,7    | 34,6   | 101,9  | 0,34  |
|   | 2A        | 24-33     |       | 92,11   | 17,7    | 19,41  | 55     | 0,35  |
|   | BiC       | 33-75     |       | 115,26  | 42,6    | 37,2   | 35,46  | 1,05  |
|   | C         | 75-120+   |       | 75,03   | 34,7    | 18,14  | 22,19  | 0,81  |
|   |           |           | Total | 561,2   | 161,7   | 138,45 | 261,05 |       |
| <b>P7 - Neossolo Litólico Humico típico - Campo de Altitude - Relevo Suave Ondulado - 2.887 m</b>               |           |           |       |         |         |        |        |       |
| P7  | A1        | 0-21      |       | 157,07  | 72,53   | 60,54  | 24     | 2,52  |
|   | A2        | 21-27     |       | 33,99   | 12,78   | 14     | 7,21   | 1,94  |
|   |           |           | Total | 191,06  | 85,31   | 74,54  | 31,21  |       |

Soma-Total de Carbono no perfil; H-Carbono na fração humina; AF-Carbono na fração ácidos fúlvicos; AH-Carbono na fração ácidos húmicos; AH/AF-Relação entre ac.húmicos e ac.fúlvicos.

Os Neossolos Litólicos são os solos predominantes nos Campo de altitude, ocorrendo na forma de um horizonte A húmico diretamente assentado sobre a rocha. Como ocorre nos demais perfis, a fração húmica encontra-se alocada nos horizontes A, onde se tem a fração argila.

### 3.15. Estoque de Carbono

Os estoques de Carbono no solo variam de 228, 276 Mg/ha nas áreas de ocorrência do Neossolo Litólico Húmico distrófico a 1120,50 Mg/ha na unidade de mapeamento correspondente ao Organossolo Háplico Sáprico típico (Perfil 5), considerando-se todos os horizontes dos perfis representativos da topossequência. Em termos absolutos os maiores estoques totais por Unidades Geoambientais encontram-se nas Encostas Íngremes com colúvio profundo com 850.104,12 Mg/ha e Encostas Íngremes com colúvio raso com 634.803,60 Mg/ha. Em termos relativos, as áreas de turfeiras com Organossolo Háplico Sáprico típico são as mais representativas, com o acúmulo de mais de 1.120,50 Megagramas de carbono por hectare (Tabela 7).

Tabela 7. Estoque de Carbono por hectare e Unidades Geoambientais do Parque Nacional do Caparaó-MG

| Unidade Geoambiental                         | Área            |              | Carbono             |                  | Unidades de mapeamento (perfis de solos) |
|--|-----------------|--------------|---------------------|------------------|--|
|  | --- ha ---      | ---% ---     | Mg/Geoambiente      | Mg/ha            |  |
| Encostas íngremes com colúvio raso           | 2.780,6         | 41,92        | 634.803,60          | 228,276          | Neossolo Litólico Húmico distrófico      |
| Encostas íngremes com colúvio profundo       | 1.779,95        | 26,83        | 850.104,12          | 477,60           | Cambissolo Húmico Distrófico típico      |
| Vales Estruturais bem drenados entre Cristas | 1.102,75        | 16,62        | 359.940,91          | 326,403          | Cambissolo Húmido Distrófico típico      |
| Mosaico de Serras-Cristas e Pontões          | 368,55          | 5,53         | 84.131,12           | 228,276          | Neossolo Litólico Húmico distrófico      |
| Patamares Estruturais                        | 345,87          | 5,21         | 157.722,94          | 456,018          | Cambissolo Húmido Distrófico típico      |
| Encostas Montanhosas Ravinadas               | 153,45          | 2,31         | 125.675,55          | 819,00           | Latossolo Amarelo Distrófico húmico      |
| Escarpas Rochosas com Colúvio raso           | 87,8            | 1,32         | 20.042,63           | 228,276          | Neossolo Litólico Húmico distrófico      |
| Vales estruturais hidromórficos suspensos    | 4,25            | 0,06         | 4.762,13            | 1.120,50         | Organossolo Háplico Sáprico típico       |
| <b>Total</b>                                 | <b>6.623,22</b> | <b>99,80</b> | <b>2.237.183,00</b> | <b>3.884,349</b> |  |

ha-Área total da Unidade Geoambiental em hectare; Mg/Geoambiente- Megagramas de carbono por Unidade Geoambiental; Mg/ha - Megagramas de carbono por hectare.

#### 4. CONCLUSÕES

A fitofisionomia e a tipologia da vegetação encontrada no Parna Caparaó, nas diferentes unidades geoambientais são condicionadas pela posição na paisagem (controle estrutural), disponibilidade de água, oligotrofismo e profundidade do solum. A profundidade dos horizontes A e B do solo e a fitofisionomia da vegetação associadas são os melhores indicadores de ambientes, uma vez que todos os perfis amostrados mostram uma pobreza química generalizada, herdada do saprolito.

Nos Escrubes e Campo com Candeias, o oligotrofismo, solos mais rasos e a posição mais exposta na paisagem são obstáculos para a ocorrência de uma tipologia florestal mais densa.

Nos vales estruturais com ambiente hidromórfico e baixas temperaturas (altitude), ocorrem Organossolos.

Os teores de nutrientes baixos, mas relativamente maiores nos horizontes superficiais, e a pobreza química nos horizontes subsuperficiais revelam a extrema importância dos mecanismos de ciclagem em todos os ambientes do Parna Caparaó, onde a matéria orgânica (colóides orgânicos da fração humificada) constitui elemento essencial de resiliência.

Em razão da intensa precipitação há uma diferença entre intemperismo e pedogênese formando solos rasos (Neossolos Litólicos), pobres quimicamente, apresentando caráter ácrico e mineralogia gibbsítica no saprolito. Há a coexistência de solos rasos sobre substratos com grau de intemperismo muito elevado.

O acúmulo de carbono nos solos é influenciado pelas temperaturas mais baixas, pelo oligotrofismo e a presença de  $Al^{3+}$ , criando um ambiente de reduzida decomposição e complexação da matéria orgânica no solo (MOS). A distribuição do carbono ao longo dos perfis representativos está relacionada a características pedogeomorfológicas, qualidade da matéria orgânica e posição na paisagem.

Entre as frações húmicas, a humina predomina em todos os horizontes A dos perfis representativos do Parna Caparaó, com exceção dos horizontes Bw2 e Bw3 do Latossolo, este atrelado à estabilidade desta fração promovida por organismos do solo que atuam na incorporação da matéria orgânica em agregados mais estáveis.

Através do fracionamento quantitativo das substâncias húmicas, foi possível observar amostras com alto grau de humificação como nas áreas de turfeiras com Organossolo Háptico Sáprico típico, evidenciando a importância dos ambientes altomontanos na imobilização do carbono no solo, com valores que alcançam 1120,50 Mg por hectare.

Os resultados da micromorfologia revelaram a ocorrência de uma rede de micro-estruturas (micro-fraturamentos/diáclases) responsáveis pela recarga das águas mais profundas e pela quebra química (intemperismo) dos minerais que compõem a litologia da área estudada. Esta situação que pode ser evidenciada no P2 (Cambissolo Húmico Distrófico típico), com grãos de quartzo apresentando forte corrosão poligonal.

Outro fato importante atrelado à presença dessas micro-fraturas (atuação de águas profundas), que condicionam o intemperismo, está na formação de blocos/matacões expostos nas entostas do Parna Caparaó.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. **Origem e evolução da plataforma brasileira. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia**, Rio de Janeiro, n.241, p.1-36, 1967.
- ALVAREZ V.; V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. **Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.25, p.27-32, 2000.
- BATJES, F.E. **The organic matter content of soils. In: Soils of the World. European Journal of Soils Science**. 47: 151-163.
- BENITES, V.M et al. **Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. Revista Brasileira de Botânica**, v.30, n.4, p.569-577, 2007.
- BENITES, V.M, SCHAEFER, C.E.G.R., MENDONÇA, E.S. e MARTIN NETO, L. **Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. Rev. Bras. Ci. Solo**, 25: 661-674, 2001.
- BENITES, V.M., KER, J.C. e MENDONÇA, E.S. **Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas como auxiliar na identificação de diferentes solos da região Sul do Brasil – VI RCC**. p.184-192, In Curcio et al.(Eds.).Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. EMBRAPA Florestas, Colombo, 2000.

- BERTRAND, G. **Écologie d'un Espace Géographique: lês Géosystèmes du Valle de Prioro. Espace Géographique**, 1972.
- BRADE, A.C. **Excursão à Serra do Caparaó. Relatório apresentado à Diretoria do Serviço Florestal Brasileiro**, 1941. 22p.
- BRANDÃO, P.C.; SOARES, V.P.; SIMAS, F.N.B; SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, A.L.; MENDONÇA. B.A.F. **Caracterização de geoambientes da floresta nacional do Purus, Amazônia ocidental: uma contribuição ao plano de manejo**. R. *Árvore*, Viçosa-MG, v.34, n.1, p.115-126, 2009.
- CAIAFA, A.N.; SILVA, A.F. **Composição florística e espectro biológico de um campo de altitude no Parque Estadual do Brigadeiro**, Minas Gerais – Brasil.
- CPRM. **Geologia da folha Espera Feliz. Programa Geologia do Brasil: Levantamentos geológicos básicos**. Espera Feliz. 70p. 2007.
- CURI, N.; KAMPF, N.; MARQUES, J.J. **Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros**. In Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Patafos, 2005. p. 71-91.
- DAVIES, R.I.; COULSON, C.B.; LEWIS, D.A. **Polyphenols in plant humus and soil: 3. J. Soil Sci.**, London, v.15, p.299-309, 1964.
- DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo**. 2ª. ed. Viçosa, MG: UFV, 1997. 26p. (Boletim de extensão, 29).
- DIAS, H.C.T; FILHO, E.I.F; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, L.E.F.; VENTORIM, L.B. **Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca, município de LIMA DUARTE-MG**. R. *Árvore*, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.777-786, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos e análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997, 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: 306p, 2ªed. 2006.
- IBAMA. 1997. Brasil: Parques Nacionais. São Paulo: **Empresa das Artes, Brasília: Ministério do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal**.
- LANI, J.L.; REZENDE, S.B.; RESENDE, M. **Estratificação de Ambientes com base nas classes de solos e outros atributos na Bacia do rio Itapemirim: Espírito Santo**. Ceres, Viçosa-MG: v.48, p239-262, 2001.
- MARTIN, J.P.; ZUNINI, H.; PEIRANO.; CAIOZII, M; HAIDER, K. **Decomposition of 14C-Labelledlignins, model humic acid polymers, and fungal malanins em allophonic soil. Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v14, p. 289-293,1982.

- MARTINELLI, G. **Mountain biodiversity in Brazil**. Revista Brasileira de Botânica, v.30, n.4, p.587-597, 207.
- MAZINE, F. F.; SOUZA, V.C. **Myrtaceae dos Campos de Altitude do Parque Nacional do Caparaó** – Espírito Santo/Minas Gerais, Brasil. ESALQ/USP, Herbário ESA, Av. Pádua Dias, 11, C.P. 9, 13418-900, Piracicaba, SP.
- MENDONÇA, E.S. **Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de latossolos**. R. Bras. Ci. Solo. 19: 25-30, 1995.
- MENDONÇA, E.S.M. & MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Vicososa: UFV, 2005.107 p.
- MIKLÓS, A.A.W. **Biodynamique d'une couverture pédologique dans la région de Botucatu, Brésil**. Doctorat thesis, Université Paris VI, France. 1992.
- MUNSELL. **Soil Color Charts**. Maryland: 1994.
- OADES, J.M. **The retention of organic matter in soils**. Biogeochem.5: 35-70, 1988.
- OLIVEIRA, P.E. et al. **Paleovegetação e Paleoclimas do Quaternário do Brasil**, p.52-74. In: Quaternário do Brasil, ed. EDUSP, Ribeirão Preto. 379p.
- RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais: Folhas SF23/24 Rio Janeiro/Vitória; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1983. 780p.
- RIBEIRO, K.T.; MEDINA, B.M.O; SCARANO, F.B. **Species composition and biogeographic relations of the rock outcrop flora on the high plateau of Itatiaia, SE-Brazil**. Revista Brasil. Bot., v.30, n.4 p.623-639, out.-dez. 2007.
- RICCOMINI, C. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP, 256p, 1989.
- RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos sociológicos e florísticos**. São Paulo: EDUSP, 1997. 747p.
- RUIZ, H.A. **Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila)**. R. Bras. Ci. Solo, 29: 297-300, 2005.
- SCHAEFER, C.E.G.R. **Ecogeography and humans cenário**. São Paulo: Ciência e cultura, v.49. p. 241-252. 1997.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C.; GILKES, R.J.; CAMPOS, J.C.; DA COSTA, L.M.; SAADI, A. **Pedogenesis on the uplands of the Diamantina plateau, Minas Gerais, Brazil : a chemical and micropedological study**. Geoderma, 2001.

- SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B. **Elementos do meio físico e a gestão de Unidades de Conservação**, p.12-15. In: Plano de Manejo para Unidades de Conservação: Elaboração, Desafios e Aplicações, Revista Ação Ambiental, ed. UFV, Viçosa-MG. ano X, 2007.
- SIMAS, F.N.B. et al. **Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil**. Geoderma 125, p.187-201,2005.
- SOTCHAVA, V.B. **Définition de Quelques Notions et Termes de Géographie Physique**. Dokl. Institute de Géographie de la Sibérie et Extrême Orient, 1962.
- SOTCHAVA, V.B. **O Estudo de Geossistemas. Métodos em Questão**. São Paulo: ed. IG – USP. p.1-52, 1977.
- TRICART, J. & KIEWIETDEJONGE, C. **Ecogeography and Rural Management**. Harlow, Longman Group, 1992.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R. & LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro: 1991. 123p.
- VOLKOFF, B.; MELFI, A.J.; CERRI, C.C. **Solos podzólicos e cambissolos eutróficos do alto rio Purus (Estado do Acre)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.13, n.3, p. 363-372, 1989.
- YEOMANS, J.C. e BREMNER, J. M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil**. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 19(13): 1467-1476.1998.

## **CAPÍTULO II**

### **GEOAMBIENTES DA PORÇÃO MINEIRA DO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA**

#### **RESUMO**

Há uma lacuna nas pesquisas sobre os geoambientes altimontanos no Parque Nacional do Itatiaia, e, nesse sentido, o presente trabalho objetivou caracterizar uma topossequência de solos representativos na porção mineira do Parque Nacional do Itatiaia, bem como caracterizar e mapear as unidades geoambientais. Os solos estudados, independentemente do substrato litológico, da profundidade do perfil e da fitofisionomia de ocorrência, apresentam elevados teores de matéria orgânica, acidez elevada e oligotrofismo, com destaque para os Organossolos, Neossolos Litólicos Húmicos e Cambissolos Húmicos. Alguns solos encontrados nestes ambientes altimontanos mostram características peculiares, em função do material de origem sienítico e clima, e sua preservação é estratégica por se tratar de solos de ocorrência muito restrita na paisagem brasileira. Foram estudados os atributos físicos, químicos e mineralógicos de quatro perfis de solos, relacionando-os com a pedogênese nas diferentes unidades geoambientais. Foram identificadas, mapeadas e caracterizadas sete unidades geoambientais do Parna Itatiaia. A formação dos solos Altimontanos do Itatiaia é mais influenciada pela litologia, pela cobertura vegetal e declividade (posição na paisagem). A vegetação florestada (Floresta Montana e Alto-Montana) está associada à maior profundidade do solo e disponibilidade de água (posição e geofoma da paisagem). Os geoambientes de cotas mais elevadas possuem tipos de vegetação bem particulares, representando áreas de refúgio ecológico. A vegetação encontrada no Parna Itatiaia ocorre como um complexo altimontano, com fitofisionomias variadas, compreendendo desde Campos de Altitude, Escrubes com Candeias até Florestas Ombrófilas. A matéria orgânica dos solos apresenta alto grau de humificação. O fracionamento do carbono em substâncias húmicas evidenciou a

presença dominante da fração húmica nos solos do Parque Nacional do Itatiaia-MG. Com base nos cálculos de estoque de carbono foi possível evidenciar a importância dos solos do Parna Itatiaia na imobilização de carbono, com valores superiores a 400 Mg por perfil.

Palavras-chave: Pedogênese, pedoambientes, endemismo, podzolização.

## 1. INTRODUÇÃO

Para compreender a diversidade, presença ou ausência dos seres vivos na superfície do planeta é preciso que se levem em conta as condições ambientais presentes e pretéritas, e os fatores que atuaram e que influenciaram a formação do habitat atual e a distribuição dos seres vivos. A formação do meio físico é um processo dinâmico. Durante a história da Terra, a superfície do planeta sofreu importantes transformações climáticas e pedogeomorfológicas, que resultaram no surgimento de ambientes com características bem peculiares. (OLIVEIRA et al., 2005).

O estado de Minas Gerais possui uma grande variedade de solos, com diferentes características físicas e químicas, resultantes de processos diferenciados, em razão das condições climáticas e geomorfológicas de cada local, bem como do material de origem e das interações com a biota. Essa grande diversidade de solos permite identificá-los também como responsável pela distribuição e diversidade de seres vivos (PEREIRA & ALMEIDA, 1996).

Neste sentido, os ambientes altimontanos do Parna Itatiaia apresentam uma diversidade de paisagens associadas aos controles litoestruturais, posição topográfica e cobertura vegetal e solos revelando endemismos e riqueza florística. A formação dos solos em ambientes altimontanos é mais influenciada pelos elementos climáticos, do relevo (declividade, posição na paisagem), da geologia e cobertura vegetal.

No Parna Itatiaia, além da biodiversidade, ocorrem grandes diferenças edafo-climáticas associadas às variações topográficas, definindo tipos de vegetação bem particulares, consideradas genericamente como refúgios ecológicos. A vegetação encontrada nestas áreas foi originalmente classificada como "Campo de Altitude" (VELOSO et al., 1991 e RIZZINI, 1997). Os Campos de Altitude ocorrem nas altitudes mais elevadas (acima de 1.700 m) no Parna

Itatiaia, sendo desenvolvidos sobre solos rasos, ricos em MO como os Neossolos Litólicos Húmicos ou Organossolos, e todos quimicamente muito pobres (DIAS et al 2002; SCHAEFER e SIMAS, 2007 e BRANDÃO et al. 2009).

O presente trabalho buscou caracterizar e mapear as Unidades Geoambientais, além de gerar informações sobre a gênese dos solos altimontanos da porção mineira do Parque Nacional do Itatiaia, que conserva uma das mais ricas biodiversidades da fachada atlântica brasileira.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Localização da Área de Estudo e Características Gerais**

O Parque Nacional do Itatiaia situa-se na região sudoeste do Estado do Rio de Janeiro, em terras dos municípios de Resende e Itatiaia; e ao sul de Minas Gerais, onde abrange os municípios de Bocaina de Minas e Itamonte. Localiza-se entre as coordenadas, 44°34'e 44° 42'W e 22°16' e 22°28'S (Figura 1). A importância da região é devida, em parte, à presença de elevações do Planalto do Itatiaia, onde o Pico das Agulhas Negras com 2.787 m de altitude é o quarto ponto mais alto do Brasil. Outros picos, como a Pedra do Couto, com 2.682 m e as Prateleiras, com 2.515 m, também se destacam no planalto. Além do patrimônio biótico e geomorfológico, o Parque Nacional do Itatiaia tem grande relevância por ser o primeiro parque criado no Brasil, pelo Decreto Federal nº 1.713, de 14 de junho de 1937 (IBDF, 1982).

O maciço do Itatiaia é uma das partes expostas dos maciços montanhosos que se elevaram acima do platô granito-gnáissico dissecado da Serra da Mantiqueira. Segundo Lamago (1938) e Gauttieri e Toledo (1996), o maciço pode ter surgido entre o Cretáceo Superior (73 milhões de anos) e o Eoceno (66 milhões de anos).

O maciço do Itatiaia pertence à série de alinhamentos de maciços subvulcânicos alcalinos, que se estende desde Poços de Caldas até Cabo Frio, com idades entre o Cretáceo superior e o início do Terciário (Figura 2). Constitui-se de rochas alcalinas intrusivas e encontra-se no contexto da

unidade morfoestrutural da Serra da Mantiqueira (GAUTTIERI e TOLEDO, 1996).

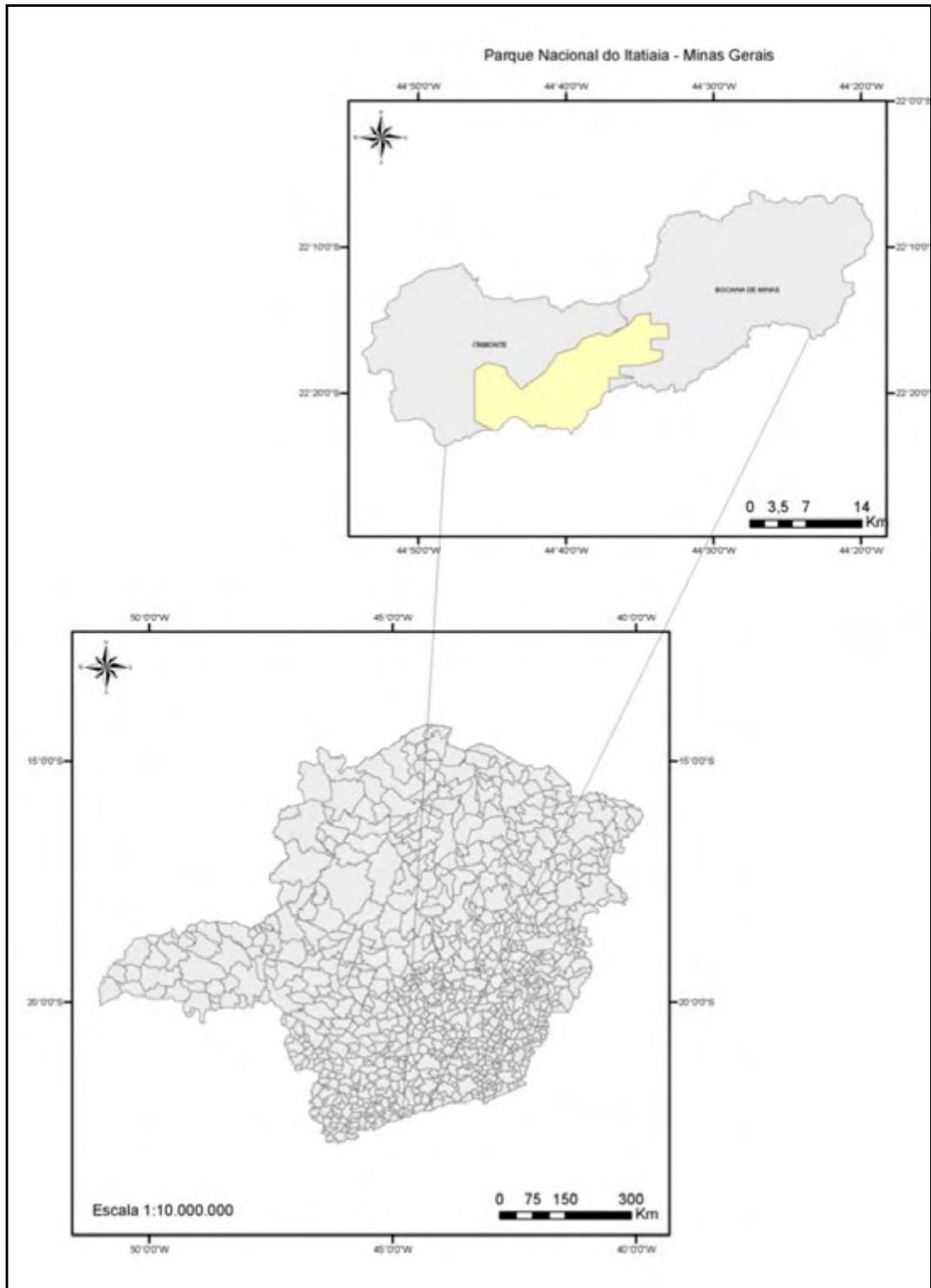


Figura 1. Localização do Parque Nacional do Itatiaia no estado de Minas Gerais.

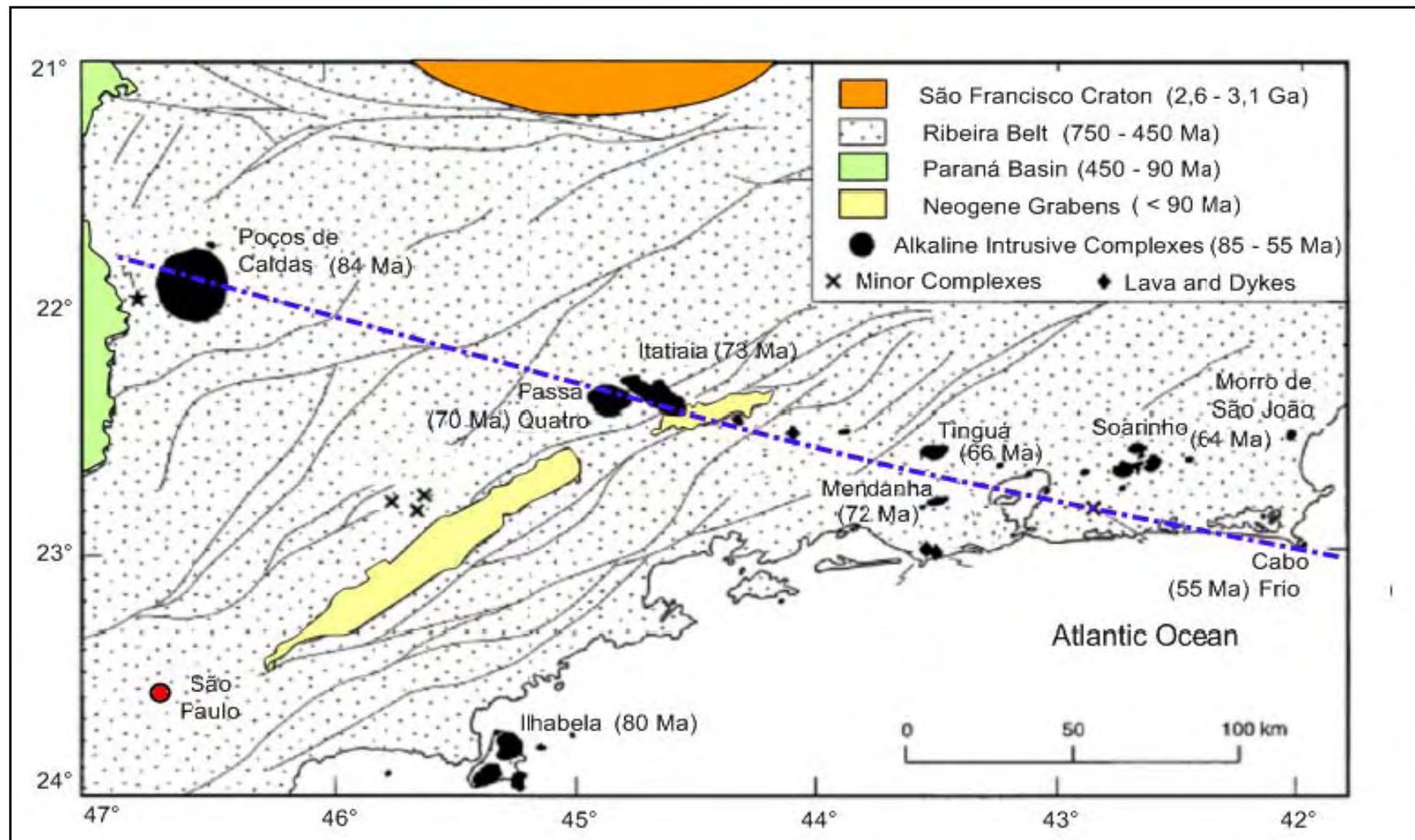


Figura 2. Maciços Alcalinos no Sudeste Brasileiro. Fonte: GAUTTIERI e TOLEDO, 1996.

Soerguido desde o Cretáceo superior e o início do Terciário, este maciço corresponde a uma das superfícies mais altas dos blocos montanhosos do Atlântico Brasil, formando campos altimontanos (GAUTTIERI e TOLEDO, 1996).

A paisagem é caracterizada por rochas plutônicas hipoabissais alcalinas, com cumes e encostas inclinadas no interior do platô (Aguilhas Negras 2.787 m, Pedra do Altar 2.661 m, Prateleiras 2.515 m) ou nas suas bordas (Ribeirão das Flores, rios Aiuruoca e Preto).

O Platô do Itatiaia é um exemplo de paisagem dissecada por processos erosivos intensos caracterizados por estreita ligação entre a estrutura das rochas e as características do relevo. O modelado do alto do maciço do Itatiaia oferece aspectos particulares em que ressaltam os sulcos e caneluras dos residuais de sienito, encostas semeadas de blocos rochosos. Nas depressões úmidas e turfeiras de altitude hidromórficos encontram-se os Organossolos. (GAUTTIERI e TOLEDO, 1996).

As causas da elevada altitude dessa região têm sido atribuídas à maior resistência das rochas alcalinas aos processos de alteração e erosão, e aos processos combinados de soerguimento e abatimento tectônico que vêm atuando na região desde o fim do Cretáceo, e que foram responsáveis pela formação das Serras da Mantiqueira e do Mar, bem como das bacias sedimentares de Resende e Taubaté, nos blocos rebaixados. (ALMEIDA, 1967).

Segundo a classificação de Köppen-Geiger (1936) o clima do Itatiaia é do tipo:

a) Cwb - mesotérmico, com verão brando e estação chuvosa no verão, para as áreas mais elevadas, acima dos 1600 metros de altitude.

b) Cpb - mesotérmico, com verão brando sem estação seca, nas partes baixas das encostas da serra.

A transição climática dessa região se inclina mais para os climas tropicais do que para os temperados. Tem como característica climática mais importante o caráter estacional de precipitação, determinando uma estação chuvosa e outra seca (BRADE, 1956).

No Parna Itatiaia registram-se chuvas intensas, principalmente no verão, registrando-se precipitação média anual em torno de 2400 mm no Planalto e 1700 mm na parte inferior do maciço. O mês de mais chuvas é janeiro, com

média de 27 dias de chuva e 388 mm de pluviosidade. Do fim de abril ao início de outubro, as chuvas são muito escassas, proporcionando um inverno pobre em chuvas. Em agosto, de um modo geral, ocorrem em média 8 dias de chuva e 58 mm de pluviosidade. Nos meses de junho e julho a umidade relativa do ar não ultrapassa 70% em média. (BRADE, 1956).

Segundo observações do posto de meteorologia localizado no Planalto a 2.180 m, a temperatura média é de 11,4°C, sendo o mês mais quente Janeiro, que tem uma média de 13,6°C. Julho é o mês mais frio, com 8,2° C, com uma amplitude anual de 5° C.

## **2.2. Estratificação das Unidades Geoambientais**

Para a estratificação do meio físico em Unidades Geoambientais, foram avaliados os aspectos pedo-geomorfológicos conforme BERTRAND (1972); SOTCHAVA (1977); TRICART e KIEWIETDEJONGE (1992), aplicados no Brasil por SCHAEFER (1997), DIAS et al (2002) e BRANDÃO et al (2009). Foram agrupadas sob uma mesma denominação áreas com características similares em relação aos atributos avaliados, sendo identificadas e descritas as características representativas e problemas geoambientais associados.

Para isso, foram utilizadas cartas do IBGE em escala 1:100.000, imagem Landsat com data de 30/06/2009, Projeção (Universal Transversa de Mercator Datum Horizontal SAD-69, Zona 24 Sul). A informação geológica foi baseada no Projeto RADAMBRASIL, 1983 ajustada por observações de campo. Para a digitalização dos mapas de localização da área, de geologia, de altimetria, de declividade, de vegetação, de classes de solos e Unidades Geoambientais, foram utilizados os programas Arc-Info e Arc-View 9.3 do laboratório de geoprocessamento do Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra - NEPUT da Universidade Federal de Viçosa. Após percorrer a área de estudo, foram abertos quatro perfis de solos representativos de acordo com as feições pedogeomorfológicas e identificadas sete Unidades Geoambientais, com observações pedológicas complementares. Para caracterização e classificação dos solos, procedeu-se à descrição morfológica dos perfis e a coleta de amostras, encaminhadas para análises físicas e químicas (EMBRAPA, 1997) e mineralógicas (CHEN, 1977; BRINDLEY e BROWN 1980 e RESENDE et al. (2005). A tipologia vegetal encontrada foi classificada segundo VELOSO (1991).

O local onde foram coletadas as amostras de solos dos perfis foi georreferenciado com uso de GPS (*Global Positioning System*) de navegação.

### **2.3. Levantamento Esquemático dos Solos e Coleta de Amostras**

O levantamento esquemático de solos foi realizado com base nas características das pedopaisagens do Parna Itatiaia. Abriram-se quatro perfis nas unidades geoambientais descritas, com o intuito de se entender melhor os processos de formação em cada ambiente, formando uma topossequência representativa da paisagem altimontana. Foi procedida a coleta de amostras de solo para análises físicas, químicas e mineralógicas. A cor do solo foi determinada em amostras de TFSA, utilizando a caderneta de Münsell.

Os solos representativos de cada ambiente foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SIBCs (EMBRAPA, 2006).

### **2.4. Análises Físicas e Químicas dos Solos**

#### **2.4.1. Análises Físicas**

As amostras de solos coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, obtendo-se, desta maneira, a terra fina seca ao ar (TFSA), que foi submetida a análises de acordo com os métodos padrões descritos por EMBRAPA (1997).

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta de acordo com EMBRAPA (1997), porém, com utilização de agitação lenta de 50 rpm por 16 h (RUIZ, 2005) e determinação de silte por pipetagem (RUIZ, 2005), e não por diferença.

#### **2.4.2. Análises Químicas**

As análises na TFSA foram realizadas como descritas abaixo: pH em água e em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (1:2,5), cálcio, magnésio e alumínio trocáveis extraídos com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. O cálcio e o magnésio foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, e o alumínio por titulação com solução NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>, enquanto o potássio

e sódio trocáveis foram extraídos com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e quantificados por fotometria de chama. A acidez potencial (H + Al) foi extraída com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> ajustada a pH 7,0, e determinada por titulação com solução de NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup> quantificados por fotometria de chama. A acidez potencial (H + Al) foi extraída com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> ajustada a pH 7,0, e determinada por titulação com solução de NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. O fósforo foi extraído com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>+ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>(Mehlich-1), e determinado por colorimetria. Os procedimentos de extração e quantificação foram realizados, conforme os métodos descritos e aplicados rotineiramente na UFV (DEFELIPO & RIBEIRO, 1997). O carbono orgânico total foi determinado pelo método de Walkley- Black, com oxidação da matéria orgânica, por via úmida, com dicromato de potássio 0,1667 mol L<sup>-1</sup> sem aquecimento (EMBRAPA 1997). A titulação foi realizada com sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol L<sup>-1</sup> (DEFELIPO & RIBEIRO, 1997).

O fósforo remanescente (P-rem) foi determinado conforme DEFELIPO & RIBEIRO, 1997; ALVAREZ et al., 2000, com determinação em espectrofotômetro (comprimento de onda de 725 nm).

## **2.5. Ataque Sulfúrico**

Para a determinação dos teores de silício (SiO<sub>2</sub>), ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), titânio (TiO<sub>2</sub>) e fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), as amostras de TFSA foram colocadas em contato com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1 (volume), aquecendo-se por uma hora a 170°C e, após isto, resfriamento, diluição e filtração. No resíduo, determinou-se a sílica e, no filtrado, os demais óxidos por espectrometria de emissão em plasma (ICP-AES) (EMBRAPA, 1997). De posse dos dados, foram calculadas as relações moleculares Ki e Kr (EMBRAPA, 1997).

## **2.6. Análises Mineralógicas**

Com o objetivo de retirar interferências (MO) na amostra de solo, foi realizado pré-tratamento, por meio de processo de oxidação da matéria orgânica utilizando hipoclorito de sódio (NaClO) e extração das formas de ferro

amorfo e cristalino, utilizando-se o citrato-ditionito (Fed) e o oxalato de amônio (Feo), respectivamente.

Após o pré-tratamento do solo, para as análises mineralógicas no difratograma de raios-X, foram separadas as frações areia (2,0-0,005 mm, silte (0,05-0,002 mm) e argila (< 0,002 mm). Através da dispersão de 20 g de TFSA com água, hidróxido de sódio (50 mL – 0,5 mol/L) e agitação por 5 minutos, as amostras foram passadas por peneira com malha de 0,053 mm para separação da fração areia. Em seguida, As frações silte e argila que passaram pela peneira, foram separadas por sedimentação, segundo lei de Stokes.

A fração argila obtida foi então seca em estufa com temperatura de 60°C. As argilas de todos os perfis amostrados foram preparadas em lâminas de vidro sob a forma de películas orientadas, através da técnica do “esfregaço”, de modo que os minerais sejam orientados para facilitar o diagnóstico dos picos difratométricos dos minerais”.

Após a preparação das lâminas, a análise mineralógica da fração argila dos solos foi realizada por meio de difratometria de raios-X, que permitiram a identificação dos minerais contidos nas amostras. Os difratogramas foram interpretados de acordo com CHEN (1977), BRINDLEY e BROWN (1980) e RESENDE et al. (2005).

## **2.7. Fracionamento Quantitativo das Substâncias Húmicas**

Foram utilizadas amostras dos horizontes dos perfis da topossequência para o fracionamento quantitativo das substâncias húmicas. O teor de cada fração húmica foi determinado em Triplicatas, em todas as amostras, segundo a técnica de fracionamento quantitativo de substâncias húmicas adaptado por Benites et al. (2001). Em seguida, iniciou-se o fracionamento, evitando superestimar as quantidades da fração húmica. Assim, a partir da técnica de diferença de solubilidade em álcali e ácido, foram separadas as frações: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e húmica (H), método adaptado de Swift (1996) (MENDONÇA & MATOS, 2005). Para a extração das frações foi utilizada uma solução de NaOH de 0,1 mol.L<sup>-1</sup>, com a relação solo:extrator de 1:10, em um tempo de contato de 24 horas. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 3.000 g (FCR média) por 20 min, separando o resíduo do extrato alcalino (EA). O resíduo foi levado para estufa a 45°C e reservado para

determinação do carbono. O EA teve o pH ajustado para  $2,0 \pm 0,1$  com solução aquosa de  $H_2SO_4$  20% e, após 12 h de repouso, foi centrifugado a 3.000 g (FCRmédica) por 5 min. O sobrenadante, com a fração AF, foi transferido para frascos de vidro e aferido o volume para 45 mL com água destilada. Ao precipitado retido no tubo (AH), completou-se o volume para 45 mL de NaOH  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ . Para a determinação do carbono na forma de humina e dos extratos das frações AH e AF, utilizou-se a metodologia de YEOMANS & BREMNER (1988).

## 2.8. Estoques de Carbono no Solo

Os valores de carbono total nos solos e das Unidades Geoambientais na porção mineira do Parna Itatiaia foram estimados, adaptando-se a metodologia utilizada por BATJES (1996) para o cálculo do carbono total dos solos do mundo. Segundo este autor, o cálculo do estoque de carbono nos solos passa primeiramente pela determinação dos teores no perfil segundo a fórmula abaixo:

$$E_{C_{\text{prof.}}} = [(\sum d_{si} \times COT_i \times H_i)]. 100$$

onde:

$E_{C_{\text{prof.}}}$  = Estoque de carbono orgânico total (em  $Mg/ha^{-1}$ ), à uma profundidade (cm);

$d_{si}$  = densidade do solo na camada  $i$  ( $g \text{ cm}^{-3}$ );

$COT_i$  = teor de COT ( $g \text{ C g}^{-1}$ ) na camada  $i$ ;

$H_i$  = espessura da camada  $i$ ;

No presente trabalho, utilizou-se a seguinte escala de valores de densidade do solo, com base em determinações de laboratório:

1 - Horizonte O =  $0,4 \text{ g cm}^3$

2 - Horizontes Húmicos =  $0,6 \text{ g cm}^3$

3 - Horizontes Bi ou Cg =  $0,9 \text{ g cm}^3$

4 - Horizontes C e Cr =  $1,2 \text{ g cm}^3$

Com base no estudo do gradiente pedológico e nas características pedo-geomorfológicas de cada Unidade Geoambiental, calculou-se o de estoque de C em cada Geoambiente. Mutiplicou-se o teor de carbono total de cada unidade de mapeamento (associação de solos) representativa da

topossequência, chegando a um valor absoluto de estoque de carbono por Unidade Geoambiental e na área total dos Geoambientes.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Maciço Alcalino do Itatiaia: Aspectos Geomorfológicos**

Com base na associação de critérios morfológicos e tectônicos, Saadi (1991) propôs uma compartimentação morfo-estrutural da região sul de Minas Gerais, incluindo duas unidades que abrangem a Serra da Mantiqueira:

- Escarpa meridional da Mantiqueira;
- Blocos da Serra da Mantiqueira: Planalto de Campos de Jordão e os Maciços Alcalinos de Passa Quatro e Itatiaia.

A escarpa meridional é justamente o limite leste da Serra da Mantiqueira, de direção E-NE. Os blocos citados incluem um agrupamento de serras alongadas com direção S-SN N-NE, e apresentam-se basculados para NE ou NW.

O maciço do Itatiaia, juntamente com o Maciço do Passa Quatro situam-se na porção sul da Serra da Mantiqueira. O Itatiaia possui forma alongada com direção NW e área de 191 km<sup>2</sup> e o Maciço do Passa Quatro possui forma circular e área de 212 km<sup>2</sup> (RODRUGUES, 1981).

Segundo Rodrigues (1981), a morfologia e drenagem do Maciço do Itatiaia sofrem influência direta do controle litoestrutural. Os falhamentos E-NE seriam os responsáveis pelos grandes traços do relevo como as cristas enquanto os diaclasamentos de direção N-NW ou E-W condicionariam as feições mais pontuais do relevo (microestruturas) (PENALVA, 1967). A macromorfologia (macroestruturas) indica, em sua maior parte, condições de alta energia, com sucessão de cristas de direção E-NE e vertentes íngremes, escarpas e paredões. Estas formas são mais típicas no interior do Maciço, onde a ocorrência de quartzo-sienito condiciona a presença de um relevo (morfologia) mais resistente à ação climática. Em compartimentos mais isolados, principalmente na borda centro-oeste da área estudada, ocorrem platôs de topos mais suavizados.

Analisando-se a morfologia local (feições-relevo), percebe-se que não apenas o fator estrutural condiciona a morfodinâmica do Maciço do Itatiaia. A

frente de intemperismo guiada pelas fraturas e um sistema de diáclases é responsável por um cenário variável em formas e tamanhos. Ocorrem desde campos de Matações (tors) com caneluras superficiais, marmitas (Figuras 3 e 4), até escarpas íngremes. As marmitas constituem depressões arredondadas na superfície das rochas, originadas devido à dissolução promovida pelos ácidos orgânicos liberados da vegetação incipiente, que se acumula localmente.

O intemperismo esferoidal é responsável pela gênese dos matações de diferentes tamanhos encontrados ao longo das encostas na porção mineira do Parna Itatiaia. O processo ocorre devido ao isolamento de núcleos rochosos pouco fundilhados, a partir da decomposição da rocha adjacente, através da percolação da água por entre as falhas e fraturas. Com a retirada do manto decomposto entre-blocos, estes são liberados e movem-se gradualmente ao longo das encostas do Itatiaia.



Figura 3. Caneluras como resultado do intemperismo biogeoquímico a 2.470 m, no Itatiaia (RODRIGUES, 2008).



Figura 4. Formação de Marmitas (depressões arredondadas na superfície das rochas), com biofilme de cianobactérias e bordas com musgos (Rodrigues, 2008).

Os anfiteatros encontrados ao longo das baixas vertentes do Parna Itatiaia demonstram a evidência de várias cicatrizes de deslizamentos. Estes movimentos de massa estão associados aos eventos climáticos extremos ou a episódios de soerguimento do Maciço. Com a brusca alteração do gradiente das vertentes, ocorreriam desmoronamentos e deslizamentos que originariam os anfiteatros e suavizariam as bordas dos vales. A drenagem, subitamente transformada, tornar-se-ia totalmente desorganizada, havendo desvios e capturas fluviais, além do represamento devido a soleiras estruturais. Os vales seriam rapidamente entulhados por depósitos oriundos dos próprios cursos d'água e dos movimentos de massa. Estes processos ocasionam o aparecimento de ambientes pantanosos com várzeas e charcos, além da formação de solos Orgânicos/turfeiras (Figura 5) (PENALVA, 1967).



Figura 5. Ambientes pantanosos com Organossolos associados ao represamento da drenagem com os eventos tectônicos de soerguimento do Maciço do Itatiaia.

### **3.2. Unidades Geoambientais**

A metodologia utilizada para identificação das Unidades Geoambientais permitiu separar sete geoambientes na porção mineira do Parna Itatiaia, conforme pode ser observado no mapa (Figura 6).

Estas Unidades foram caracterizadas de acordo com suas características pedo-geomorfológicas e seus atributos (Tabela 1).

#### **3.2.1. Encostas Íngremes com Colúvio com Predominância de Neossolo Litólico**

Esta unidade geoambiental constitui a de maior extensão com 61,85% (9.966,80 ha), a cobertura vegetal é representada pelo Campo de Altitude. Apesar de mostrar uma paisagem relativamente homogênea sem grandes variações (Figura 7), através de observações mais detalhadas pode-se observar uma diversidade de geótopos, ou seja, a menor unidade homogênea diretamente visualizada no terreno, representando o refúgio de biocenoses originais por vezes relictuais ou endêmicas.

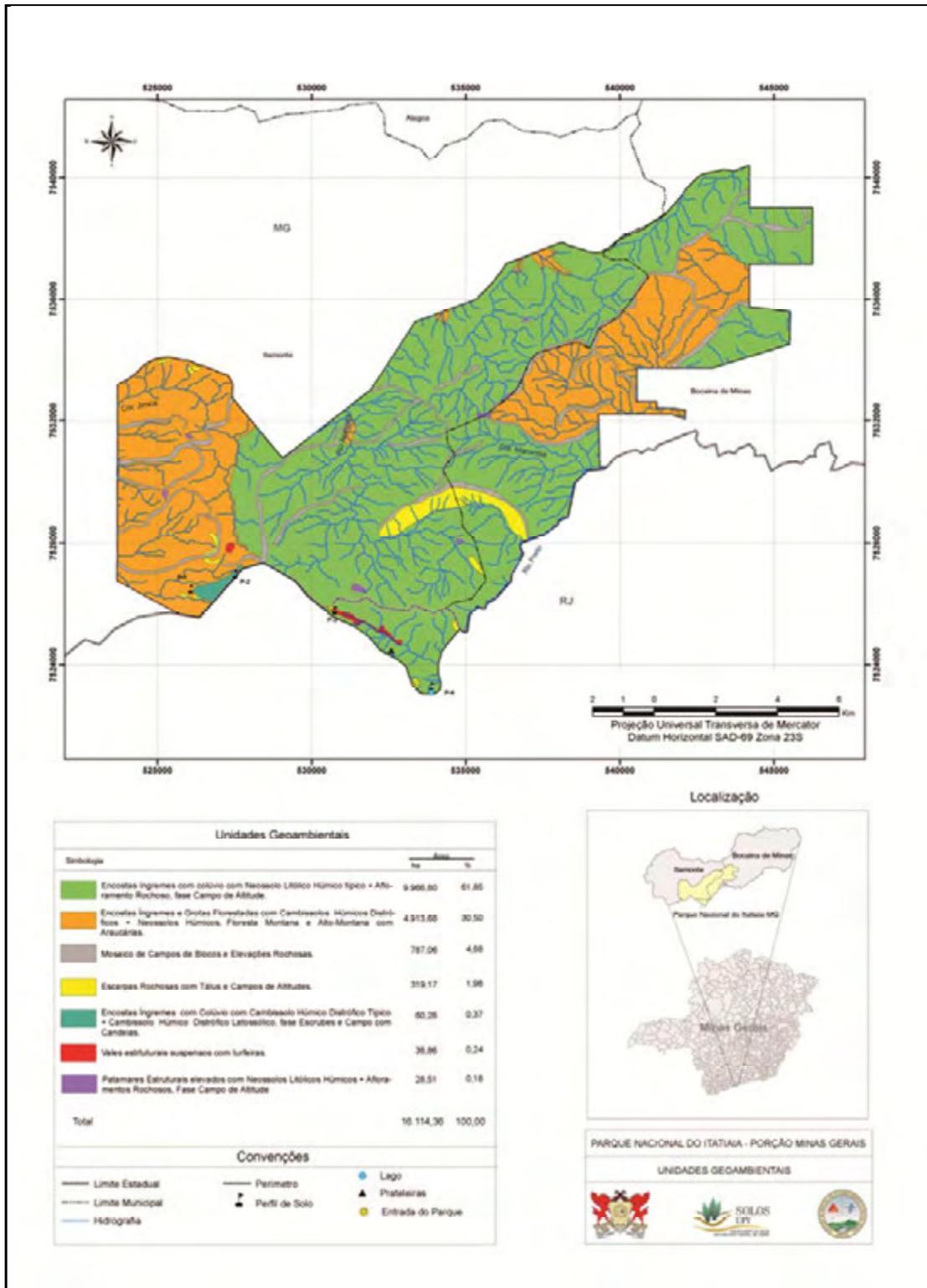


Figura 6. Mapa das Unidades Geoambientais da Porção Mineira do Parna Itatiaia.

Tabela 1. Unidades Geoambientais da porção mineira do Parque Nacional do Itatiaia e seus atributos

| Unidade geoambiental   | Área     |       | Formas-relevo                         | Pedosambiente  | Vegetação                       | Indicação de uso  | Características e Riscos ambientais   |
|--|----------|-------|---------------------------------------|--|---------------------------------|---|---|
|  | ha       | %     |                                       |  |                                 |   |   |
| Encostas íngremes com colúvio com Neossolo Litólico Húmico típico          | 9.966,80 | 61,85 | Dissecação forte-montanhoso-ravinado  | Neossolo litólico Húmico típico  | Campo de Altitude               | Preservação permanente                                      | Morfogênese acentuada. Movimento de Massa. Queda de blocos.   |
| Encostas íngremes e grotas florestadas com Cambissolos Húmicos distróficos | 4.913,68 | 30,50 | Inclinado - dissecação-ravinado       | Cambissolos Húmicos Distróficos + Neossolos Húmicos                            | Floresta Montana e Alto-Montana | Ecoturismo monitorado (beleza cênica) pesquisas científicas | Morfogênese - erosão - transporte colúvio - movimento de massa.   |
| Mosaico de Campos de Blocos e Elevações Rochosas                           | 787,06   | 4,88  | Dissecação-ravinado escarpado         | Neossolos Litólicos+ afloramento rochoso                                       | Campo de Altitude               | Preservação permanente                                      | Alteração na quantidade e qualidade das águas e morfogênese acentuada. Nascentes de importantes mananciais.   |
| Escarpas Rochosas com Tálus e Campo de Altitude                            | 319,17   | 1,98  | Dissecação forte-montanhoso-escarpado | Neossolo Litólico típico + afloramento rochoso                                 | Campo de Altitude               | Preservação permanente                                      | Morfogênese acentuada. Incêndios nos campos adjacentes e mirantes naturais.                                   |
| Encostas íngremes com colúvio com Cambissolos                              | 60,28    | 0,37  | Montanhoso - ravinado                 | Cambissolo Húmico Distrófico típico + Cambissolo Húmico Distrófico latossólico | Escrubos e Campo com Candeias   | Recuperação de fragmentos-ecoturismo-pesquisa científica    | Ambiente reliquiar altamente sensível a impactos. Incêndios nos campos adjacentes                             |
| Vales estruturais suspensos com turfeiras                                  | 38,86    | 0,24  | Forte ondulado                        | Organossolos + Gleissolos Melânicos  | Campo de Altitude               | Preservação permanente Pesquisas científicas                | Possível redução nas áreas de sequestro de carbono ambiente reliquiar altamente sensível. Turismo predatório. |
|  |          |       | Dissecação forte                      |  |                                 |   |   |
| Patamares Estruturais Elevados com Neossolos Litólicos húmicos             | 28,51    | 0,18  | Acumulação-plano ondulado             | Neossolo Litólico Húmico típico  | Campo de Altitude               | Preservação permanente- Pesquisas científicas               | Alteração na quantidade e qualidade das águas- Incêndios nos campos adjacentes.                               |



Figura 7. Paisagem homogênea dos Campos de Altitude, na porção mineira do Parna Itatiaia.

As unidades de mapeamento de solos que predominam neste geoambiente são os Neossolos Litólicos Húmicos mais os Afloramentos Rochosos, com topografia forte ondulada (20 a 45%) e montanhosa (45 a 75%), onde prevalecem os processos morfogenéticos em detrimento dos pedogenéticos. Juntas, estas duas classes de declividade perfazem 87,38% da área estudada.

Esta unidade geoambiental se constitui numa área de importantes nascentes, de rios que drenam quase toda a área da porção mineira do Parna Itatiaia, tais como o rio Aiuruoca, rio Preto e rio Maromba.

As formas características desta unidade geoambiental são os interflúvios e as encostas íngremes, com altitude variando de 1.850 a 2.800 m. Somado a este motivo tem-se: Ambientes reliquias e endêmicos e imobilização de CO<sub>2</sub> nos solos (Figura 8).

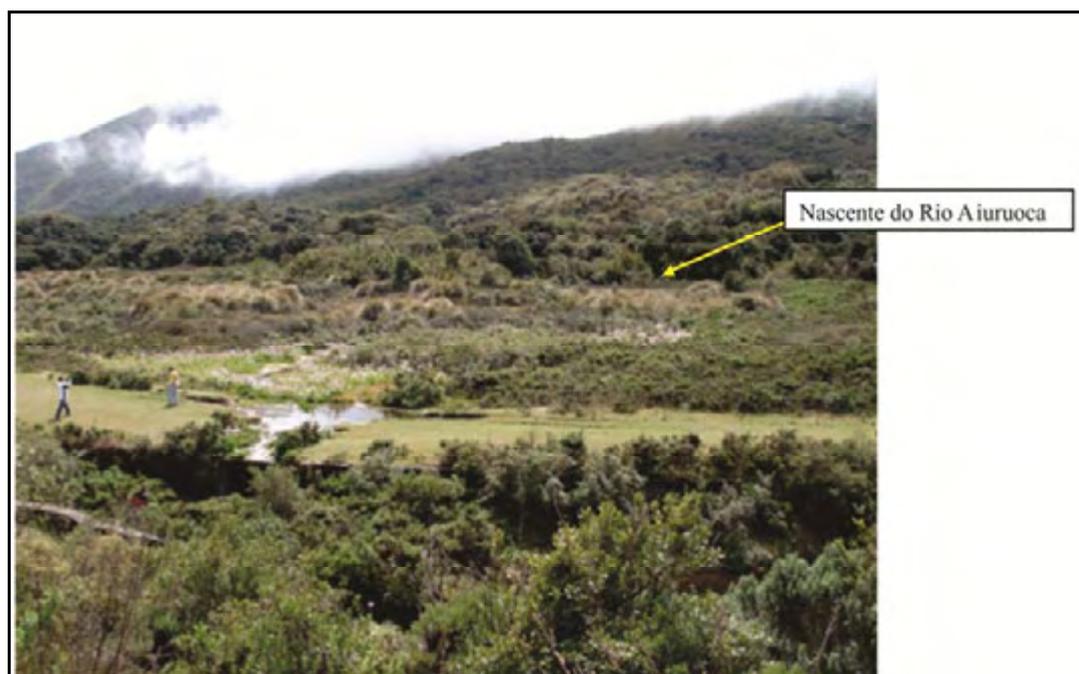


Figura 8. Vale estrutural com turfeira suspensa (nascente do rio Aiuruoca) - ambiente reliquiar responsável pela imobilização de carbono orgânico.

Sendo assim, são necessárias medidas no intuito de restringir ou selecionar as áreas de acesso ao turismo que vem se mostrando predatório na área em estudo. O pisoteio excessivo, por turista, pode fragilizar ambientes altimontanos, que se mostram mais suscetíveis às alterações diante das atuais condições climáticas.

### 3.2.2. Encostas Íngremes e Grotas Florestadas com Cambissolos Húmicos Distróficos

Ocupam 30,50% (4.913,68 ha) da área estudada. A cobertura vegetal é formada pela Floresta Montana e Alto Montana com a ocorrência de araucárias. Ocupam uma faixa altitudinal aproximadamente entre 1.450 a 2.500 m de altitude. Ocorre em encostas íngremes e grotas com solos de maior profundidade. Estas encostas e grotas são ambientes onde a drenagem entalhou incisões/sulcos profundos. Mesmo apresentando acentuada declividade, a presença da água nesta unidade é constante, por serem ambientes úmidos de horizontes húmicos profundos, com nascentes e cursos d'água. Sendo assim, tal característica viabiliza a ocorrência dessa vegetação mais densa. Nesta vegetação é comum a presença de epífitas (bromélias) e araucárias (Figura 9).



Figura 9. Em segundo plano, Grota florestada com a ocorrência de araucárias sobre os Cambissolos Húmicos na porção mineira do Parna Itatiaia.

O ambiente Ombrófilo juntamente com a produção de fitomassa e a lenta decomposição potencializam o desenvolvimento de solos com expressivo

acúmulo de material orgânico e coluvionar. Mesmo com a maior profundidade do solum, os solos predominantes neste ambiente são os Cambissolos Húmicos distróficos e alumínicos, devido ao oligotrofismo e à acentuada lixiviação. Observou-se, ao longo das encostas, a presença dos solos mais rasos (Neossolos Litólicos) na parte superior das grotas e solos mais profundos (Cambissolos) da meia encosta até a base. A presença dessas grotas, neste ambiente, estão relacionadas ao controle estrutural (falhas e fraturas) do Maciço Montanhoso.

### **3.2.3. Mosaico de Campos de Blocos e Elevações Rochosas**

Esta unidade geoambiental perfaz 4,88% (787,06 ha) da área estudada. Ocupa os divisores topográficos (cimeiras) de importantes rios da porção mineira do Parna Itatiaia tais como os rios Aiuruoca e Preto.

Neste Geoambiente, predomina a morfogênese acentuada e forte dissecação em detrimento da pedogênese mais lenta. São áreas de difícil acessibilidade (topografia muito acentuada), com potencial para a preservação de espécies raras (ambientes reliquiares), além de favorecer a interceptação das águas pluviais para a recarga dos aquíferos. Mesmo nos afloramentos rochosos, a recarga é facilitada devido à grande presença de diáclases e fraturas que direcionam as águas e o intemperismo na rocha alcalina, na área em estudo (Figura10).

### **3.2.4. Escarpas Rochosas com Tálus e Campos de Altitude**

Esta unidade ocupa uma área de 1,98% (319,17 ha). São áreas com topografia escarpada e com declives muito acentuados, acima de 75%, onde os processos erosivos são muito intensos, superiores aos da pedogênese, favorecendo a gênese de solos mais rasos e a ocorrência de afloramentos rochosos de tálus, resultando numa baixa retenção de água. Ocupa uma faixa altitudinal entre 1950 a 2850 m. A cobertura vegetal é predominantemente formada pelo Campo de Altitude. São ambientes reliquiares (refúgio ecológico) de extrema importância, e muito suscetíveis ao fogo.

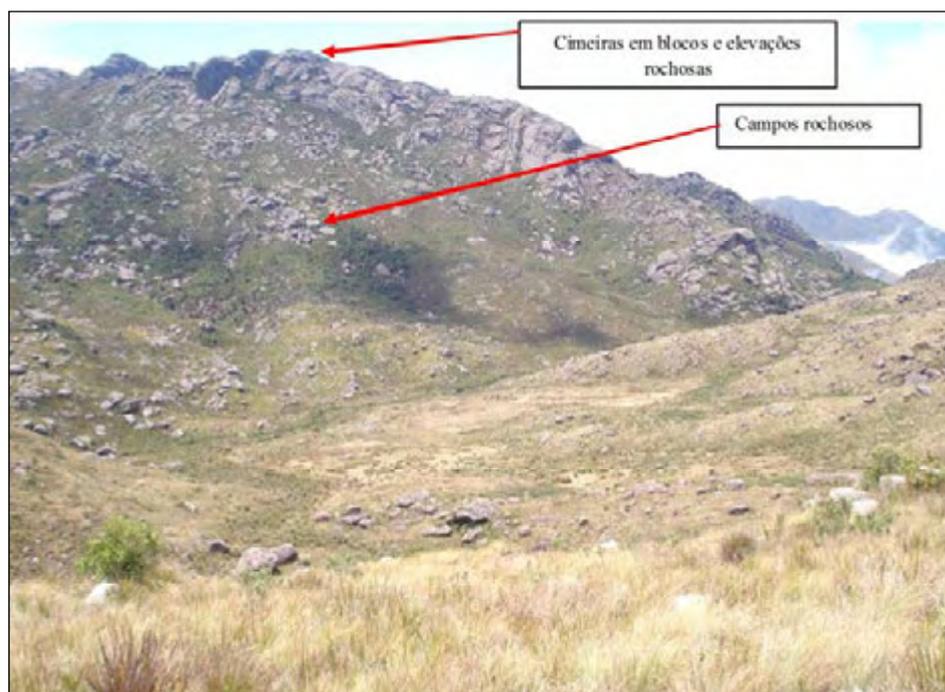


Figura 10. Cimeiras em Blocos e Elevações Rochosas, na porção mineira do Parna Itatiaia.

Apresenta características similares à unidade do Mosaico de Canyon de Blocos e Elevações Rochosas, com relação à vegetação Campo de Altitude e solos rasos, onde predominam os Neossolos Litólicos e os Afloramentos Rochosos. Difere quanto à declividade, acima de 75%, com relevo escarpado, em alguns casos chegando a 90%, resultantes da estrutura e geotectônica (Figura 11).

### 3.2.5. Encostas Íngremes com Colúvio com Cambissolos

Esta unidade geoambiental representa 0,37% (60,28 ha). A vegetação é composta por Escrubes e Campo com Candeias com a presença de alguns indivíduos de Araucária (*Araucaria angustifolia*). Ocupam uma faixa altitudinal entre 1950 a 2350 m, podendo observar o aspecto nebuloso. Ocorre em encostas íngremes com solos de maior profundidade, com destaque para os Cambissolo Húmico Distrófico típico e o Cambissolo Húmico Distrófico latossólico, estes, com valores muito baixo de Ca, Na, P e K, evidenciando a pobreza química do saprolito, pobre em minerais máficos e rico em feldspatos/feldspatóides potássicos e sódicos, apresentando caráter distrófico e oligotrofismo.

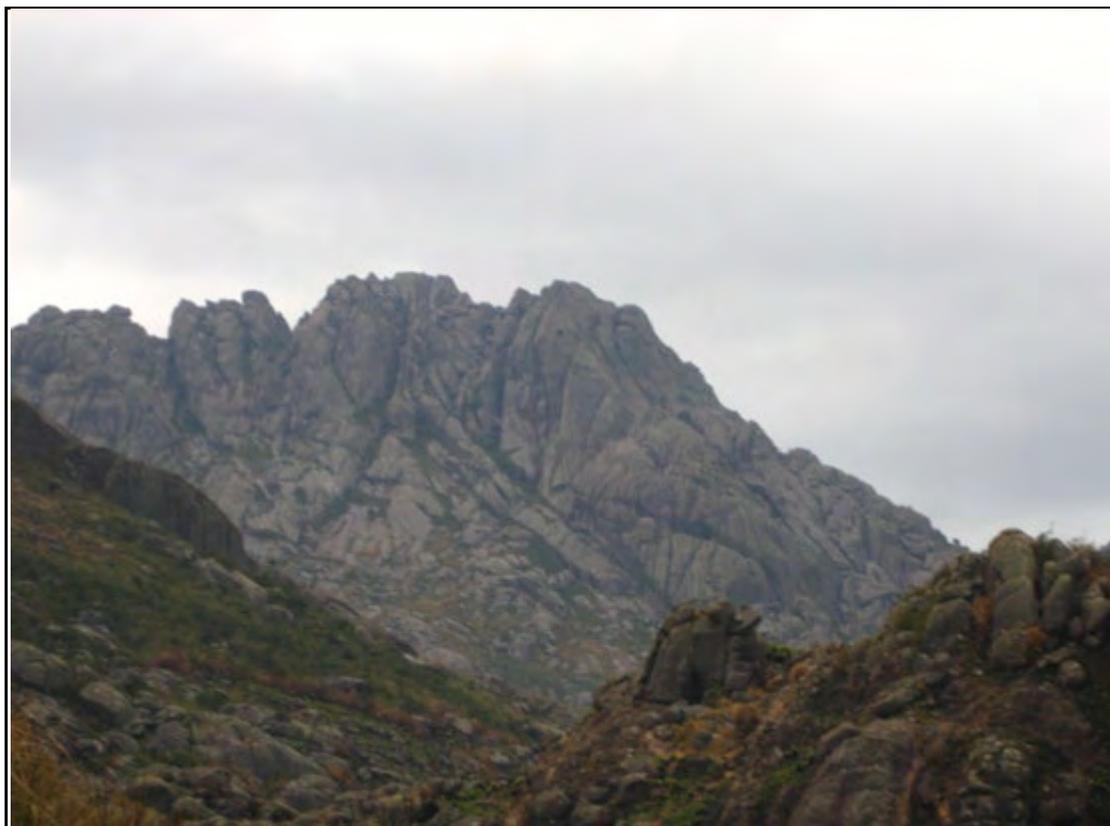


Figura 11. Paisagem (relevo ruiniforme) ao fundo ilustrando as escarpas rochosas do Parna Itatiaia.

Esta unidade geoambiental possui solos (Cambissolos) que ocorrem em declividades acentuadas, entre 45 a 75% em relevo montanhoso. Possuem altos teores de saturação por alumínio em ambiente rico em MO propiciando característica de hidrofobicidade, oriunda da polimerização formada pelo alumínio, dificultando a mineralização da MO (BENITES 2001).

Outro fato importante, encontrado nos solos, é o processo incipiente de podzolização (translocação de matéria orgânica), responsável pela migração de substâncias humificadas do horizonte A para o horizonte B do Cambissolo Húmico Distrófico latossólico.

### **3.2.6. Vales Estruturais Suspensos com Turfeiras**

Com 0,24% (38,86), esta é a segunda menor unidade geoambiental da área. Ocupa uma morfologia plana a suave ondulada com declividades que variam de 3 a 20%. A vegetação é formada pelos campos de altitude sobre Organossolos com horizontes Hísticos de profundidade variável.

Apresenta formas abaciadas que acumulam sedimentos de textura siltílica argilosa matéria orgânica (áreas de colmatagem). São vales abertos, localizados entre encostas mais íngremes formando verdadeiros terraços com turfeiras, a paisagem já revela uma retomada erosiva, associada a episódio de soerguimento tectônico Quaternário. Tal evento tectônico veio ocasionar o rebaixamento do nível de base (drenagem) proporcionando o surgimento de turfeiras em posição atual não hidromórfica, nas cotas altitudinais variando entre 2.300 a 2.650 m. Além da importância na imobilização do carbono orgânico nos solos, ocorrem as nascentes de importantes rios como o Aiuruoca que drena o município de Itamonte.

Segundo OLIVEIRA et al. (2005), as turfeiras destes ambientes altimontanos têm idades de aproximadamente 9.000 anos. Estudos mostram que, de 9.700 a 8.200 anos, o clima, nas cimeiras/prolongamentos da Mantiqueira (Itatiaia), era mais úmido e frio que o atual. Entre 8.200 a 5.400 anos o clima tornou-se mais quente, e a partir do Holoceno Médio, o clima tornou-se mais seco que o atual. Ou seja, ciclos climáticos que atingiram a área em estudo deixaram registros paleoambientais nos solos e na vegetação. Linhas de pedras e cascalhos são comuns, mas não se observou qualquer registro indicativo de fenômenos periglaciais.

### **3.2.7. Patamares Estruturais Elevados com Neossolos Litólicos Húmicos**

Representa a menor unidade geoambiental da área estudada, correspondendo a 0,18% (28,51 ha). Ocorre em relevos suaves a ondulados com declividade variando de 3 a 20%. São formas aplainadas, estruturalmente controladas (tipo platôs) que interligam as grandes elevações (divisores de águas), com uma variação altitudinal entre 1.950 a 2450 m.

A vegetação de Campo de Altitude possui caráter aberto, aparentemente homogêneo, típico das áreas de ocorrência de solos rasos (Neossolos Litólicos), resultando em ambientes com baixa capacidade de armazenamento de água. Juntamente com o caráter distrófico dos solos de maior ocorrência e os afloramentos rochosos, os solos mostram obstáculo para a ocorrência de vegetação mais densa.

Uma das explicações para a menor ocorrência dessas formas (patamares estruturais) pode estar associada à presença natural de fraturas e

diáclases no sienito, que são responsáveis por favorecer a formação frequente de encostas com matacões (tors ou talus) em detrimento dos Patamares Estruturais planos. Os tors são geralmente formados por campo de matacões de tendência esferoidal, em suas posições originais, em feições indicativas de “castelo de empilhamento rochoso” (Figura 12) (THOMAS, 1974).



Figura 12. Matacões (tors) arredondados ou esferoidais, em suas posições originais de “castelo de empilhamento rochoso”.

A forma e o tamanho dos tors (diâmetros entre 0,3 a 15 m) estão estreitamente relacionados com a geometria do sistema de diaclasamento (Figura 13).



Figura 13. Pico das Prateleiras (Maciço do Itatiaia). Destaque para o diaclasamento vertical do Sienito, o que favorece a gênese in situ dos matacões (tors) ao longo das encostas elevadas do Itatiaia.

Os tors em forma de castelo ocorrem onde as diáclases são espaçadas e regulares. No caso das diáclases estarem muito próximas entre si, os tors resultantes são muito pequenos (OLLIER, 1971), e tendem a derruir, espalhando-se como tálus grosseiro ao longo das vertentes.

### **3.3. Estoque de Carbono**

Os estoques de Carbono no solo variam de 151,04 Mg/ha nas áreas de ocorrência dos Cambissolos Húmicos a 426,62 Mg/ha na unidade de mapeamento dos Organossolos, considerando-se todos os horizontes dos perfis representativos da topossequência. Em termos absolutos, os maiores estoques totais por Unidades Geoambientais encontram-se nas Encostas íngremes com colúvio com Neossolo Litólico Húmico típico com 1.733,625Mg e Encostas íngremes e grotas florestadas com Cambissolos Húmicos Distróficos com 742,162 Mg. A unidade geoambiental Patamares Estruturais com

Neossolos Litólicos, por ocuparem a maior área na porção mineira da UC, tem a menor concentração (imobilização) de carbono nos solos (Tabela 2).

Tabela 2. Estoque de carbono por classe de solo e Unidades Geoambientais da porção mineira do Parna Itatiaia

| Unidade Geoambiental   | Área             |            | Carbono           | UNIDADES DE MAPEAMENTO (PERFIS DE SOLOS) |
|--|------------------|------------|-------------------|--|
|  | ha               | %          | Mg/Geoambiente    |  |
| Encostas íngremes com colúvio com Neossolo Litólico Húmico típico          | 9.966,80         | 61,85      | 1.733,63          | Neossolo Litólico Húmico típico          |
| Encostas íngremes e grotas florestadas com Cambissolos Húmicos Distróficos | 4.913,68         | 30,5       | 742.162,22        | Cambissolo Húmico Distrófico típico      |
| Mosaico de Campos de Blocos e Elevações Rochosas                           | 787,06           | 4,88       | 136.901,21        | Neossolo Litólico Húmico típico          |
| Escarpas Rochosas com Tálus e Campos de Altitude                           | 319,17           | 1,98       | 55.516,42         | Neossolo Litólico Húmico típico          |
| Encostas íngremes com colúvio com Cambissolos                              | 60,28            | 0,37       | 23.690,04         | Cambissolo Húmico Distrófico típico      |
| Vales estruturais suspensos com turfeiras                                  | 38,86            | 0,24       | 16.578,45         | Organossolo Háplico Hêmico típico        |
| Patamares estruturais elevados com Neossolos Litólicos húmicos             | 28,51            | 0,18       | 4.959,03          | Neossolo Litólico Húmico típico          |
| <b>total</b>   | <b>16.114,36</b> | <b>100</b> | <b>981.540,97</b> |  |

ha-Área total da Unidade Geoambiental em hectare; Mg/Geoambiente- Megagramas de carbono por Unidade Geoambiental; Mg/ha - Megagramas de carbono por hectare.

#### 4. CONCLUSÕES

Na topossequência estudada os resultados das características mineralógicas e as relações moleculares Ki e Kr demonstram o predomínio de solos gibbsíticos e cauliníticos.

A formação de horizonte plácico no Organossolo do Parna Itatiaia, é resultado da ação tectônica seguida da migração e oxidação do pouco ferro existente no ambiente.

Os solos da topossequência, apesar de apresentarem elevados índices de saturação por alumínio, os valores de alumínio trocável (acidez trocável) são baixos, chegando a negligenciáveis nos horizontes subsuperficiais. Tal fato

sinaliza que a ação dos complexos estáveis de alumínio e matéria orgânica estabiliza a MO e a torna mais resistente à decomposição microbiana nos ambientes altimontanos de Minas Gerais.

Apesar da ocorrência de iluviação (espodização) no perfil 2, não foi possível observar a formação de horizonte E, fato este, que pode ser explicado pela falta de sílica (quartzo) no ambiente.

Na topossequência estudada, na área de ocorrência da tipologia vegetal escrubes e Campo com Candeiais, o oligotrofismo, solos mais rasos e a posição mais exposta na paisagem são obstáculos para a ocorrência de uma tipologia florestal mais densa.

Nos vales estruturais suspensos (turfeiras de altitude), ocorrem Organossolos com horizonte Hístico.

O acúmulo de carbono nos solos é influenciado pelas temperaturas mais baixas, pelo oligotrofismo e a presença de  $Al^{3+}$ , criando um ambiente de reduzida decomposição e complexação da matéria orgânica no solo (MOS). A distribuição do carbono ao longo dos perfis representativos está relacionada a características pedogeomorfológicas, qualidade da matéria orgânica e posição na paisagem.

Entre as frações húmicas, a humina predomina em todos os horizontes A dos perfis representativos do Parna Itatiaia.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. **Origem e evolução da plataforma brasileira.** Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro, n.241, p.1-36, 1967.

ALVAREZ V.; V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. **Determinação e uso do fósforo remanescente.** Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.25, p.27-32, 2000.

BATJES, F.E. **The organic matter content of soils.** In: **Soils of the World.** European Journal of Soils Science. 47:151-163.

BERTRAND, G. **Écologie d'un Espace Géographique: Iês Géosystèmes du Valle de Prioro.** Espace Géographique, 1972.

BRADÉ, A.C. **Excursão à Serra do Caparaó.** Relatório apresentado à Diretoria do Serviço Florestal Brasileiro, 1956. 22p.

- BRANDÃO, P.C.; SOARES, V.P.; SIMAS, F.N.B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, A.L.; MENDONÇA, **Caracterização de geoambientes da floresta nacional do Purus, amazônia ocidental: uma contribuição ao plano de manejo**. R. Árvore, Viçosa-MG, v.34, n.1, p.115-126, 2009.
- DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo.2.ed. Viçosa, MG: UFV, 1997. 26p. (Boletim de extensão, 29).**
- DIAS, H.C.T; FILHO, E.I.F; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, L.E.F.; VENTORIM, L.B. **Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca**, município de LIMA DUARTE-MG. R. Árvore, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.777-786, 2002
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Manual de métodos e análises de solo. Rio de Janeiro, 1997, 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: 306p, 2ªed. 2006.
- KÖPPEN, W. & Geiger, R. **Classificação climática de Köppen-Geiger**. 1936.
- MENDONCA, E.S.M. & MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Vicososa: UFV, 2005.107 p.
- MUNSELL. **Soil Color Charts**. Maryland: 1994.
- OLIVEIRA, P.E. et al. **Paleovegetação e Paleoclimas do Quaternário do Brasil**, p.52-74.In: Quaternário do Brasil, ed. EDUSP, Ribeirão Preto. 379p.
- OLLIER, C.D. **Causes of spheroidal weathering**. Earth - Sci. Rev. 7 (1971) 127–141.
- PENALVA, F. **Geologia e Tectônica da Região do Itatiaia – Sudeste do Brasil**. F.F.C.L., USP Bol. – 302 – Geol. (22) 95-106 p.
- RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais: Folhas SF23/24 Rio Janeiro/Vitória; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1983. 780p.
- RIBEIRO, K. T.; MEDINA, B.M.O; SCARANO, F.B. **Species composition and biogeographic relations of the rock outcrop flora on the high plateau of Itatiaia, SE-Brazil**. Revista Brasil. Bot., v.30, n.4 p.623-639,out.-dez.1997.
- RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos sociológicos e florísticos**. São Paulo: EDUSP, 1997. 374p.
- RUIZ, H.A. **Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila)**. R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005.
- SCHAEFER, C.E.G.R. **Ecogeography and humans cenario**. São Paulo: Ciência e cultura, v.49. p. 241-252. 1997.

- SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B. **Elementos do meio físico e a gestão de Unidades de Conservação**, p.12-15. In: Plano de Manejo para Unidades de Conservação: Elaboração, Desafios e Aplicações, Revista Ação Ambiental, ed. UFV, Viçosa-MG. ano X, 2007.
- SIMAS, F.N.B. et al. **Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils oncrystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil**. Geoderma 125, p.187-201, 2005.
- SOTCHAVA, V.B. **Définition de Quelques Notions et Termes de Géographie Physique**. Dokl. Institute de Géographie de la Sibérie et Extrême Orient, 1977.
- SOTCHAVA, V.B. **O Estudo de Geossistemas: Métodos em Questão**. São Paulo: ed. IG – USP. p.1-52, 1977.
- THOMAS, M.F. **Tropical geomorphology**. The Macmillan Press. 1974, 332 p.
- TRICART, J. & KIEWIETDEJONGE, C. **Ecogeography and Rural Management**. Harlow, Longman Group, 1992.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R. & LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro: 1991.123p.
- VOLKOFF, B.; MELFI, A.J.; CERRI, C.C. **Solos podzólicos e cambissolos eutróficos do alto rio Purus (Estado do Acre)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.13, n.3, p. 363-372, 1994.
- YEOMANS, J.C. e BREMNER, J. M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil**. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 19(13): 1467-1476.1998.

## CAPÍTULO III

### TOPOSSEQUÊNCIA DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE SIENITO NO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA

#### RESUMO

Embora seja um Parque Nacional, localizado na região sudeste, extremamente conhecido e visitado por turistas, pouco se conhece sobre a base pedológica dessa Unidade de Conservação (UC). O mesmo resguarda importantes paisagens reliquiárias (ambientes altimontanos) que ocorrem em Minas Gerais. Diante disso, foram estudadas as características físicas, químicas, mineralógicas e as relações moleculares  $K_i$  e  $K_r$  de solos altimontanos em uma topossequência representativa na porção mineira sobre Sienitos do Parna Itatiaia. Nesta área, a gênese dos solos é mais influenciada pela litologia, topografia (posição na paisagem), controles litoestruturais (diques, fraturamentos e falhas) e cobertura vegetal. Os solos estudados são distrófios, com caráter alumínico e saturação por alumínio superior a 61% nos horizontes superficiais, além de acentuado oligotrofismo. A CTC da topossequência está relacionada, quase que exclusivamente, à fração orgânica. As relações moleculares  $K_i$  e  $K_r$  juntamente com as características mineralógicas demonstram solos muito intemperizados e uma grande presença de gibbsita e caulinita, oriundas do intemperismo do feldspato. A presença de horizonte plácico no Organossolo do Parna Itatiaia, é resultado da migração e oxidação do pouco ferro existente no ambiente. Apesar da evidência de eluviação de MO em solos do Parna Itatiaia, não se constatou a formação de horizonte E devido a pouca presença de sílica (quartzo) neste ambiente. Coexistem minerais primários e gibbsita nos Cambissolos e Neossolos Litólicos do Itatiaia, demonstrando gênese policíclica.

Palavras-chave: Horizonte ortstein, pedogênese, translocação, altimontano

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os ecossistemas altimontanos, na sua maioria, dominada por campos de altitude, diferem dos demais biomas, devido as suas características peculiares associadas à pedogênese e à biota o que propicia o endemismo (BENITES et al., 2007). Nestes estratos altimontanos, há pedoambientes endêmicos, onde se observam condições de stresse hídrico e oligotrofismo, e, em virtude das grandes diferenças edafo-climáticas, em contraste com os seus entornos, evidenciam-se estratos vegetacionais bem particulares, considerados refúgio ecológico (VELOSO, 1991; RIZZINI, 1997; BENITES et al., 2007).

Em consonância com os ambientes cimeiros do Brasil, os ambientes altimontanos de Minas Gerais, embora aparentemente homogêneos, apresentam uma considerável diversidade pedoambiental e associados um mosaico de vegetação, onde há um grande número de espécies endêmicas (SIMAS et al., 2005 e SCHAEFER e SIMAS, 2007).

Em regiões altimontanas, caracterizadas por baixas temperaturas e solos ricos em  $Al^{3+}$ , a taxa de decomposição da serrapilheira (horizonte O) é reduzida, o que proporciona um acúmulo de altos teores de MO humificada com capacidade de formar complexos estáveis de alumínio o que a torna mais resistente à decomposição microbiana em solos tropicais e subtropicais como os solos estudados no Parna Itatiaia (VOLKOFF et al., 1994; MENDONÇA, 1995 e BENITES, 2000).

Apesar da importância ambiental e ecoturística dos cenários altimontanos de Minas Gerais, evidenciados no Parna Itatiaia, pouco se conhece sobre suas características fisiográficas. Diante de tal lacuna, o objetivo deste trabalho foi estudar os atributos físicos, químicos e mineralógicos e as relações moleculares  $K_i$  e  $K_r$  de solos altimontanos em uma topossequência representativa na porção mineira do Parque Nacional do Itatiaia, estabelecendo as relações entre pedogênese, as variações lito-estruturais, a morfologia e a cobertura vegetal.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização da Área de Estudo e Características Gerais

O Parque Nacional do Itatiaia situa-se a sudoeste do Estado do Rio de Janeiro, em terras dos municípios de Resende e Itatiaia; e ao sul de Minas Gerais, abrangendo os municípios de Bocaina de Minas e Itamonte. Localiza-se entre as coordenadas, 44°34'E e 44° 42'W e 22°16' e 22°28'S (Figura 1). A importância da região é devida, em parte, às elevações do Planalto do Itatiaia, onde o Pico das Agulhas Negras com 2.787 m de altitude é o quarto ponto mais alto do Brasil. Outros picos, como a Pedra do Couto, com 2.682 m e as Prateleiras, com 2.515 m, também destacam no planalto. Além do patrimônio biótico e pedogeomorfológico, o Parque Nacional do Itatiaia tem grande relevância por ser o primeiro Parque criado no Brasil, pelo Decreto Federal nº 1.713, de 14 de junho de 1937 (IBDF, 1982).

Os aspectos gerais do relevo do maciço do Itatiaia refletem forte influência estrutural. Estruturas anelares, a zona relativamente deprimida do planalto e fragmentos de estruturas arqueadas de menor raio, presentes no interior do grande anel externo, seriam explicados (PENALVA, 1967) pelo abatimento do topo do corpo alcalino, por falhas circulares contemporâneas da intrusão, no Cretáceo Superior (AMARAL et al., LAUAR, 1988). A rede de drenagem ajusta-se às estruturas com um padrão radial, composto pelo alto curso de rios Aiuruoca, Preto, Campo Belo e Itatiaia (AB'SÁBER & BERNARDES, 1958 e TEIXEIRA, 1961). Estes rios abrem profundos boqueirões menores nos anéis interiores (TEIXEIRA, 1961). Direções relacionadas ao segundo estágio tectônico da evolução do Sistema de Rifts da Serra do Mar (RICCOMINI, 1989) são particularmente nítidas no Itatiaia. Por exemplo, o ribeirão das Flores corta o planalto segundo a direção principal W-WNW; direções secundárias N-NNE e N-NNW podem ser reconhecidas nos seus afluentes e em outros rios do planalto. Planícies alveolares e depressões ocorrem no cruzamento de linhas de fraqueza (contatos litológicos), diaclasamentos ou falhas.

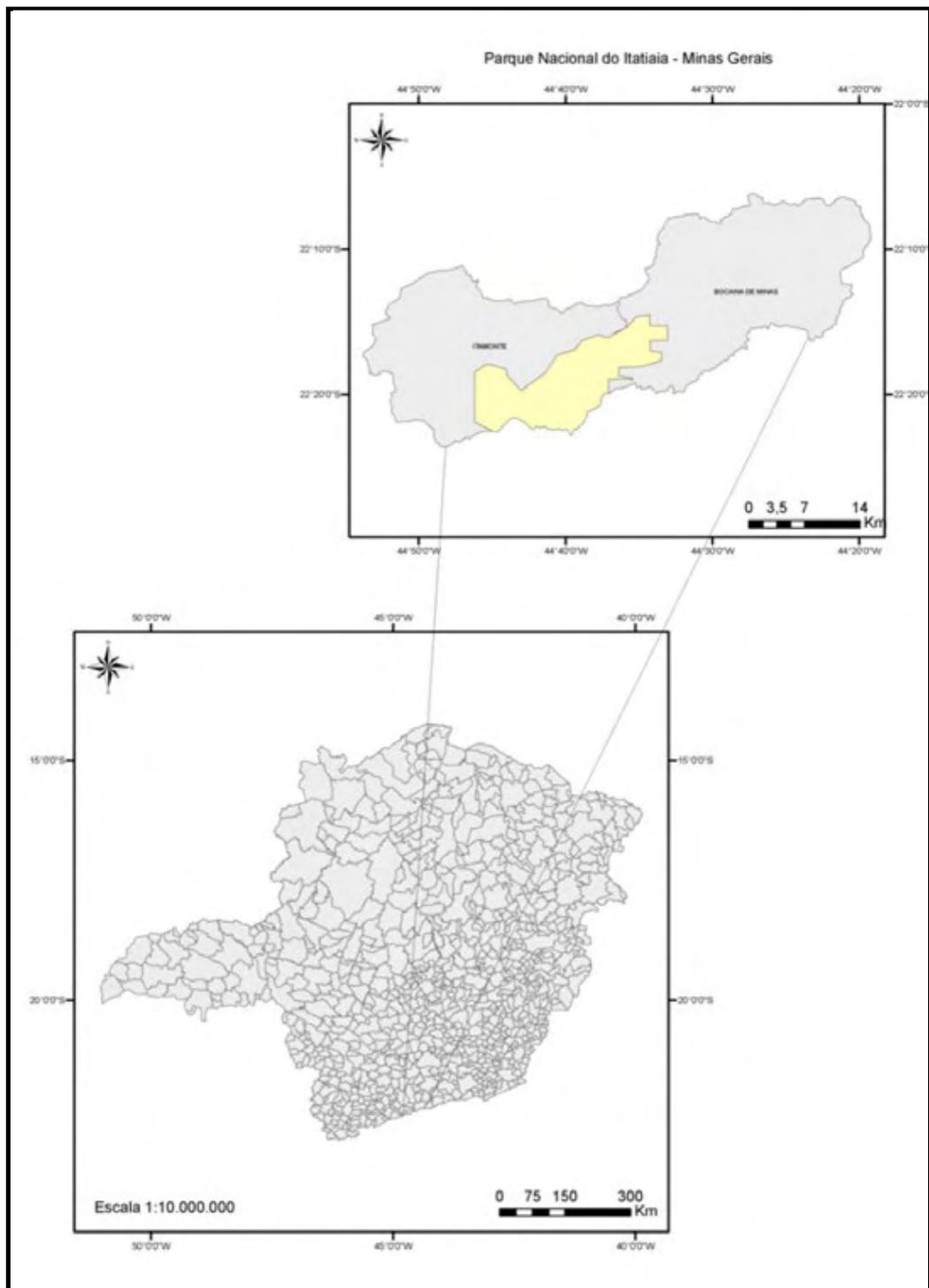


Figura 1. Localização da área de estudo na porção mineira do Itatiaia.

As feições menores do relevo também são condicionadas pelas estruturas. Direções de diaclasamento e mergulhos determinam forma de declividade das vertentes. Encostas escarpadas correspondem a mergulhos acentuados (60 a 80°), relacionados à direção N-NNW. Vertentes menos íngremes, em rampas e patamares, ajustam-se com frequência aos mergulhos

menores (40 a 45°), associados às direções N-NNE. Nas vertentes rochosas, afloramentos, caneluras e canais pluviais das cabeceiras de drenagem seguem a orientação dos sistemas de fraturas das rochas alcalinas do Parna Itatiaia.

## **2.2. Levantamento dos Solos e Coleta de Amostras**

A escolha dos perfis de solos da topossequência foi baseada nas características pedogeomorfológicas do Parque Nacional do Itatiaia. Foram abertos 04 perfis, formando uma topossequência representativa da paisagem altimontana da proção mineira do Itatiaia. Foi procedida a coleta de amostras de solo para análises físicas, químicas, mineralógicas e difratogrametria de raios-X. A cor do solo foi determinada em amostras de TFSA utilizando a caderneta de Münsell.

Os solos representativos da Unidade de Conservação (UC) foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SIBCs (EMBRAPA, 2006).

## **2.3. Análises Físicas e Químicas dos Solos**

### **2.3.1. Análises Físicas**

As amostras de solos coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, obtendo-se, desta maneira, a terra fina seca ao ar (TFSA), que foi submetida a análises de acordo com os métodos padrões descritos por EMBRAPA (1999).

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta de acordo com EMBRAPA (1997), porém, com utilização de agitação lenta de 50 rpm por 16 h (RUIZ, 2005) e determinação de silte e argila por pipetagem (RUIZ, 2005), e não por diferença.

### **2.3.2. Análises Químicas**

As análises na TFSA foram realizadas como descritas abaixo: pH em água e em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (1:2,5), cálcio, magnésio e alumínio trocáveis extraídos com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. O cálcio e o magnésio

foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, e o alumínio por titulação com solução NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>, enquanto o potássio e sódio trocáveis foram extraídos com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e quantificados por fotometria de chama.

A acidez potencial (H + Al) foi extraída com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> ajustada a pH 7,0, e determinada por titulação com solução de NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup> quantificados por fotometria de chama.

O fósforo foi extraído com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>+ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>(Mehlich-1), e determinado por colorimetria. Os procedimentos de extração e quantificação foram realizados, conforme os métodos descritos e aplicados rotineiramente na UFV (DEFELIPO & RIBEIRO, 1997).

O carbono orgânico total foi determinado pelo método de Walkley- Black, com oxidação da matéria orgânica, por via úmida, com dicromato de potássio 0,1667 mol L<sup>-1</sup> sem aquecimento (EMBRAPA 1997). A titulação foi realizada com sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol L<sup>-1</sup> (DEFELIPO & RIBEIRO, 1997).

O fósforo remanescente (P-rem) foi determinado conforme DEFELIPO & RIBEIRO, 1997, com determinação em espectrofotômetro (comprimento de onda de 725 nm).

## **2.4. Ataque Sulfúrico**

Para a determinação dos teores de silício (SiO<sub>2</sub>), ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), titânio (TiO<sub>2</sub>) e fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), as amostras de TFSA foram colocadas em contato com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1 (volume), aquecendo-se por uma hora a 170°C e, após isto, resfriamento, diluição e filtração. No resíduo, determinou-se a sílica e, no filtrado, os demais óxidos por espectrometria de emissão em plasma (ICP-AES) (EMBRAPA, 1997). De posse dos dados, foram calculadas as relações moleculares Ki e Kr (EMBRAPA, 1997).

## **2.5. Análises Mineralógicas**

Com o objetivo de retirar interferências nas amostras de solo, foi realizado pré-tratamento, por meio de processo de oxidação da matéria orgânica, utilizando hipoclorito de sódio (NaClO) e extração das formas de ferro

amorfo e cristalino utilizando-se o citrato-ditionito (Fed) e o oxalato de amônio (Feo), respectivamente.

Após o pré-tratamento do solo, para as análises mineralógicas no difratograma de raios-X, foram separadas as frações areia (2,0-0,005 mm, silte (0,05-0,002 mm) e argila (< 0,002 mm). Através da dispersão de 20 g de TFSA com água, hidróxido de sódio (50 mL – 0,5 mol/L) e agitação por 5 minutos, as amostras foram passadas por peneira com malha de 0,053 mm para separação da fração areia. Em seguida, As frações silte e argila que passaram pela peneira, foram separadas por sedimentação, segundo lei de Stokes.

A fração argila obtida foi então seca em estufas com temperatura de 60°C. As argilas de todos os perfis amostrados foram preparadas em lâminas de vidro sob a forma de películas orientadas, através da técnica do “esfregaço”, de modo de que os minerais sejam orientados para facilitar o diagnóstico dos picos difratométricos dos minerais.

Após a preparação das lâminas, a análise mineralógica da fração argila dos solos foi realizada por meio de difratometria de raios-X, que permitiram a identificação dos minerais contidos nas amostras. Os difratogramas foram interpretados de acordo com CHEN (1977), BRINDLEY e BROWN (1980) e RESENDE et al. (2005).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Posição dos Perfis de Solos na Paisagem do Parna Itatiaia**

A figura 2 ilustra a litologia, a cobertura vegetal e a morfologia dos perfis de solos ao longo da topossequência estudada.

De modo geral, a pedogênese na área de estudo é influenciada pela vegetação, topografia (posição na paisagem) e pelas feições lito-estruturais. Tais influências podem ser observadas com a formação de solos rasos (Neossolos Litólicos Húmicos), juntamente com a formação de turfeiras de altitude com Organossolos em vales estruturais suspensos no Parna Itatiaia (Figura 3).



Figura 2. Corte pedogeomorfológico e vegetacional da topossequência da porção Mineira do Parna Itatiaia (SCHAEFER, 2008).



Figura 3. Vales dos Lírios, nascente do Rio Aiuruoca: turfeiras de altitude (2.200 m) com Organossolos em vales estruturais suspensos na Porção Mineira do Parna Itatiaia.

Os ambientes altimontanos mostram feições geomórficas herdadas de clima mais secos, como blocos/matacões rochosos ao longo das encostas, principalmente no Parna Itatiaia, tendo sua gênese orientada pelas fraturas/falhas que condicionam o intemperismo esferoidal dos Sienitos. (MODENESI, 1998).

Segundo Christofletti, 1967 a gênese dos matacões/blocos passa por três fases paleoclimáticas:

a) na primeira fase o clima teria sido tropical úmido com predomínio de processos bioquímicos. Essas condições teriam propiciado uma decomposição química intensa, com formação de regolitos profundos. A decomposição teria iniciado no sistema de diaclasamento ortogonal da rocha, que passaria a individualizar os grandes blocos;

b) na segunda fase o clima teria sido seco, com predomínio dos processos mecânicos. A retração da cobertura florestal intensificou a ação do escoamento superficial, provocando uma erosão intensa na área. A remoção

do material detrítico mais fino foi responsável pelo afloramento dos blocos rochosos;

c) na terceira fase, a atual, caracteriza-se por clima tropical úmido e predomínio de processos biogeoquímicos. Apesar da instalação da cobertura vegetal (Campo de altitude), esta não impede a ação do escoamento superficial nas vertentes. Dessa forma, as frações mais finas e os solos rasos seriam constantemente removidos pelas enxurradas, expondo os blocos/matacões.

Segundo CHAPMAN e GREENFIELD (1949), a formação de blocos e matacões ocorrem por processos contínuos de esfoliação a vários metros ou mesmo a mais de uma dezena de metros abaixo da superfície em rochas maciças com diaclasamento definido.

As discontinuidades nas rochas (diáclases, fraturas e falhas) permitem o ingresso e ação dos agentes do intemperismo, especialmente os químicos. A água circula nas fraturas/falhas por todos os lados, ocasionando a formação de blocos/matacões (Figura 4). As falhas, diáclases e fraturas aumentam a superfície de ação acelerando sua alteração, ocasionando a exposição dos matacões/blocos ao longo das encostas do Itatiaia (Figura 5).

A decomposição esferoidal constitui a alteração progressiva do sistema de fraturas e falhas a partir de suas margens, em direção ao interior dos blocos/matacões. A expansão diferencial dos extremos alterados origina juntas concêntricas. À medida que as cascas vão se desprendendo, nova superfície fica exposta à ação das soluções ativas. Desse modo, o processo repete-se continuamente. Cada envoltório sucessivo, em torno do núcleo da rocha fresca, vai se aproximando mais da forma esferoidal do que a anterior, até que, por fim, o bloco angular se transforma numa estrutura em forma de cebola. (OLLIER, 1971 e FLETCHER et al., 2006). O material intersticial é frequentemente, gibbsítico, pela elevada remoção de sílica e boa drenagem.



Figura 4. Descontinuidades no bloco rochoso (fraturas/diáclases), guiando a ação do intemperismo esferoidal. Nas fraturas observou-se a presença de gibbsita, enquanto o material rochoso do núcleo ainda não sofreu alteração.

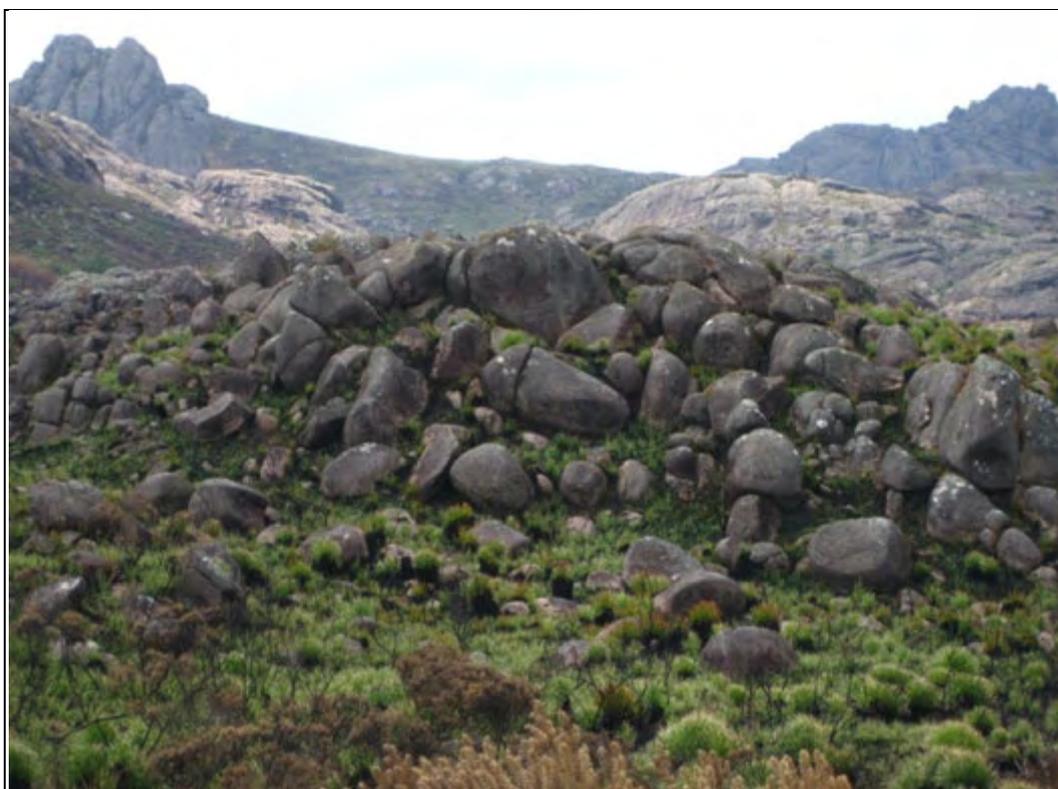


Figura 5. Campo de matacões/blocos rochosos ao longo das encostas do Parna Itatiaia, oriundo do intemperismo esferoidal, guiado pelas fraturas.

### 3.2. Solos da Topossequência do Parna Itatiaia: Aspectos Gerais

Na topossequência estudada, predomina um relevo montanhoso formando um mosaico de serras, escarpas e elevações rochosas, favorecendo a morfogênese (erosão e deposição de colúvios e blocos rochosos ao longo das encostas). No Parna Itatiaia, predominam solos rasos (Neossolos Litólicos e Cambissolos), juntamente com turfeiras de altitude a 2450 m com Organossolos (Figura 6). Estes solos apresentam quantidades elevadas de substâncias húmicas OLHA VC acumuladas, principalmente, na fração humina, indicando condições favoráveis para a imobilização de carbono orgânico nos solos altomontanos. Este mesmo material humificado exerce papel importante no controle, suporte e distribuição da cobertura vegetal.

Na formação de Campo de Altitude a vegetação é de porte herbáceo com sub-arbustos esparsos de baixo porte (Figura 7).

Nas áreas de ocorrência do sienito (rocha alcalina), ocorrem os minerais do grupo dos feldspatóides, sendo pobres em sílica e ferro. Esta rocha é rica em feldspatos potássicos e sódicos, sendo assim facilmente intemperizáveis, deixando o ambiente altimontano do Parna Itatiaia pobre em ferro e sílica, favorecendo a gênese da gibbsita.

Todos os solos estudados na topossequência do Parna Itatiaia apresentam acidez elevada nos horizontes A, pH em H<sub>2</sub>O, que varia entre 4,3 a 4,7 enquanto os demais horizontes demonstram acidez elevada à média, com pH em H<sub>2</sub>O oscilando entre 4,8 a 5,7. Os perfis apresentam valores baixos de Ca, Mg, K e Na nos horizontes superficiais, decaindo em profundidade. Tal situação evidencia a pobreza química do saprolito, refletindo na gênese de solos distróficos (< 50% bases).

Como observado no Parna Caparaó, os solos do Itatiaia apresentam altos índices de saturação por alumínio, mas com baixos valores de acidez trocável (alumínio trocável). O elevado teor de MO é positivo para as plantas, reduzindo a fitoxidez do alumínio, e representando a pouca soma de bases existentes (apesar de valores muito baixos). (VOLKOFF et al., 1994; MENDONÇA, 1995 e BENITES, 2000). (Tabela 1). Aliada à pobreza química, os solos do Itatiaia apresentam matizes amareladas devido à escassez de ferro no ambiente, juntamente com uma cor mais escura nos horizontes superficiais, causada pela acumulação de matéria orgânica.

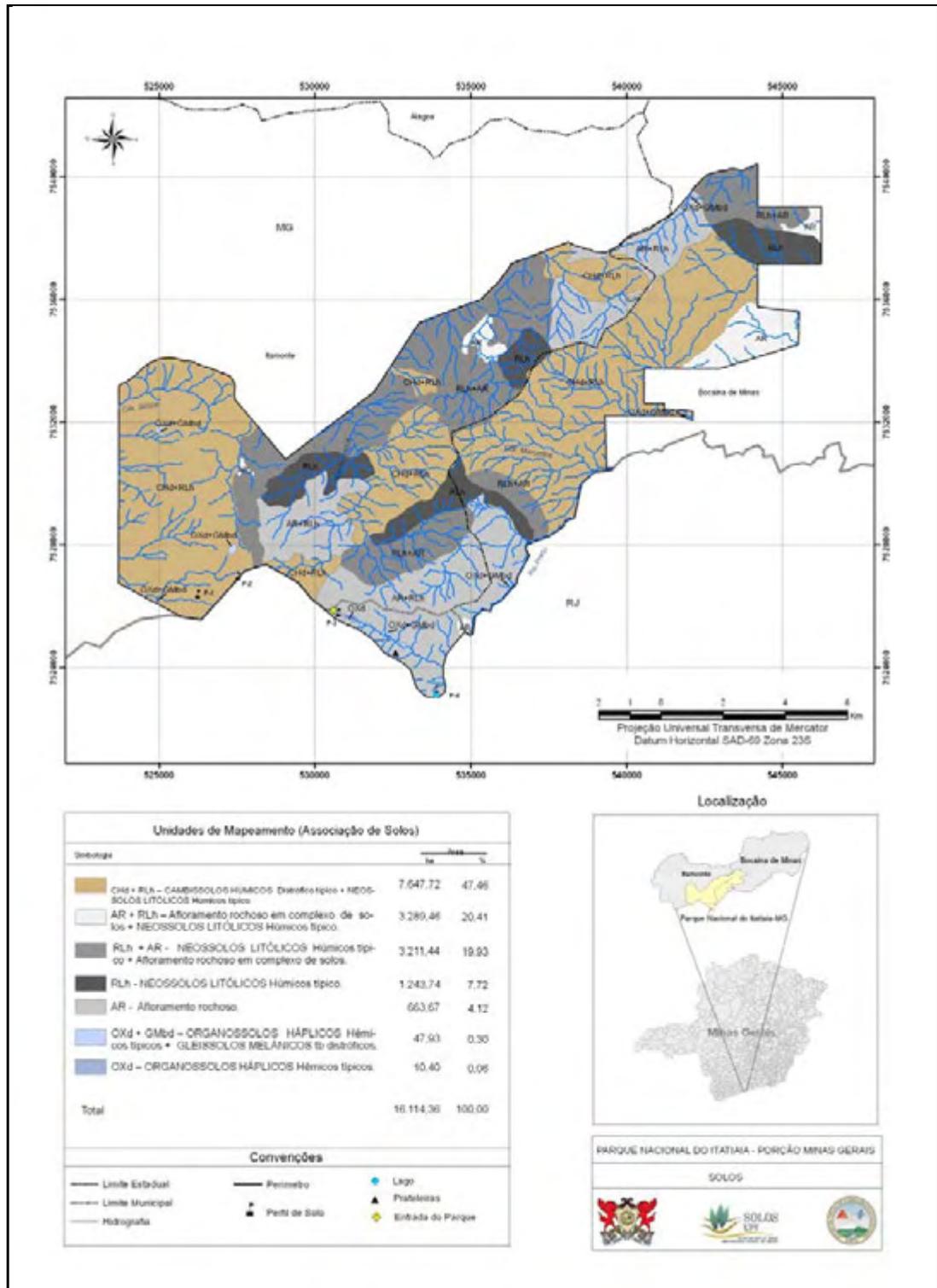


Figura 6. Mapa esquemático dos solos (associações) do Parque Nacional do Itatiaia, no estado de Minas Gerais.

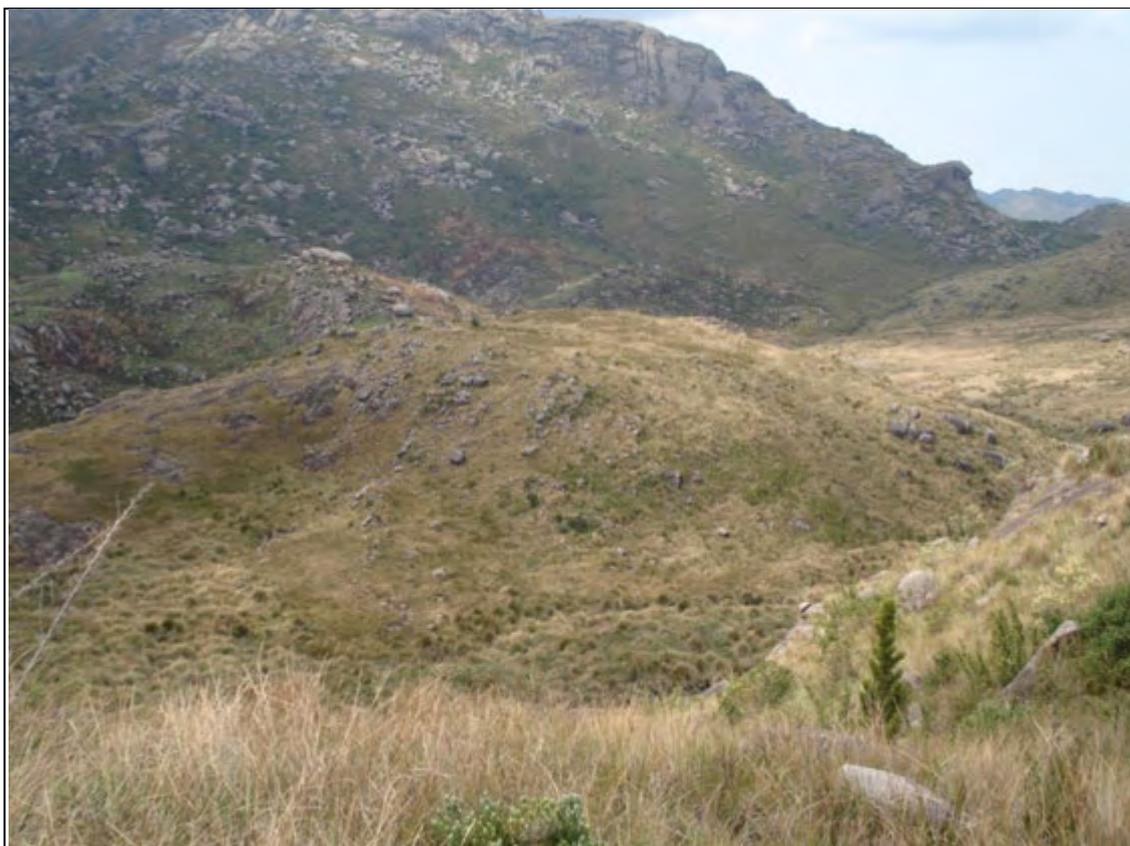


Figura 7. Campo de Altitude com formações herbáceas e afloramentos de rochas na Porção Mineira do Parna Itatiaia.

A fisionomia de vegetação Alto-Montana, encontrada no Itatiaia, apresenta formações com Araucária, juntamente com as feições de afloramentos rochosos, com enormes blocos de Sienito e caneluras, onde a rocha é mais massiva.

Na UC do Itatiaia, à medida que o solum torna-se mais espesso, desenvolve-se uma vegetação de porte arbóreo (florestas Montana e Alto-Montana). A presença de rochas pré-intemperizadas (alteritos), com regolitos mais ou menos profundos e controlados por falhas e fraturas, com baixa densidade, sinalizam para uma pobreza química dos solos estudados na topossequência. Sendo assim, a vegetação desempenha um papel importante na sucessão ecológica, nestes ambientes sob estresse químico, ficando na dependência de ciclagem biogeoquímica.

Tabela 1. Características químicas dos perfis representativos do Parque Nacional do Itatiaia-MG

| Horizonte                                   |            | pH               |      | ΔpH   | Complexo Sortivo                               |                  |                |                 |      |                  |      |       | p <sup>(1)</sup>   | P-rem                            | V    | m    | ISNa <sup>(2)</sup> | COT <sup>(3)</sup> |       |
|---|------------|------------------|------|-------|--|------------------|----------------|-----------------|------|------------------|------|-------|--------------------|----------------------------------|------|------|---------------------|--------------------|-------|
| Símbolo                                     | Prof. (cm) | H <sub>2</sub> O | KCl  |       | Ca <sup>2+</sup>                               | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | SB   | Al <sup>3+</sup> | H+Al | CTC   |                    |                                  |      |      |                     |                    | CTC   |
|   |            |                  |      |       |  |                  |                |                 |      |                  |      | total |                    |                                  |      |      |                     |                    | efet. |
|   |            |                  |      |       | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |                  |                |                 |      |                  |      |       | mg L <sup>-1</sup> | -----%----- dag kg <sup>-1</sup> |      |      |                     |                    |       |
| P1-Cambissolo Húmico Distrófico típico      |            |                  |      |       |  |                  |                |                 |      |                  |      |       |                    |                                  |      |      |                     |                    |       |
| O   | 0-3        | 4,98             | 3,93 | -1,05 | 1,59   | 0,8              | 0,74           | 0,05            | 3,18 | 1,45             | 18,4 | 21,58 | 4,63               | 79,1                             | 12,3 | 14,7 | 31,3                | 1                  | 9,56  |
| Ah  | 3-20       | 4,55             | 4    | -0,55 | 0,14   | 0,12             | 0,32           | 0,05            | 0,63 | 2,6              | 20,5 | 21,13 | 3,23               | 44,9                             | 3,3  | 3    | 80,5                | 1,57               | 8,16  |
| Bi  | 20-40      | 5,56             | 4,68 | -0,88 | 0,05   | 0                | 0,46           | 0,04            | 0,55 | 0,19             | 9,2  | 9,75  | 0,74               | 214,2                            | 4,2  | 5,6  | 25,7                | 5,7                | 1,33  |
| Cr  | 40-100     | 5,74             | 5,22 | -0,52 | 0,07   | 0                | 0,08           | 0,05            | 0,2  | 0                | 6,8  | 7     | 0,2                | 245,4                            | 3,6  | 2,9  | 0                   | 23,26              | 0,45  |
| P2-Cambissolo Húmico Distrófico latossólico |            |                  |      |       |  |                  |                |                 |      |                  |      |       |                    |                                  |      |      |                     |                    |       |
| O   | 0-5        | 4,36             | 3,73 | -0,63 | 0,11   | 0,06             | 0,27           | 0,05            | 0,49 | 2,99             | 17,8 | 18,29 | 3,48               | 10,6                             | 10,1 | 2,7  | 85,9                | 1,46               | 16,51 |
| A1  | 5-35       | 4,28             | 3,97 | -0,31 | 0,06   | 0,04             | 0,17           | 0,06            | 0,33 | 2,6              | 19,2 | 19,53 | 2,93               | 8,3                              | 5,8  | 1,7  | 88,7                | 2,18               | 8,72  |
| A2  | 35-55      | 4,5              | 4,15 | -0,35 | 0,06   | 0,01             | 0,07           | 0,05            | 0,19 | 1,83             | 18,9 | 19,09 | 2,02               | 5,6                              | 4    | 1    | 90,6                | 2,3                | 8,72  |
| Bi1   | 55-70      | 4,79             | 4,27 | -0,52 | 0,05   | 0                | 0,04           | 0,03            | 0,12 | 1,25             | 10,8 | 10,92 | 1,37               | 1,7                              | 8,2  | 1,1  | 91,2                | 2,13               | 1,63  |
| Bi2   | 70-140     | 4,83             | 4,27 | -0,56 | 0,05   | 0                | 0,05           | 0,04            | 0,14 | 1,06             | 6,8  | 6,94  | 1,2                | 1,3                              | 11,4 | 2    | 88,3                | 3,15               | 0,9   |
| C   | 140-160    | 5,13             | 4,26 | -0,92 | 0,04   | 0                | 0,18           | 0,03            | 0,25 | 0,77             | 6,4  | 6,65  | 1,02               | 2,7                              | 6,1  | 3,8  | 75,5                | 2,86               | 0,82  |
| P3-Organossolo Háplico Hêmico típico        |            |                  |      |       |  |                  |                |                 |      |                  |      |       |                    |                                  |      |      |                     |                    |       |
| O   | 0-5        | 4,89             | 3,92 | -0,97 | 0,35   | 0,09             | 0,32           | 0,02            | 0,78 | 1,45             | 10,8 | 11,58 | 2,23               | 14,3                             | 21,8 | 6,7  | 65                  | 0,7                | 16,7  |
| Ai  | 5-65       | 4,74             | 3,95 | -0,79 | 0,11   | 0,02             | 0,23           | 0,06            | 0,42 | 3,57             | 29,9 | 30,32 | 3,99               | 3,6                              | 7,1  | 1,4  | 89,5                | 1,49               | 10,02 |
| H Plácico                                   | 65-68      | 5,26             | 4,68 | -0,58 | 0,09   | 0                | 0,05           | 0,03            | 0,17 | 0,39             | 7,8  | 7,97  | 0,56               | 8,7                              | 3,8  | 2,1  | 69,6                | 5,2                | 1,78  |
| C   | 68-90+     | 5,3              | 4,65 | -0,65 | 0,06   | 0                | 0,15           | 0,02            | 0,23 | 0,39             | 5,2  | 5,43  | 0,62               | 23,7                             | 8,7  | 4,2  | 62,9                | 4                  | 1,11  |
| P4-Neossolo Litólico Húmico típico          |            |                  |      |       |  |                  |                |                 |      |                  |      |       |                    |                                  |      |      |                     |                    |       |
| O   | 0-3        | 4,9              | 3,86 | -1,04 | 0,47   | 0,07             | 0,29           | 0,01            | 0,84 | 2,8              | 22,4 | 23,24 | 3,64               | 6                                | 9,7  | 3,6  | 76,9                | 0,31               | 20,78 |
| Ah  | 3-20       | 4,72             | 4,01 | -0,71 | 0,06   | 0,01             | 0,15           | 0,07            | 0,29 | 3,57             | 26,4 | 26,69 | 3,86               | 2                                | 5    | 1,1  | 92,5                | 1,88               | 7,8   |
| AC  | 20-45      | 4,89             | 4,13 | -0,76 | 0,05   | 0                | 0,08           | 0,03            | 0,16 | 2,41             | 19,4 | 19,56 | 2,57               | 1                                | 7,9  | 0,8  | 93,8                | 1,3                | 1,78  |
| CA  | 45-70      | 4,89             | 4,18 | -0,71 | 0,05   | 0                | 0,07           | 0,04            | 0,16 | 1,93             | 12,9 | 13,06 | 2,09               | 1,9                              | 8    | 1,2  | 92,3                | 1,81               | 1,11  |
| C   | 70-90+     | 4,99             | 4,2  | -0,79 | 0,05   | 0                | 0,1            | 0,04            | 0,19 | 1,83             | 7    | 7,19  | 2,02               | 1,7                              | 11,8 | 2,6  | 90,6                | 1,87               | 0,74  |

<sup>(1)</sup> P disponível em mg dm<sup>-3</sup>; <sup>(2)</sup> Índice de Saturação por Sódio; <sup>(3)</sup> COT Carbono Orgânico Total

Nestes solos a mineralogia mostra a convivência de minerais primários e secundários na fração grosseira (areia) (Figuras 8, 9, 10 e 11) e na fração argila a predominância de gibbsita e caulinita.

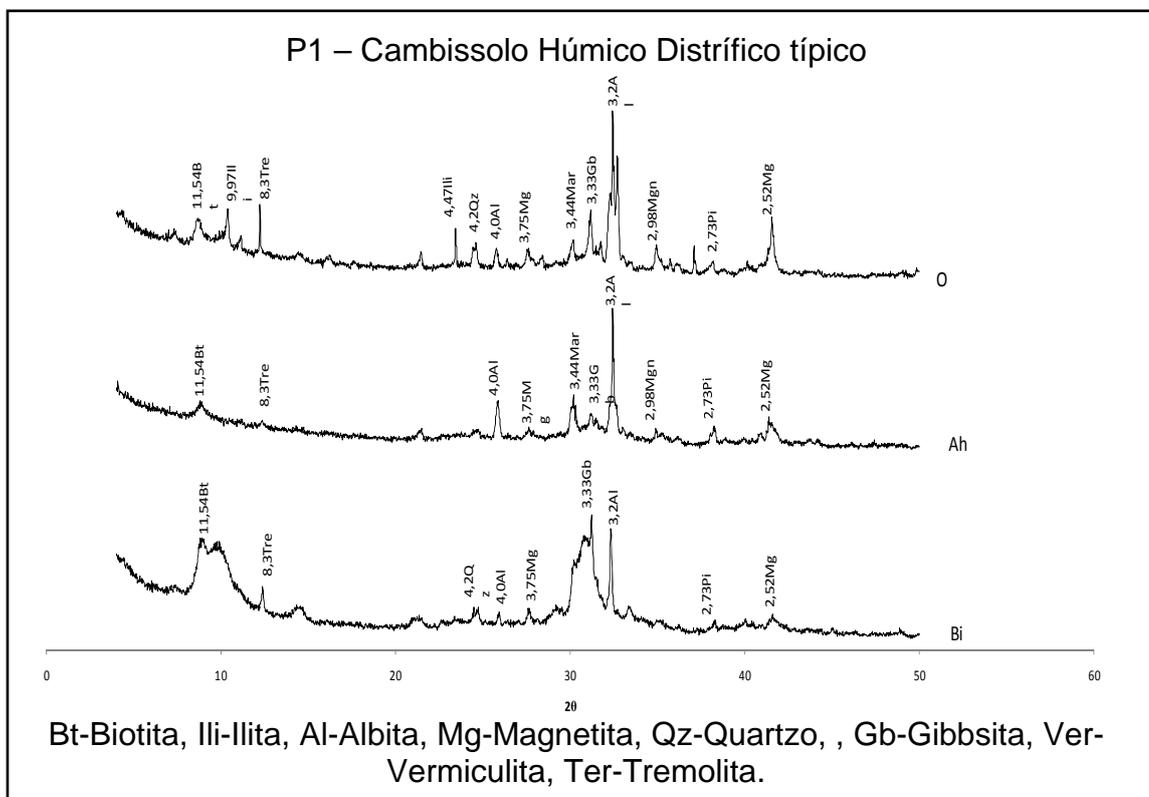


Figura 8. Difratoograma de raios-X da fração areia do perfil 1 da topossequência na Porção Mineira do Parna Itatiaia.

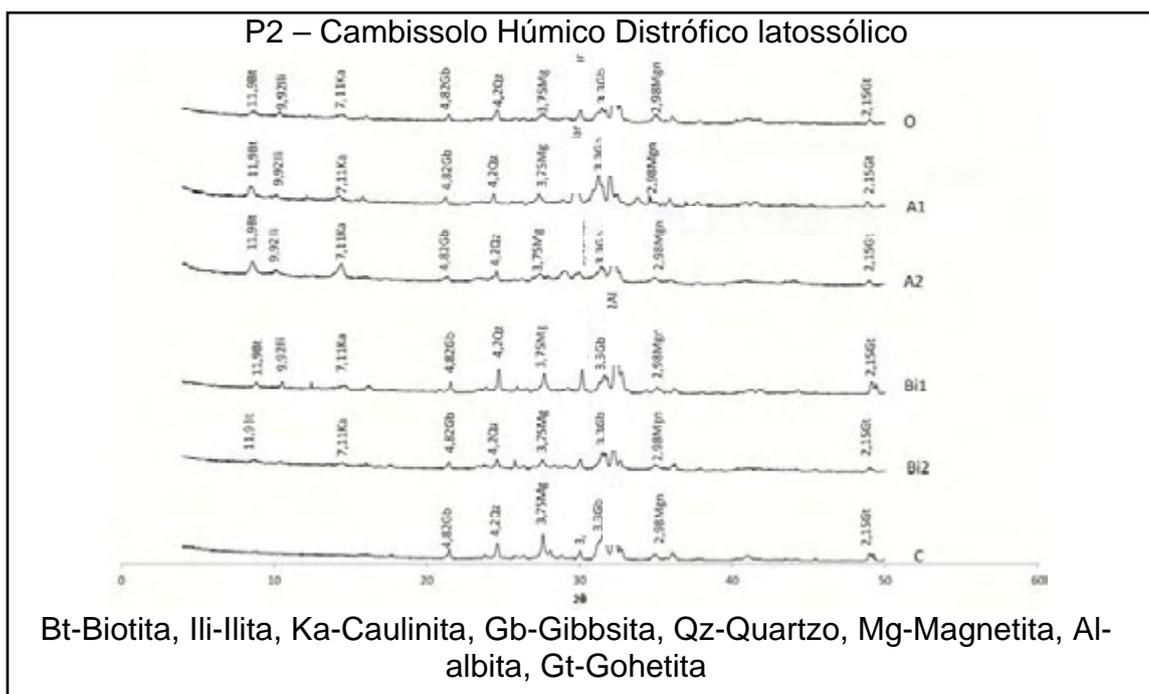
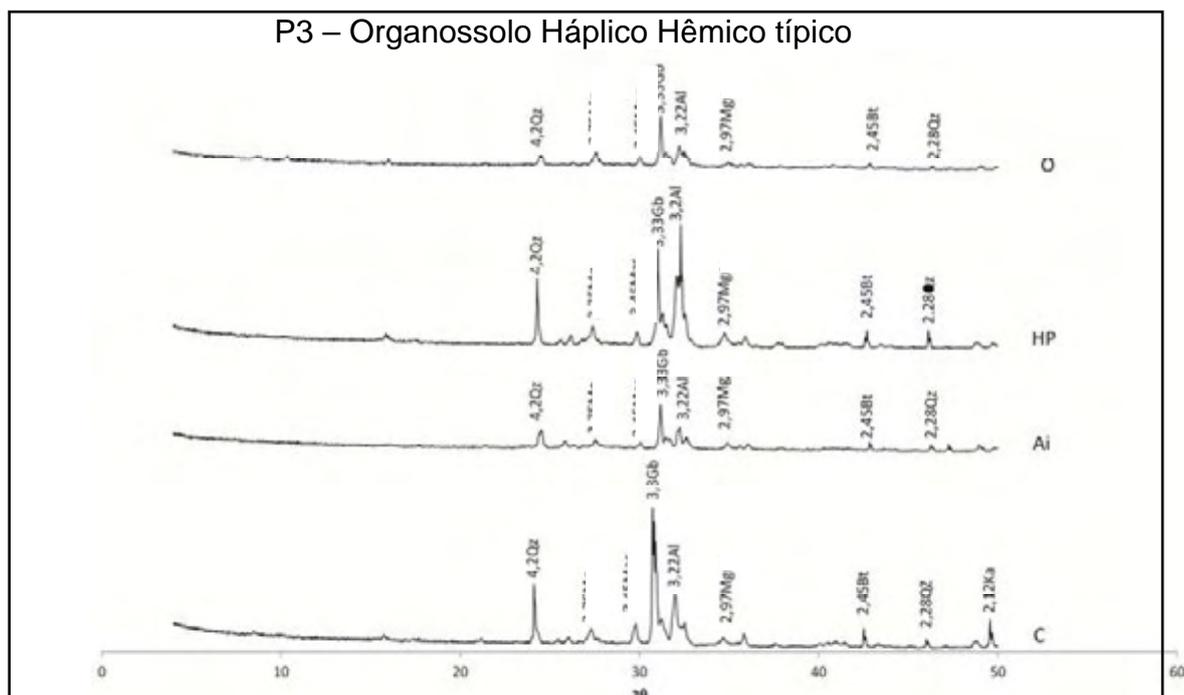
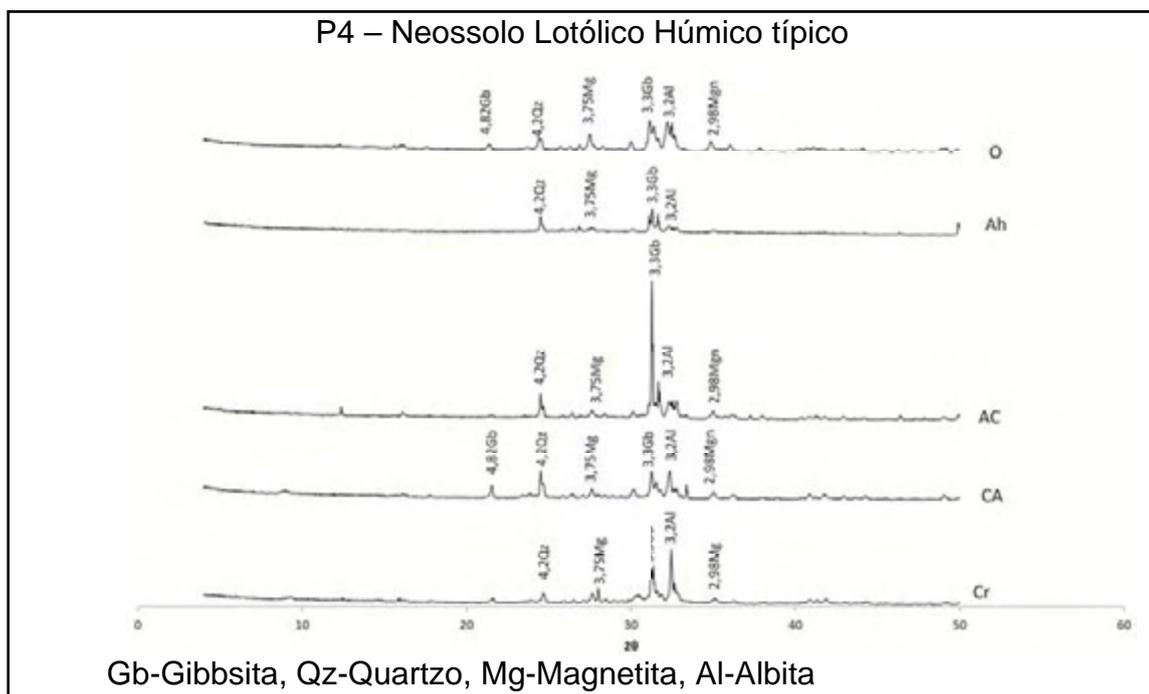


Figura 9. Difratoograma de raios-X da fração areia do perfil 2 da topossequência na Porção mineira do Parna Itatiaia.



Bt-Biotita, Qz-Quartzo, Mg-Magnetita, Gb-Gibbsita, Al-Albita, Ka-Caulinita

Figura 10. Difratoograma de raios-X da fração areia do perfil 3da topossequência na Porção mineira do Parna Itatiaia.



Gb-Gibbsita, Qz-Quartzo, Mg-Magnetita, Al-Albita

Figura 11 - Difratoograma de raios-X da fração areia do perfil 4da topossequência na Porção mineira do Parna Itatiaia.

Na área do Parna Itatiaia, predominam as altitudes elevadas e a acumulação de matéria orgânica nos estágios fábriico (superficial) e hêmico

(subsuperficial) de degradação. A MO fíbrica foi observada principalmente nos Cambissolos Húmicos, até uma altitude aproximada de 2100 m. No Organossolo (acima de 2400 m), observou-se o acúmulo de MO hêmica ou sáprica, revelando maior antiguidade de formação. De toda forma, ambos os tipos de acúmulo de MO representam condições de baixa a intermediária mineralização. Provavelmente, esse fato está associado à barreira imposta aos microorganismos pelas baixas temperaturas e uma acentuada concentração de alumínio nesse ambiente (Figura 12).

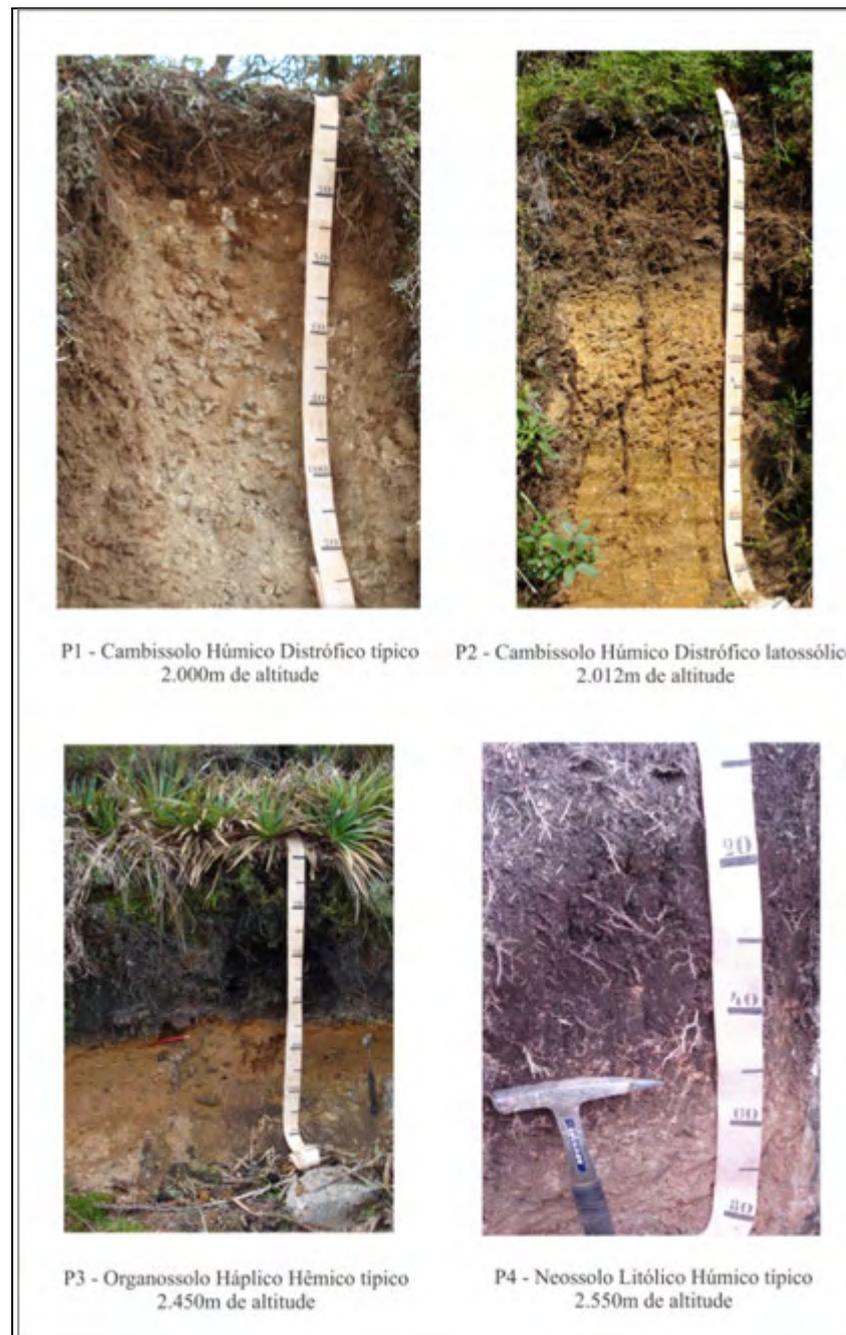


Figura 12. Perfis de solos representativos do Parque Nacional do Itatiaia, no Estado de Minas Gerais.

O acúmulo de matéria orgânica no estágio hêmico de degradação, nos Cambissolos Húmicos (P1 e P2), pode estar associado às características da vegetação, com espécies ricas em ligninas, ceras, resinas e outras moléculas de difícil degradação. Além disso, o complexo matéria orgânica-alumínio (cátion existente em abundância no Itatiaia) funciona como uma limitação aos microorganismos.

Os solos derivados de sienitos (rochas alcalinas) apresentam coloração mais amareladas e algumas vezes pálidas (acinzentadas e esbranquiçadas). Os baixos teores de ferro existentes nestes solos ( $< 8 \text{ dag K}^{-1}$ ) conferem aos mesmos uma característica hipoférrica, com exceção do horizonte Bi do P1 (Cambissolo Húmico Distrófico típico), juntamente com a presença de elevados teores de matéria orgânica, que, por sua vez, podem reduzir a atividade do ferro em solução via complexação, inibindo a formação da hematita.

Ao contrário do Caparaó, em todos os perfis estudados o índice de saturação por sódio é muito baixo, não prevalecendo neste ambiente a atuação das chuvas no aporte de Na.

### **3.3. Atributos Físicos e Químicos**

#### **3.3.1. Cambissolo Húmico Distrófico típico**

O perfil 1 foi aberto em uma altitude aproximada de 2000 m sob uma vegetação formada por Escrubes e Campo com Candeias, em declividade acentuada (45%) e relevo montanhoso, sendo classificado como Cambissolo Húmico Distrófico típico. Possui textura franco-argilosa, com teores de argila variando de 27 a 37  $\text{dag K}^{-1}$ , bem como de 18 a 33  $\text{dag K}^{-1}$  de silte e 15 a 37  $\text{dag K}^{-1}$  de areia grossa a partir do horizonte A Húmico. Os teores de areia fina ficam entre 15 a 18  $\text{dag K}^{-1}$  ao longo do perfil. Apresenta oligotrofismo e acidez elevada nos horizontes superficiais (O e Ah), e acidez (Bi e Cr) média nos subsuperficiais.

Apresentam valores de Ca, Mg, K e Na muito baixos, decaindo ao longo do perfil, resultando em um oligotrofismo herdado do saprolito quimicamente pobre. O solo mostra baixos índices de saturação por bases, ao longo do perfil (5,5% ou menor). Apresentam os menores índices de saturação por alumínio

em relação aos demais solos estudados, mas, demonstra ainda valores elevados, entre 30 a 80% ao longo dos horizontes superficiais (O e Ah). Apresenta valores negligenciáveis ou nulos de acidez trocável (alumínio trocável) ao longo de todo o perfil.

Tal fato sinaliza que a ação dos complexos estáveis de alumínio e matéria orgânica estabilizam a MO e a tornam mais resistente à decomposição microbiana em solos tropicais e subtropicais, como estes estudados. (VOLKOFF et al., 1994; MENDONÇA, 1995 e BENITES, 2000).

A CTC efetiva é muito baixa, decaindo ainda mais nos horizontes subsuperficiais (0,7 a 0,2  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) também em função da redução do COT confirmando a participação dos colóides orgânicos na geração de cargas ao longo do perfil. (BENITES et al., 2000; BENITES et al., 2003).

Este solo apresenta valores elevados e anômalos de P, fato este que deve estar associado com veios de carbonatito. Assim, houve precipitação de apatita, ao longo de fraturas, acumulando valores consideráveis de fosfato (magmatismo hidrotermal).

### **3.3.2. Cambissolo Húmico Distrófico latossólico**

O perfil 2 foi aberto a uma altitude aproximada de 2012 m, sob uma vegetação de Escrubes e Campo com Candeias com declividade entre 45 a 75% em relevo montanhoso, sendo classificado como Cambissolo Húmico Distrófico latossólico, com classe textural franco-argilosa a argila. Possui teores de argila variando de 36 a 50  $\text{dag Kg}^{-1}$ , bem como de 24 a 27  $\text{dag Kg}^{-1}$  de silte e 14 a 15  $\text{dag Kg}^{-1}$  de areia grossa nos horizontes subsuperficiais (Bi1, Bi2 e C) e de 22 a 24  $\text{dag Kg}^{-1}$  nos horizontes superficiais (A1 e A2). Os teores de areia fina variam entre 09 a 18  $\text{dag Kg}^{-1}$  ao longo do perfil.

Como pode ser visto ao longo do perfil, a textura mais fina (granulometria) predomina, sinalizando para um perfil mais homogêneo, principalmente nos horizontes subsuperficiais Bi1, Bi2 e C, apresentando um manto pedogenizado mais profundo.

Este solo apresenta horizonte A Húmico e oligotrofismo, acompanhado dos maiores índices de saturação por alumínio (76 a 91%) e valores muito baixos de saturação por bases. Este perfil apresenta no horizonte A1 matéria orgânica de fase fíbrica e hêmica no horizonte A2. Este

material é oriundo de briófitas e pteridófitas que vão se acumulando no solo devido à baixa mineralização, proporcionando ao solo tonalidades mais amarronzadas. A matéria orgânica é formada praticamente pela fração humina. Devido aos altos índices de saturação por alumínio, este perfil demonstra característica de hidrofobicidade, oriunda da policondensação formada pelo alumínio, impedindo a infiltração da água, propiciando uma maior morfogênese do solo, carreando o material superficial (transporte de colúvio) depositando-o em áreas mais baixas do Itatiaia, possibilitando a renovação das camadas mais superiores.

Outro fato importante observado neste perfil e frequente em ambientes altimontanos é o processo chamado iluviação de MO (espodização), este, é responsável pela migração de substâncias humificadas concentrando-se na base do horizonte A2 e topo do horizonte B menos permeável. Neste solo, apesar do processo de podzolização, não foi observado o horizonte E mais claro, devido à virtual ausência de quartzo na rocha. Com a pouca presença de quartzo no ambiente, a hidrólise destrói o feldspato inteiramente e o  $Al^{3+}$  fica complexado com a matéria orgânica (Alumínio iônico), não sobrando sílica livre para formar o horizonte E.

Como observado no perfil 1, os valores muito baixos de Ca, Na, P e K que se reduzem em profundidade, evidenciam a extrema química do saprolito e a ausência de reposição via intemperismo.

### **3.3.3. Organossolo Háplico Hêmico típico**

O perfil 3 foi aberto em um vale estrutural suspenso (soerguido), a cerca 2 milhões de anos, entre o Plioceno e Pleistoceno, sobre uma rocha ígnea plutônica (sienito), de textura holocristalina grossa leucocrática, composta principalmente por feldspatos. Com o soerguimento (tectônica) deste vale, ocorreu um rebaixamento do nível de base (drenagem) ocasionando o desaparecimento dos brejos formadores de turfeiras de altitude.

Este perfil está situado a uma altitude aproximada de 2450 m, com declividade entre 8 a 20% (morfologia forte ondulada) sob vegetação de Campo de Altitude. Os valores de Ca, Mg, K e Na são negligenciáveis em profundidade. Apresenta acidez elevada nos horizontes superficiais (O e A1), altos índices de saturação por alumínio e baixos índices de acidez trocável

(alumínio trocável). Outro fato importante que pode ser observado neste solo é a formação de horizonte plácico (Ortstain), onde se concentram altos teores de ferro (Tabela 2). Tal fato pode estar associado ao soerguimento da área de estudo e o conseqüente rebaixamento do nível de base (drenagem), favorecendo a oxidação do pouco ferro existente neste ambiente.

Tabela 2. Micronutrientes dos perfis representativos da porção mineira do Parna Itatiaia.

| Horizonte  |            | Micronutrientes |       |      |      |
|--|------------|-----------------|-------|------|------|
| Símbolo  | Prof. (cm) | Zn              | Fe    | Mn   | Cu   |
| ----- mg dm <sup>3</sup> -----                     |            |                 |       |      |      |
| <b>P1-Cambissolo Húmico Distrófico típico</b>      |            |                 |       |      |      |
| O  | 0-3        | 0.88            | 121.2 | 84.4 | 0.09 |
| Ah   | 3-20       | 2.21            | 73.5  | 29.1 | 0.04 |
| Bi   | 20-40      | 0.78            | 22.2  | 3    | 0    |
| Cr   | 40-100     | 0.46            | 16.4  | 1.7  | 0    |
| <b>P2-Cambissolo Húmico Distrófico latossólico</b> |            |                 |       |      |      |
| O  | 0-5        | 1.85            | 104.2 | 12.7 | 0    |
| A1   | 5-35       | 2.34            | 101   | 10.2 | 0.03 |
| A2   | 35-55      | 1.3             | 57.7  | 13.1 | 0    |
| Bi1  | 55-70      | 1.08            | 37    | 1.9  | 0    |
| Bi2  | 70-140     | 1.21            | 38.5  | 1    | 0    |
| C  | 140-160    | 0.69            | 30.1  | 2.6  | 0    |
| <b>P3-Organossolo Háplico Hêmico típico</b>        |            |                 |       |      |      |
| O  | 0-5        | 2.14            | 77.8  | 35   | 0.22 |
| A Hístico  | 5-65       | 1.04            | 49.4  | 9.1  | 0    |
| H Plácico  | 65-68      | 0.47            | 213.3 | 0.4  | 0    |
| C  | 68-90+     | 0.5             | 37.5  | 2.3  | 0.01 |
| <b>P4-Neossolo Litólico Húmico típico</b>          |            |                 |       |      |      |
| O  | 0-3        | 2.98            | 159.1 | 34.6 | 0    |
| A1   | 3-20       | 0.8             | 99.4  | 2.1  | 0    |
| Ah   | 20-45      | 0.56            | 80.3  | 0.5  | 0    |
| AC   | 45-70      | 0.49            | 66.7  | 1.2  | 0    |
| C  | 70-90+     | 0.64            | 43.8  | 4    | 0    |

(1) Extraídos pelo Mehlich-1

### 3.3.4. Neossolo Litólico Húmico típico

O perfil 4 foi aberto a uma altitude aproximada de 2550 m, com declividade entre 20 a 45% (morfologia forte ondulada), sob vegetação de Campo de Altitude. Foi classificado como Neossolo Litólico Húmico típico, de classe textural franco-argilosa. Apresenta acidez elevada, oligotrofismo, altos índices de saturação por alumínio ao longo do perfil e baixos índices de

alumínio trocável e valores baixíssimos de saturação por bases (< 0,8). Os valores de Ca, Mg, K e P, mostram-se negligenciáveis, decaindo ao longo do perfil. Tal fato evidencia a pobreza química da rocha, onde a CTC é praticamente exclusividade da fração orgânica do solo, em virtude da baixa atividade da fração argila neste perfil. Como acontecem nos demais solos anteriormente estudados, em condições de fitotoxidez de alumínio, as plantas produzem compostos fenólicos reduzindo a degradabilidade da M.O, e contribuindo para sua acumulação, em conjunto com as temperaturas muito baixa (DAVIES et al., 1964).

### 3.3.5. Características Mineralógicas da Fração Argila e Relações Moleculares Ki e Kr

Todos os solos horizontes estudados exibem valores das relações moleculares Ki e Kr, inferiores a 2,0 variando de 0,8 a 1,9 para Ki e 0,3 a 1,0 para Kr. Tais valores sinalizam para solos muito intemperizados. (Tabela 3)

Tabela 3. Resultados do ataque sulfúrico dos perfis representativos do Parna Itatiaia

| Ataque Sulfúrico                            |           |                                |                  |                               |      |                                |      |      |
|---|-----------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------|--------------------------------|------|------|
| Horizonte                                   | Prof.(cm) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Ti   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ki   | Kr   |
| .....%.....                                 |           |                                |                  |                               |      |                                |      |      |
| P1-Cambissolo Húmico Distrófico típico      |           |                                |                  |                               |      |                                |      |      |
| Bi  | 20        | 26,07                          | 12,86            | 0,08                          | 0,37 | 8,4                            | 0,84 | 0,37 |
| P2-Cambissolo Húmico Distrófico latossólico |           |                                |                  |                               |      |                                |      |      |
| Bi1   | 15        | 27,42                          | 30,43            | 1,72                          | 0,91 | 6,01                           | 1,9  | 0,9  |
| Bi2   | 70        | 27,04                          | 14,33            | 0,07                          | 0,43 | 6,22                           | 0,9  | 0,43 |
| P3-Organossolo Háplico Hêmico típico        |           |                                |                  |                               |      |                                |      |      |
| Hp  | 3         | 17,9                           | 17,9             | 0,1                           | 0,7  | 7,6                            | 1,7  | 0,7  |
| C   | 22+       | 21,4                           | 27,1             | 0,53                          | 1    | 5,5                            | 1,9  | 1    |
| P4-Neossolo Litólico Hêmico típico          |           |                                |                  |                               |      |                                |      |      |
| AC  | 25        | 21                             | 23,5             | 0,11                          | 0,93 | 4,15                           | 1,9  | 0,93 |
| C   | 20+       | 21,15                          | 15,1             | 0,07                          | 0,58 | 5,5                            | 1,2  | 1    |

Tal condição pode ser comprovada nas características mineralógicas, onde predominam solos gibbsíticos e caulíníticos (Figuras 13, 14, 15 e 16). Os teores de ferro dos solos analisados estão entre 4,1 e 8,4 dag K<sup>-1</sup>, indicando solos hipoférricos (< 8% Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub>) (EMBRAPA, 1999).

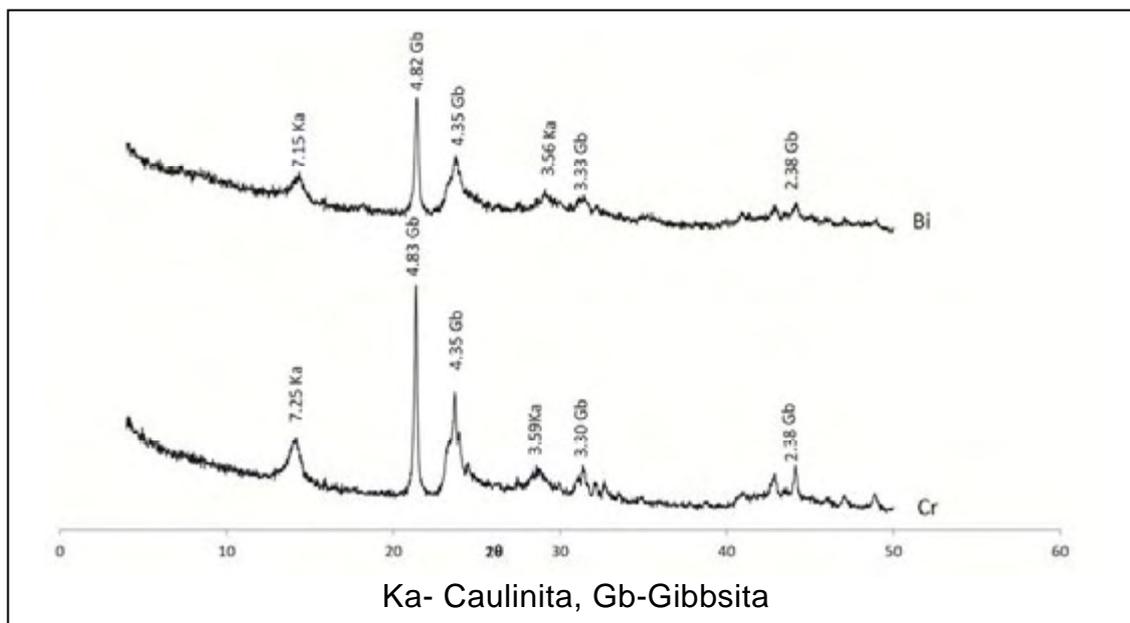


Figura 13. Difratoograma de raios-X da fração argila do P1-Cambissolo Húmico Distrófico típico da topossequência na Porção mineira do Parna Itatiaia.

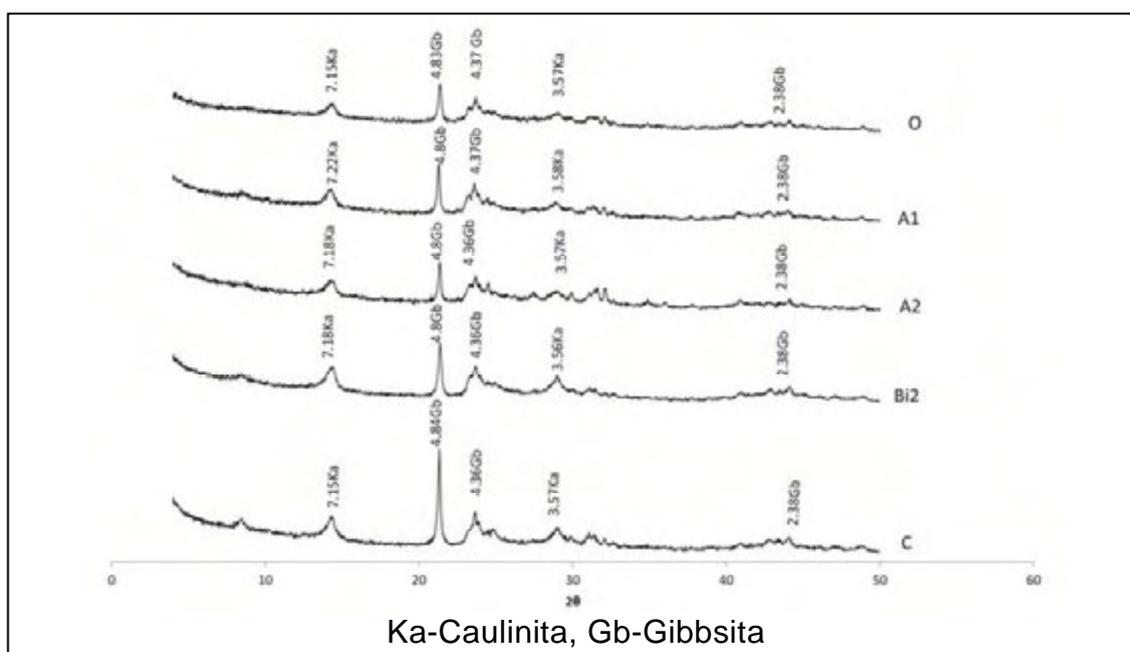


Figura 14. Difratoograma de raios-X da fração argila do P2-Cambissolo Húmico Distrófico típico da topossequência na Porção Mineira do Parna Itatiaia.

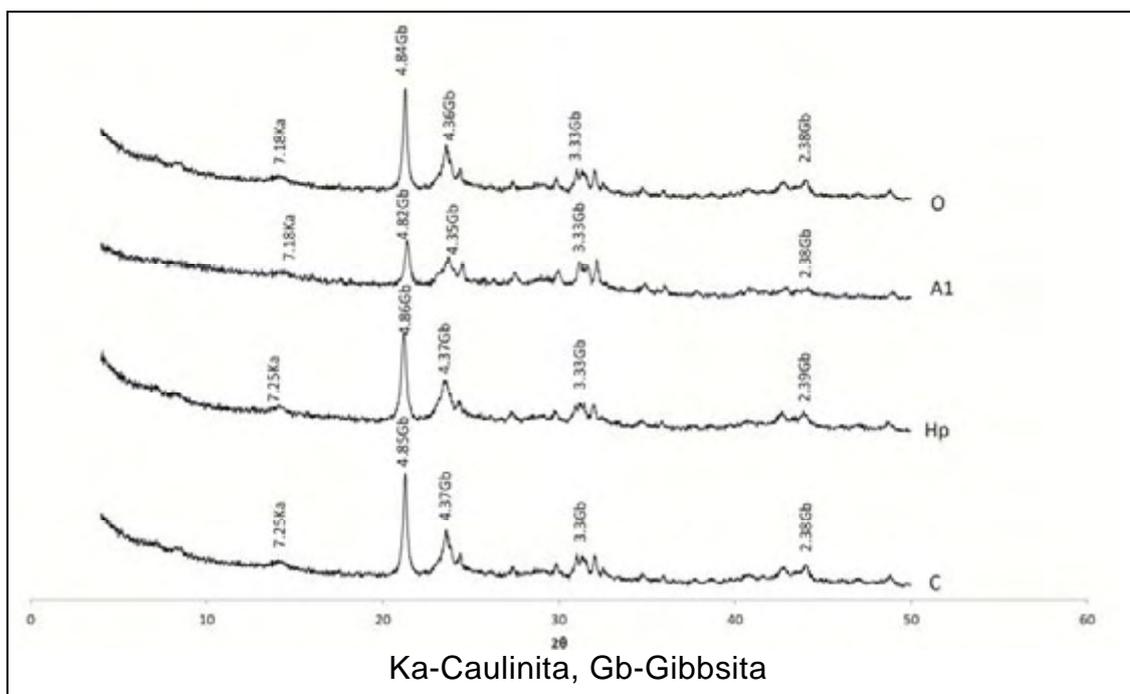


Figura 15. Difratoograma de raios-X da fração argila do P3-Organosolo Háplico Hêmico típico da topossequência na Porção Mineira do Parna Itatiaia.

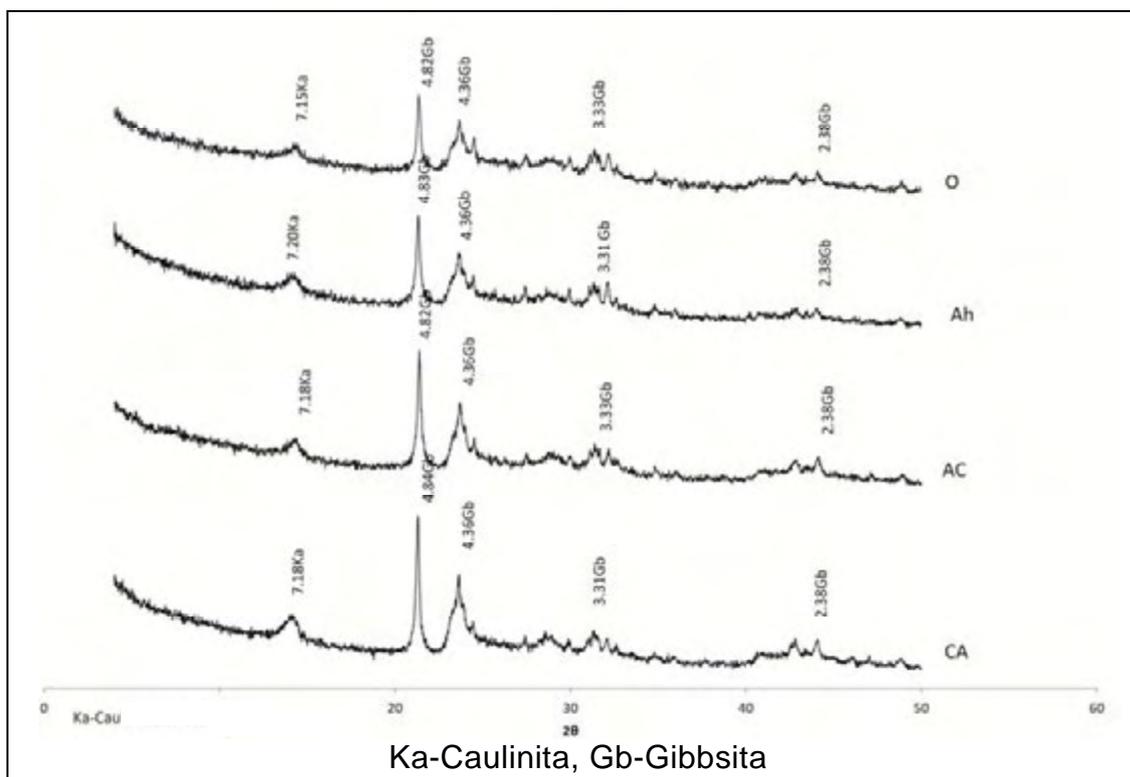


Figura 16. Difratoograma de raios-X da fração argila do P4-Neossolo Litólico Húmico típico da topossequência na Porção mineira do Parna Itatiaia.

Os baixos teores de ferro existente podem favorecer a formação da goethita. Além disso, solos formados sobre sienito, além de mostrarem baixos valores de  $Fe_2O_3$ , somado a altitudes elevadas dos ambientes altimontanos, observam-se teores elevados de MO, podendo a mesma, reduzir a atividade do ferro em solução via complexo organo-mineral, inibindo a formação da hematita.

No perfil 3 (Organossolo Háplico Hêmico típico) foi possível identificar um horizonte plácico. Esta feição é oriunda do pouco ferro existente no solo movimentado por fluxo lateral, formando uma lamela secundária de  $Fe_2O_3$ . Foi ocasionada pela migração e oxidação do ferro após soerguimento da turfeira e rebaixamento do nível de base, ocorrido desde o Holoceno.

Neste mesmo perfil nota-se a presença de mineral primário (feldspato) associado a minerais secundários (fração areia) como a caulinita e a gibbsita (resultado do intemperismo rápido do feldspato).

### **3.4. Fracionamento Quantitativo das Substâncias Húmicas**

O fracionamento quantitativo das substâncias húmicas dos solos da porção mineira do Parna Itatiaia e de seus respectivos horizontes revelou variações na distribuição das diferentes formas de carbono.

De maneira geral, a maior parte da fração humina se acumula nos horizontes A dos perfis dos solos representativos da topossequência. A presença Fração Humina em profundidade mostra um acúmulo considerável, este atrelado à extrema estabilidade desta fração (Tabela 4). No perfil 2, no Cambissolo Húmico Distrófico latossólico sua incorporação em profundidade pode ser atribuída a pedoturbação promovida por organismos do solo que atuam na incorporação da matéria orgânica em profundidade, ao longo do tempo geológico (MIKLÓS, 1992 e SCHAEFFER, 2001). A relação AH/AF mostrou nos horizontes mais subsuperficiais, valores em queda, fato associado à maior mobilidade da fração ácidos fúlvicos ao longo dos perfis estudados.

No complexo de Escrubes com Campo e Candeias do Parna Itatiaia, geralmente associados ao porte Subarbustivo-Arbóreo, são encontrados os Cambissolos Húmicos Distróficos latossólicos.

O fracionamento de substâncias húmicas indica evidências de podzolização no horizonte B do perfil 2 do Cambissolo Húmico Distrófico

latossólico, onde a fração ácidos fúlvicos são normalmente mais solúveis, acumulando-se nos horizontes mais subsuperficiais.

Tabela 4. Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas da Porção Mineira do Parna Itatiaia

| Ponto  | Horizonte | Prof.(cm) |       | Soma            | H      | AH     | AF     | AH/AF |
|--|-----------|-----------|-------|-----------------|--------|--------|--------|-------|
|  |           |           |       | .....Mg/ha..... |        |        |        |       |
| <b>P1-Cambissolo Humico Distrofico tipico-2000m</b>      |           |           |       |                 |        |        |        |       |
| P1   | O         | 3         |       | 33.87           | 22.47  | 7.92   | 3.48   | 2.27  |
|  | Ah        | 17        |       | 140.93          | 82.96  | 39.61  | 17.85  | 2.21  |
|  | Bi        | 20        |       | 36.00           | 20.00  | 5.80   | 9.60   | 0.60  |
|  | Cr        | 60        |       | 36.6            | 25.80  | 2.40   | 8.40   | 0.58  |
|  |           |           | Total | 247.48          | 151.23 | 55.73  | 39.33  | 1.46  |
| <b>P2-Cambissolo Humico Distrofico latossolico-2012m</b> |           |           |       |                 |        |        |        |       |
| P2   | O         | 5         |       | 70.80           | 47.95  | 17.40  | 5.45   | 3.19  |
|  | A1        | 30        |       | 301.2           | 186.00 | 84.30  | 30.90  | 2.72  |
|  | A2        | 20        |       | 170.0           | 92.20  | 56.20  | 21.60  | 2.60  |
|  | Bi1       | 15        |       | 65.10           | 33.90  | 20.85  | 10.35  | 2.00  |
|  | Bi2       | 70        |       | 126.70          | 72.10  | 24.50  | 30.10  | 0.81  |
|  | C         | 20        |       | 24.40           | 19.80  | 0.40   | 4.20   | 0.092 |
|  |           |           | Total | 758.20          | 451.95 | 203.65 | 102.60 | 1.98  |
| <b>P3-Organossolo Háplico Hêmico típico-2450m</b>        |           |           |       |                 |        |        |        |       |
| P3   | O         | 5         |       | 55.70           | 47.00  | 14.05  | 5.65   | 2.48  |
|  | Ai        | 60        |       | 658.20          | 406.80 | 245.40 | 49.20  | 4.98  |
|  | H Plácico | 3         |       | 9.30            | 5.43   | 1.35   | 2.70   | 0.50  |
|  | C         | 22+       |       | 39.60           | 22.00  | 4.84   | 8.58   | 0.56  |
|  |           |           | Total | 762.80          | 481.23 | 265.64 | 66.13  | 4.00  |
| <b>P4-Neossolo Litólico Húmico típico-2550m</b>          |           |           |       |                 |        |        |        |       |
| P4   | O         | 3         |       | 44.61           | 29.19  | 12.03  | 3.30   | 3.64  |
|  | Ah        | 17        |       | 105.74          | 67.66  | 41.65  | 18.70  | 2.22  |
|  | A1        | 25        |       | 231.50          | 116.00 | 93.50  | 25.50  | 3.66  |
|  | Ac        | 25        |       | 90.75           | 84.00  | 16.75  | 23.00  | 0.73  |
|  | Cr        | 20+       |       | 29.00           | 24.20  | 0.40   | 7.60   | 0.05  |
|  |           |           | Total | 501.60          | 321.05 | 164.33 | 78.10  | 2.10  |

Soma-Total de Carbono no perfil (Mg); H-Carbono na fração humina; AF-Carbono na fração ácidos fúlvicos; AH-Carbono na fração ácidos húmicos; AH/AF-Relação entre ac.húmicos e ac.fúlvicos.

#### 4. CONCLUSÕES

Na topossequência estudada, os resultados das características mineralógicas e as relações moleculares  $K_i$  e  $K_r$  demonstram o predomínio de solos gibbsíticos, com pouca caulinita.

Os atributos químicos mostraram que os solos da topossequência apresentam acidez elevada, baixíssimos índices de saturação por bases, resultando em solos de caráter distrófico e CTC baixíssima.

Os solos evidenciam grau de intemperismo avançado, mesmo quando jovens e rasos (RLd, CXHd) evidenciando o pré-intemperismo dos materiais de origem e a rápida transformação dos feldspatos em gibbsita.

Os solos da topossequência, apesar de apresentarem elevados índices de saturação por alumínio, os valores de alumínio trocável (acidez trocável) são baixos, chegando a negligenciáveis nos horizontes subsuperficiais. Tal fato sinaliza que a ação dos complexos estáveis de alumínio e matéria orgânica estabiliza a MO e a torna mais resistente à decomposição microbiana nos ambientes altimontanos de Minas Gerais.

Apesar da ocorrência de iluviação (espodização) no perfil 2, não foi possível observar a formação de horizonte E na topossequência estudada no Parque Nacional do Itatiaia, fato que pode ser explicado pela pobreza em quartzo no ambiente.

Na área de ocorrência da tipologia vegetal Escrubes e Campo com Candeias, o oligotrofismo, solos mais rasos e a posição mais exposta na paisagem são obstáculos para a ocorrência de uma tipologia florestal mais densa.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A.N.; BERNARDES, N. 1958. **Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo**. 18º Congresso Internacional de Geografia – Rio de Janeiro, Guia de Excursão (4) 303 p.
- ALMEIDA, F.F.M. **Origem e evolução da plataforma brasileira**. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro, n.241, p.1-36, 1967.
- AMARAL, G. BUSH, J; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K. REYNOLDS, J.H. 1967. **Potassium-argon ages of alkaline rocks from Brazil**. Geoch. Cosmoch. Acta. 31:117-142.
- BAILEY, S.W. Chlorites. In: GIESEKING, G.E. ed. **Soil components. Inorganic components**. New York, Springer, 1975. v.2. p.191-263.
- BARNHISEL, R.I.; BERTSCH, P.M. **Chlorites and hydroxyl-interlayered vermiculite and smectite**. In: DIXON, J.B e WEED, S.B., eds. Minerals in

soil environments. Madison, soil Science Society of America, 1989. P.729-788.

BEISSNER et al. **The Cataguazes Bauxite Deposit**. In: CARVALHO, A.; BOULANGÉ, B.; MELFI, A.J.; LUCAS, Y. Brazilian Bauxites. São Paulo-Paris: USP/FAPESP/ORSTOM, 1997. (195-207). 331 p.

BENITES, V.M. et al. **Solos e Vegetação nos Complexos Rupestres de Altitude da Mantiqueira e do Espinhaço**. Floresta e Ambiente, V. 10, n.1, p.76 - 85, jan./jul. 2003.

BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, E.S. e MARTIN NETO, L. **Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro**. Rev. Bras. Ci. Solo, 25:661-674, 2001.

BENITES, V.M.; KER, J.C. e MENDONÇA, E.S. **Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas como auxiliar na identificação de diferentes solos da região Sul do Brasil – VI RCC**. p.184-192, In Curcio et al.(Eds.).Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. EMBRAPA Florestas, Colombo, 2000.

BRADE, A.C. **A flora do Parque Nacional do Itatiaia**. Boletim do Parque Nacional do Itatiaia, 5, 1-114, 1956.

BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G., TURSINA, T., BABEL, U. **Handbook for soil thin section description**. Waine Research Publications – Wolverhampton, 1985. 366p.

CHRISTOFOLETTI, A. 1967. **Os matacões da Serra dos Cocais**. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, 7(13/14): 23-30.

DAVIES, R.I., COULSON, C.B., LEWIS, D.A. **Polyphenols in plant humus and soil: 3**. J. SoilSci., London, v.15, p.299-309, 1964.

DAVIES, R.I., COULSON, C.B., LEWIS, D.A. **Polyphenols in plant humus and soil: 3**. J. SoilSci., London, v.15, p.299-309, 1964

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 1997. 26p. (Boletim de extensão, 29).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Manual de métodos e análises de solo. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: 306p, 2ªed. 2006.

FITZPATRICK, E.A. **Soil Microscopy and Micromorphology**. John Wiley Chichester. A993. 304p. 1993.

FLETCHER, R.C.; BUSS, H.L.; BRANTLEY, S.L. **A spheroidal weathering model coupling porewater chemistry to soil thicknesses during**

- steady-state denudation.** Earth and Planetary Science Letters 244 (2006) 444–457.
- GAUTTIERI, M.C. M. & TOLEDO, M.C.M. **Weathering and formation of deposits in the tropical highlands of Itatiaia – southeastern Brazil.** Revista Catena, 1996, p.81-103.
- IBAMA. 1997. **Brasil: Parques Nacionais.** São Paulo: Empresa das Artes, Brasília: Ministério do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal.
- IBDF (1982a). **Plano de Manejo do Parque Nacional do Itatiaia.** M.A. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. IBDF/FBCN. Brasília. 207 p.
- KÖPPEN, W. & Geiger, R. **Classificação climática de Köppen-Geiger.** 1936.
- LANI, J.L. REZENDE, S.B.; RESENDE, M. **Estratificação de Ambientes com base nas classes de solos e outros atributos na Bacia do rio Itapemirim: Espírito Santo.** Ceres, Viçosa - MG: v.48, p239-262, 2001.
- LAUAR, C.R.M., 1988. Estudo paleomagnético dos maciços alcalinos e Poços de Caldas, Passa Quatro e Itatiaia. Dissertação de mestrado, LAG – USP, 101 p.
- MARTIN, J.P.; ZUNINI, H.; PEIRANO.; CAIOZII, M; HAIDER, K. **Decomposition of 14C-Labelled lignins, model humic acid polymers, and fungal melanin in allophonic soil.** Soil Biology and Biochemistry, Oxford, v14, p. 289-293, 1982
- MENDONÇA, E.S. **Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de latossolos.** R. Bras. Ci. Solo. 19:25-30, 1995.
- MODENESI, M.C. **Depósitos de vertente e evolução quaternária do planalto do itatiaia.** Rev. IG, São Paulo, 13(1), 31-46, jan./jun. 1998.
- MUNSELL. **Soil Color Charts.** Maryland: 1994.
- OADES, J.M. **The retention of organic matter in soils.** Biogeochem.5: 35-70, 1988.
- OLLIER, C.D. **Causes of spheroidal weathering.** Earth-Sci. Rev. 7 (1971) 127–141.
- PENALVA, F. 1967. Geologia Tectônica da Região do Itatiaia (Sudeste do Brasil) F.F.C.L. – USP Bol. (302) – Geol. (22)95-106.
- PINTO, L.F.S e KAMPF, N. **Solos derivados de rochas ultramáficas no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul.** R.Bras. Ci. Solo, 20:447-458, 1996.
- RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais: Folhas SF23/24 Rio Janeiro/Vitória;** Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. 780p.

- RESENDE, M. & SANTANA, D.P. **Uso das relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para a classificação dos Latossolos.** In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, Embrapa – SNLCS, SBCS, 1988. p.225- 232.
- RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brasil.** Lafayette: Purdue University, 1976. 237p. Thesis (Ph.D.) - PurdueUniversity, 1976.
- RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos sociológicos e florísticos.** São Paulo: EDUSP, 1997. 374p.
- RUIZ, H.A. **Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila).** R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B. **Elementos do meio físico e a gestão de Unidades de Conservação, p.12-15.** In: Plano de Manejo para Unidades de Conservação: Elaboração, Desafios e Aplicações, Revista Ação Ambiental, ed. UFV, Viçosa-MG. ano X, 2007.
- SIMAS, F.N.B. et al. **Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil.** Revista Geoderma 125, p.187-201, 2005.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R. & LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro: 1991, 123p.
- VOLKOFF, B.; MELFI, A.J.; CERRI, C.C. **Solos podzólicos e cambissoloseutróficos do alto rio Purus (Estado do Acre).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.13, n.3, p. 363-372, 1994.

## CONCLUSÕES GERAIS

Em ambas as topossequências estudadas os resultados das características mineralógicas e as relações moleculares  $K_i$  e  $K_r$  demonstram o predomínio de solos gibbsíticos, com pouca caulinita.

Os atributos químicos mostraram que os solos das topossequências apresentaram acidez elevada, baixíssimos índices de saturação por bases, resultando em solos de caráter distrófico e CTC baixíssima.

Os solos evidenciam grau de intemperismo avançado, mesmo quando jovens e rasos (RLd, CXHd) evidenciando o pré-intemperismo dos materiais de origem e a rápida transformação dos feldspatos em gibbsita.

Os solos das duas topossequências, apesar de apresentarem elevados índices de saturação por alumínio, os valores de alumínio trocável (acidez trocável) são baixos, chegando a negligenciáveis nos horizontes subsuperficiais. Tal fato sinaliza que a ação dos complexos estáveis de alumínio e matéria orgânica estabiliza a MO e a torna mais resistente à decomposição microbiana nos ambientes altimontanos de Minas Gerais.

Nas duas topossequências estudadas, na área de ocorrência das tipologias vegetais escrubes e campo com candeias, o oligotrofismo, solos mais rasos e a posição mais exposta na paisagem são obstáculos para a ocorrência de uma tipologia florestal mais densa.

O acúmulo de carbono nos solos é influenciado pelas temperaturas mais baixas, pelo oligotrofismo e a presença de  $Al^{3+}$ , criando um ambiente de reduzida decomposição e complexação da matéria orgânica no solo (MOS). A distribuição do carbono ao longo dos perfis representativos está relacionada a características pedogeomorfológicas, qualidade da matéria orgânica e posição na paisagem.

Entre as frações húmicas, a humina predomina em todos os horizontes A dos perfis representativos dos Parques Nacionais do Caparaó e Itatiaia com exceção dos horizontes Bw2 e Bw3 do Latossolo (Caparaó), este atrelada à estabilidade desta fração promovida por organismos do solo que atuam na incorporação da matéria orgânica em agregados mais estáveis.

Através do fracionamento quantitativo das substâncias húmicas no Parna Caparaó foi possível observar amostras com alto grau de humificação

como nas áreas de turfeiras com Organossolo Háplico Sáprico típico, evidenciando a importância dos ambientes altomontanos na imobilização do carbono no solo, com valores que alcançam 1120,50 Mg por hectare.

Os resultados da micromorfologia revelaram a ocorrência de uma rede de micro-estruturas (micro-fraturamentos/diáclases) responsáveis pela recarga das águas mais profundas e pela quebra química (intemperismo) dos minerais que compõem a litologia da área estudada. Esta situação que pode ser evidenciada no P2 do Parna Caparaó (Cambissolo Húmico Distrófico típico), com grãos de quartzo apresentando forte corrosão poligonal.

Outro fato importante atrelado a presença dessas micro-fraturas (atuação de águas profundas), que condicionam o intemperismo, está na formação de blocos/matacões expostos nas entostas do Parna Itatiaia.

No Parna Caparaó, o Latossolo Amarelo Distrófico húmico (P1) apresentou os maiores índices de saturação por bases em relação aos demais perfis amostrados. Tal fato pode ser evidenciado no horizonte A1 com 56% de saturação por bases, devido ao transporte de colúvio juntamente com uma maior ciclagem que os demais perfis de solos.

Apesar da ocorrência de iluviação (espodização) no perfil 2 (Parna Itatiaia), não foi possível observar a formação de horizonte E, fato que pode ser explicado pela pobreza em quartzo no ambiente.

A formação de horizonte plácico no Organossolo do Parna Itatiaia, é resultado da ação tectônica seguida da migração e oxidação do pouco ferro existente no ambiente.

A metodologia utilizada para identificação das Unidades Geoambientais permitiu separar nove ambientes na porção mineira do Parna Caparaó e quatro unidades geoambientais no Parna Itatiaia, todos foram caracterizados de acordo com suas características pedo-geomorfológicas.