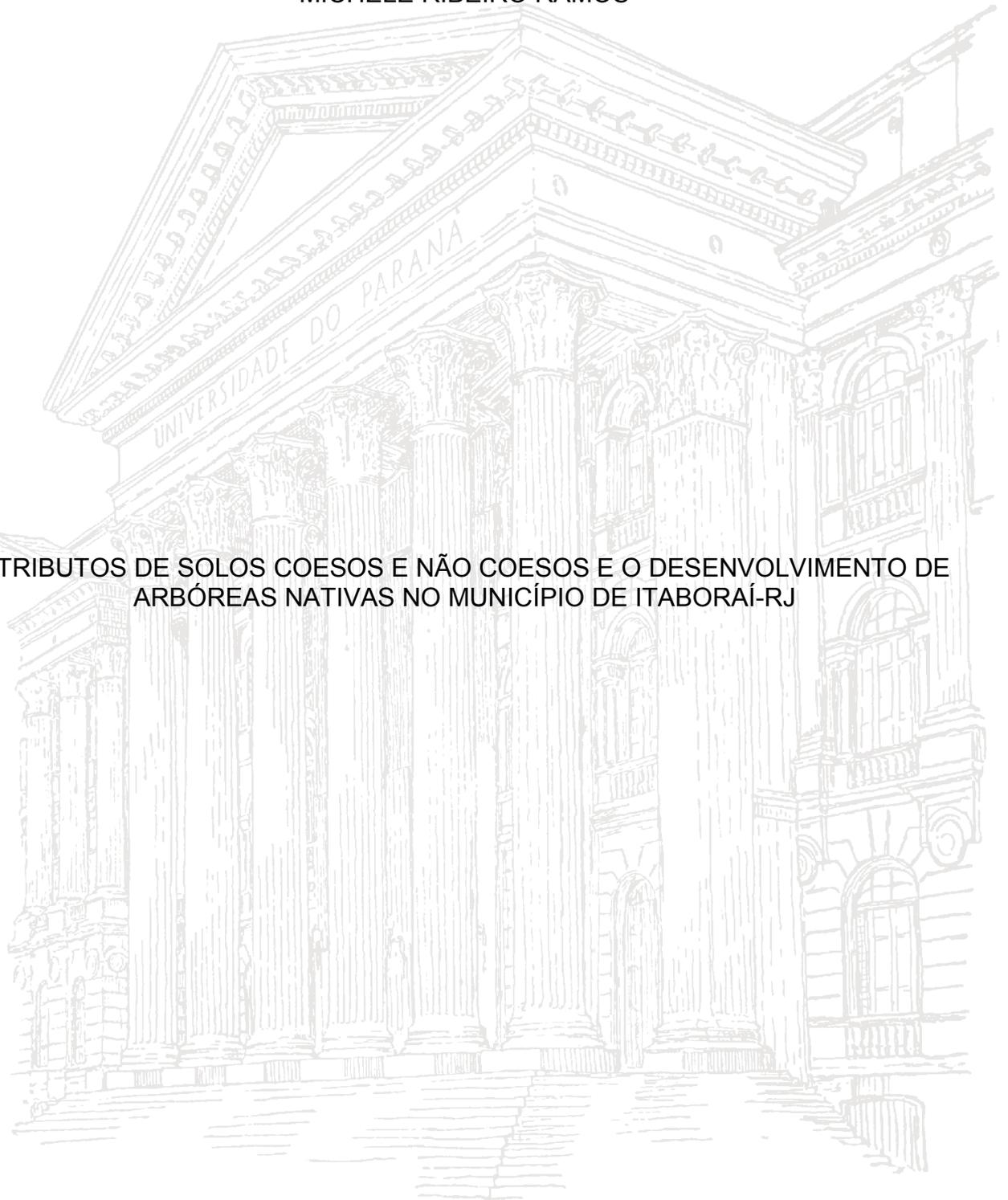


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MICHELE RIBEIRO RAMOS

ATRIBUTOS DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS E O DESENVOLVIMENTO DE
ARBÓREAS NATIVAS NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ-RJ



CURITIBA
2013

MICHELE RIBEIRO RAMOS

ATRIBUTOS DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS E O DESENVOLVIMENTO DE
ARBÓREAS NATIVAS NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ-RJ

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal. Área de concentração: Conservação da Natureza.

Orientador: Dr. Gustavo Ribas Curcio
Co-orientador: Dr. Vander de Freitas Melo
Co-orientador: Dr. Renato Antonio Dedecek

CURITIBA
2013

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Ramos, Michele Ribeiro

Atributos de solos coesos e não coesos e o desenvolvimento de arbóreas nativas no município de Itaboraí, RJ/ Michele Ribeiro Ramos. – 2013
146 f. : il.

Orientador: Dr. Gustavo Ribas Curcio

Coorientadores: Dr. Vander de Freitas Melo

Dr. Renato Antonio Dedecek

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 28/03/2013.

Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Mecânica do solo. 2. Solos - Testes. 3. Solos – Composição. 4. Taludes (Mecânica do solo). 5. Encostas – Plantação – Rio de Janeiro (Estado). 6. Teses. I. Curcio, Gustavo Ribas. II. Melo, Vander de Freitas. III. Dedecek, Renato Antonio. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 624.151

CDU – 631.431



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 970

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Michele Ribeiro Ramos* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**ATRIBUTOS DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS E O DESENVOLVIMENTO DE ARBÓREAS NATIVAS NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ-RJ**", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em CONSERVAÇÃO DA NATUREZA.


Dr. Alexander Silva de Resende
Embrapa Agrobiologia
Primeiro examinador


Dr. João Bosco Vasconcellos Gomes
Embrapa Florestas
Segundo examinador


Dr. Karina Maria Vieira Cavaliere
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador




Dr. Vander de Freitas Melo
Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador


Dr. Gustavo Ribas Curcio
Embrapa Florestas
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 28 de março de 2013.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Carlos Roberto Sanquetta
Vice-coordenador do curso

Dedico

Ao meu pai que é meu exemplo de luta e dedicação, que me ensinou a correr atrás dos sonhos e persistir mesmo quando tudo parecia não dar mais certo.

A minha mãe por ter enfrentado junto comigo todas as batalhas que a vida impôs, principalmente por estar ao meu lado naquele momento difícil em que precisei de cuidados especiais.

Ofereço

A todos aqueles que saíram em busca de uma resposta...
...e voltaram com a mala cheia de perguntas...

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre se fez presente em minha vida em todos os momentos

Aos meus pais, Rui Eliseu e Cléonice, que apesar da ausência constante sempre apoiaram minhas escolhas e por me permitirem voar em busca dos meus sonhos

Aos meus irmãos, André, Rui Júnior, Micheanne e Maryana, meu especial agradecimento

Ao amigo e orientador Pesquisador Dr. Gustavo Ribas Curcio pela orientação, principalmente pela amizade, pelos preciosos ensinamentos em pedologia, mas também pela paciência durante todo o tempo em que trabalhamos juntos

Ao querido professor Valmiqui Costa Lima por toda amizade e principalmente pelos momentos de discussões e reflexões sobre o ensino da ciência do solo

Ao meu amor Alexandre Uhlmann por ter compartilhado momentos difíceis e de alegria durante esse último ano, sobretudo por toda paciência e carinho. Ter teu apoio nessa fase foi imprescindível para conclusão desse trabalho

Aos meus Co-orientadores pesquisador Dr. Renato Antônio Dedecek e ao Prof. da Universidade Federal do Paraná Vander de Freitas Melo por todas as sugestões e paciência durante longos anos de doutorado

À banca nas pessoas dos professores João Carlos Ker, Vander de Freitas Melo e a professora Karina Maria, pesquisadores Alexander da Silva Resende e João Bosco Vasconcelos Gomes

Meu especial agradecimento a Maria Aparecida, funcionária do laboratório de mineralogia por me auxiliar em todos os momentos de decisão, montagem, preparo de amostras, principalmente no experimento de percolação

Aos colegas Fernando Lima, André de Castro, Cátia e todos os funcionários da Dédalos que auxiliaram na abertura das trincheiras, plantios e medições

Aos funcionários da Embrapa Agrobiologia, Telmo e Fernando Cunha

Ao secretário do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal Reinaldo por sanar dúvidas sempre que precisei

Aos professores Franklin Galvão e Roderjan pelos ensinamentos que fizeram total diferença em minha vida como Engenheira Agrônoma, em especial a Professora. Yoshico Saito Kunioshi que muito mais que professora, foi peça fundamental durante meu doutoramento, não apenas por seus conhecimentos, mas principalmente pela força, carinho de mãe durante todo o tempo em que fomos vizinhas

Ao pesquisador da Embrapa Agrobiologia Dr. Alexander Resende pela amizade e pela atenção durante conversas que tivemos em campo

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal por me acolherem e ao Departamento de Ciência do Solo pelo apoio com os laboratórios e a amizade desde a época do mestrado

À Universidade Federal do Paraná, por intermédio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

À CAPES, pelo auxílio financeiro

À EMBRAPA FLORESTAS por todo apoio

À PETROBRAS que indiretamente contribuiu para a realização deste trabalho

Ao Projeto BIOMAS por todo apoio logístico e financeiro na aquisição de materiais

A todos os amigos e amigas que cultivei durante esse tempo de intensa dedicação, em especial a Annete, Eder, Joice, Tiago, Nicole, Josiane, Ludmila, Mayara, Crismeire, Araújo, Letícia, Marcos Fernando, Andrea, Onécimo, Tânia

Meu agradecimento especial às bibliotecárias da Embrapa Florestas nas pessoas de Francisca, Beti e Simone, por toda atenção, dedicação e eficiência nas buscas dos materiais bibliográficos solicitados

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada!

RESUMO

Os objetivos desse trabalho foram: (1) determinar as características dos solos em encostas, uma dominada por solos coesos e outra por solos não coesos, (2) diagnosticar as características mineralógicas e identificar diferenças entre dois solos com base em parâmetros físico-hídricos e mineralógicos, (3) identificar a influência da posição na encosta sobre as características físicas dos solos coesos, (4) desenvolver metodologia apropriada para a extração de materiais argilosos a fim de determinar os prováveis agentes causadores da coesão dos solos e (5) testar a influência dos solos, posição na encosta e tratamento pré-plantio sobre o desenvolvimento de três espécies florestais. As áreas escolhidas foram duas encostas localizadas no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ), no município de Itaboraí, RJ. Cada uma das duas encostas foi segmentada em terços (inferior, médio e superior), sendo abertas trincheiras nos terços superior e inferior de ambas. Os perfis foram descritos e, em cada horizonte, foram coletadas amostras para determinação das propriedades químicas, granulométricas e mineralógicas, além de amostras indeformadas para a determinação das características físico-hídricas. Para os plantios foram utilizadas três espécies (*Schizolobium parahyba*, *Peltophorum dubium* e *Gallesia integrifolia*), alocadas em três blocos, um em cada terço das duas encostas. Os solos coesos apresentaram maior densidade, menor condutividade hidráulica e porosidade em subsuperfície do que os solos não coesos. Ademais, apresentaram menor teor de argila e morfologicamente distinguem-se dos não coesos pelos matizes mais amarelados, além de consistência mais firme. A fração argila de ambos os solos é dominada pela caulinita que se apresenta mais cristalina nos não coesos. Os teores de minerais amorfos são maiores nos solos coesos, enquanto os de goethita são significativamente menores. Contudo, a gibbsita e a hematita foram virtualmente ausentes em ambos os solos, havendo somente traços destes nos solos não coesos. No que diz respeito à influência da posição na encosta sobre as características dos solos coesos, este mostrou possuir maior densidade e macroporosidade na porção superior da encosta, enquanto a posição no terço inferior lhe determinou maior porosidade total e água disponível. As extrações feitas pelas soluções químicas (NaOH, Ditionito Citrato Bicarbonato de sódio e Oxalato de Amônio) aplicadas às amostras indicaram a presença de materiais de fácil remoção nos solos coesos, cuja quantidade foi muito reduzida nos solos não coesos. Ao final de dois anos, *P. dubium* foi a espécie que teve maior taxa de sobrevivência. Neste período, concluiu-se que a posição na encosta não afetou o incremento total conjunto das mudas, mas tiveram melhor resultado nos solos não coesos, bem como nos coesos, mediante subsolagem. *P. dubium* e *S. parahyba* tiveram melhor desempenho nos plantios, sendo seus desempenhos individuais pouco afetados pela subsolagem ou pela posição na encosta, embora a última espécie tenha tido seu incremento afetado negativamente pela presença de coesão nos solos.

Palavras-chave: Caráter coeso. Formação Macacu. Formação São Fidélis. Plantio. Rio de Janeiro.

ABSTRACT

The objectives of this work were: (1) to determine the soil characteristics on landscapes, in which one is dominated by cohesive soils and another, by non-cohesive soils; (2) to determine the mineralogical characteristics and to identify the possible differences between these soils based on their physico-hydraulic and mineralogical characteristics; (3) to identify the influence of the landscape position on the physical characteristics of cohesive soils; (4) to develop appropriate methods to extract clay material from these soils aiming to find out which factors are responsible by soil cohesion; (5) to test the influence of soil, landscape position and pre planting treatments on growth of three different forestry species. It was chosen two landscapes located at Petrobras Plant of Rio de Janeiro (COMPERJ), in Itaboraí-RJ Brazil. Every landscape was divided into segments (upper, middle and toe) and soil trenches were dugged at upper and toe position on both landscapes. Soil profiles were described and, at every soil horizon, samples were collected for chemical, particle distribution and mineralogical laboratory analysis and undisturbed samples were also collected for physico-hydraulic analysis. Three forestry species (*Schizolobium parahyba*, *Peltophorum dubium* e *Galesia integrifolia*) were planted at upper and lower landscape position, replicated three times at each position. Cohesive soils presented greater soil bulk density, lower hydraulic conductivity and total porosity in subsurface horizons compared to non-cohesive soils. They also showed lower clay content and morphologically they differed from non-cohesive ones due to yellowish color and stronger cohesion. Clay fraction on these soils is dominated by kaolinite, which showed highly crystalline than non-cohesive ones. Amorphous mineral content were greater in cohesive soils, while goethite content were lower. Gibbsite and hematite were almost absent in both soils, there were only traces of them on non-cohesive soils. Considering the influence of landscape position on cohesive soil characteristics, these soils at upper position showed greater soil bulk density and macroporosity, while soils at lower position presented greater total porosity and available water. Chemical extractions performed on soil samples indicated the presence of materials easy removable on cohesive soils, which were very small on non-cohesive ones. Two years after planting, *P. dubium* was the specie with greater survival percentage. Soil landscape position did not influence seedlings growth, but seedling increments were greater after subsoiling in both soils. *P. dubium* e *S. parahyba* showed greater seedling growths and they were not influenced either by subsoiling or landscape position, but the later specie growth was negatively influenced by soil cohesion.

Key-words: Cohesive character. Macacu Formation. St. Fidelis Formation. Planting. Rio de Janeiro.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - DENSIDADE DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS EM RELAÇÃO A POSIÇÃO DA PAISAGEM E EM PROFUNDIDADE. 31
- FIGURA 2 - CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm h^{-1} DE SOLOS COESOS (P1 E P2), E NÃO COESOS (P5 E P6)..... 34
- FIGURA 3 - MÉDIAS (\bar{x}), ERRO PADRÃO DAS MÉDIAS (σ) E DESVIOS PADRÃO (σ^2) DAS VARIÁVEIS MINERALÓGICAS DOS GRUPOS DE SOLOS NÃO COESO E COESO. Fe_2O_3 : óxido de ferro extraído por oxalato de amônio; Fe_2O_3 DCB: óxido de ferro extraído por solução DCB; Diâmetro médio do cristal da goethita (110): diâmetro médio do cristal da goethita (111) (CONTINUA)..... 59
- FIGURA 4 - DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS PERFIS E HORIZONTES DE SOLOS NÃO-COESOS (\square) E COESOS (\blacktriangle) FEITA POR MEIO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS. EIXO 1: 76% DA VARIÂNCIA TOTAL; EIXO 2: 9% DA VARIÂNCIA TOTAL 62
- FIGURA 5 - DIAGRAMA ILUSTRATIVO DAS CORRELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS PEDOLÓGICOS ANALISADOS E OS DOIS PRIMEIROS EIXOS EXTRAÍDOS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS. EIXO 1: 76 % DA VARIÂNCIA TOTAL; EIXO 2: 9 % DA VARIÂNCIA TOTAL. 62
- FIGURA 6 - MÉDIAS (\bar{x}), ERRO PADRÃO DAS MÉDIAS (σ) E DESVIOS PADRÃO (σ^2) COMPARANDO AS VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS GRUPOS DE SOLOS NÃO COESO E COESO (continua). 66
- FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO DOS ARGISSOLOS (TS - PARTE SUPERIOR) E LATOSSOLOS (TI - PARTE INFERIOR), COM SUAS RESPECTIVAS DECLIVIDADES, DESENVOLVIDOS DE SEDIMENTOS DA FORMAÇÃO MACACU EM VERTENTE CONVEXA-DIVERGENTE NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ (RJ)..... 81
- FIGURA 8 - “BOX-PLOT” INDICANDO A MÉDIA, O ERRO PADRÃO DA MÉDIA E O DESVIO PADRÃO ($n = 9$ EM CADA POSIÇÃO) DOS PARÂMETROS FÍSICOS DOS HORIZONTES BAX DE SOLOS COESOS DO SEGMENTO SUPERIOR (A) E INFERIOR (B) DA TOPOSSEQUÊNCIA NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ (RJ). D_s - DENSIDADE DO SOLO (Mg m^{-3}), PT - POROSIDADE TOTAL (m^3m^{-3}), M_p - MACROPOROSIDADE (m^3m^{-3}), A_e - POROSIDADE DE AERAÇÃO (m^3m^{-3}), CC - CAPACIDADE DE CAMPO (m^3m^{-3}), AD - ÁGUA DISPONÍVEL (m^3m^{-3})..... 89

FIGURA 9 - ANÁLISE DISCRIMINANTE DE FISCHER COM BASE NOS ATRIBUTOS FÍSICOS SELECIONADOS PELA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DOS HORIZONTES BAX DE SOLOS COESOS DO SEGMENTO SUPERIOR (x) E INFERIOR (■) (n = 9 EM CADA POSIÇÃO) DE TOPOSSEQUÊNCIA NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ (RJ). Ds - DENSIDADE DO SOLO, AD - ÁGUA DISPONÍVEL, PT - POROSIDADE TOTAL, MACRO - MACROPOROSIDADE.....	89
FIGURA 10 - a: ESTRUTURA EM MADEIRA CONSTRUÍDA PARA FAZER A PERCOLAÇÃO; b: DETALHE DO GOTEJAMENTO COM EQUIPO JUNTO AOS ANÉIS; c: RESISTÊNCIA INSTALADA PARA MANTER A TEMPERATURA DAS SOLUÇÕES.....	101
FIGURA 11 - ESQUEMA DO EXPERIMENTO DE PERCOLAÇÃO SEQUÊNCIAL DAS SOLUÇÕES NAS AMOSTRAS INDEFORMADAS.	103
FIGURA 12 - ESQUEMA DA PERCOLAÇÃO DAS SOLUÇÕES NAS AMOSTRAS INDEFORMADAS. 12 ANÉIS SENDO 6 PARA CADA GRUPO DE SOLO (COESO E NÃO COESO).....	103
FIGURA 13 - MÉDIAS (◻), ERRO PADRÃO DAS MÉDIAS (□) E DESVIOS PADRÃO (⊥) COMPARANDO AS VARIÁVEIS FÍSICAS E EXTRAÇÃO DE Si, Fe E Al DOS GRUPOS DE SOLOS NÃO COESO E COESO.....	107
FIGURA 14 - DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS TRATAMENTOS (SOLUÇÕES EXTRATORAS) E DOS PARÂMETROS FÍSICOS DOS SOLOS NÃO-COESOS (P) E COESOS (T) FEITA POR MEIO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS. EIXO 1: 74 % DA VARIÂNCIA TOTAL; EIXO 2: 15 % DA VARIÂNCIA TOTAL.	113
FIGURA 15 - DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS TRATAMENTOS (SOLUÇÕES EXTRATORAS) E DOS PARÂMETROS FÍSICOS DOS SOLOS COESOS FEITA POR MEIO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS. EIXO 1: 50 % DA VARIÂNCIA TOTAL; EIXO 2: 25 % DA VARIÂNCIA TOTAL.	114
FIGURA 16 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DOS EXPERIMENTOS DENTRO DO COMPLEXO PETROQUÍMICO NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ/RJ.....	124
FIGURA 17 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DO PLANTIO EM UM DOS TERÇOS NAS ENCOSTAS COM SOLOS COESOS E NÃO COESOS, INDICANDO LINHAS SUBSOLADAS (TRACEJADAS), ESPAÇAMENTO, LOCALIZAÇÃO DOS BLOCOS E REPETIÇÕES. CADA SÍMBOLO REPRESENTA UMA ESPÉCIE DISTINTA.	125

FIGURA 18 - VARIAÇÃO DAS TAXAS DE SOBREVIVÊNCIA AO FINAL DO PERÍODO DE OBSERVAÇÕES, CONSIDERANDO AS ESPÉCIES, A POSIÇÃO NA ENCOSTAS (TERÇOS), A COESÃO DOS SOLOS E O PREPARO DO SOLO.....	128
FIGURA 19 - BALANÇO HÍDRICO DO ANO DE 2010 NO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO – ITABORAÍ/RJ.....	145
FIGURA 20 - BALANÇO HÍDRICO DO ANO DE 2011 NO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO – ITABORAÍ/RJ.....	145
FIGURA 21 - BALANÇO HÍDRICO DO ANO DE 2012 NO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO – ITABORAÍ /RJ.....	146

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE SOLOS PROVENIENTES DE ROCHAS SEDIMENTARES E METAMÓRFICAS DE TERÇO SUPERIOR E INFERIOR, LOCALIZADOS NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ /RJ.....	26
TABELA 2 - RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DE SOLOS PROVENIENTES DE ROCHAS SEDIMENTARES E METAMÓRFICAS EM TERÇO SUPERIOR E INFERIOR DE ENCOSTA, MUNICÍPIO DE ITABORAÍ RJ.....	28
TABELA 3 - FRACIONAMENTO DA FRAÇÃO AREIA DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS SEDIMENTARES DA FORMAÇÃO MACACU E METAMÓRFICAS DA FORMAÇÃO SÃO FIDÉLIS ⁽¹⁾	29
TABELA 4 - RESULTADOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS EM TERÇO SUPERIOR E INFERIOR DE ENCOSTAS, MUNICÍPIO DE ITABORAÍ/RJ ⁽¹⁾	33
TABELA 5 - RESULTADOS DA CAPACIDADE DE CAMPO E ÁGUA DISPONÍVEL CONSIDERANDO DIFERENTES POROSIDADES DE AERAÇÃO EM HORIZONTES DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS EM DUAS POSIÇÕES NA PAISAGEM NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ-RJ ⁽¹⁾	36
TABELA 6 - ANÁLISE QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DE SOLOS COESOS (ÁREA 1) E NÃO COESOS (ÁREA 2).....	47
TABELA 7 - ANÁLISES FÍSICO-HÍDRICAS DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS EM TERÇO SUPERIOR E INFERIOR DE ENCOSTAS, MUNICÍPIO DE ITABORAÍ, RJ.....	48
TABELA 8 - TEORES DOS MINERAIS DA FRAÇÃO ARGILA DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS ⁽¹⁾	51
TABELA 9 - TEORES DE ELEMENTOS EXTRAÍDOS PELO OXALATO DE AMÔNIO (OA) E DITIONITO-CITRATO-BICARBONATO (DCB) DA FRAÇÃO ARGILA DE AMOSTRAS DE SOLOS.....	53
TABELA 10 - LARGURA A MEIA ALTURA (LMH) E DISTÂNCIA INTERPLANTAR (D) CORRIGIDAS, DIÂMETRO MÉDIO DO CRISTAL (DMC), SUBSTITUIÇÃO ISOMÓRFICA DE Fe POR Al NA GOETHITA E RELAÇÃO GT/(HM+GT) PARA A FRAÇÃO ARGILA DE AMOSTRAS DOS SOLOS ⁽¹⁾	55

TABELA 11 -CARACTERÍSTICAS CRISTALOGRÁFICAS DA CAULINITA DA FRAÇÃO ARGILA DOS SOLOS ESTUDADOS ⁽¹⁾	57
TABELA 12 -MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DOS SOLOS COESOS E NÃO COESOS ⁽¹⁾	69
TABELA 13 -ANÁLISE MORFOLÓGICA DOS PERFIS DE SOLOS DA TOPOSSEQUÊNCIA 1 DESENVOLVIDOS DE SEDIMENTOS DA FORMAÇÃO MACACU NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ (RJ)	82
TABELA 14 -ATRIBUTOS FÍSICOS E TEORES DE CARBONO ORGÂNICO DE SOLOS COESOS DE DUAS TOPOSSEQUÊNCIAS NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ (RJ) ⁽¹⁾	86
TABELA 15 - ATRIBUTOS FÍSICOS DOS HORIZONTES B _{Ax} DE SOLOS COESOS NOS SEGMENTOS SUPERIOR E INFERIOR DA VERTENTE NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ (RJ) ⁽¹⁾	88
TABELA 16 -TEORES DE Fe, Si E Al EXTRAÍDOS DAS AMOSTRAS INDEFORMADAS DECOESOS E NÃO COESOS APÓS A PERCOLAÇÃO DE SOLUÇÕES QUÍMICAS POR GOTEJAMENTO (TUKEY-5%) ⁽¹⁾	111
TABELA 17 - ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO COESOS E NÃO COESOS APÓS A PERCOLAÇÃO DE SOLUÇÕES QUÍMICAS POR GOTEJAMENTO ⁽¹⁾	112
TABELA 18 -ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E GRANULOMÉTRICOS DOS SOLOS DOS TERÇOS SUPERIOR E INFERIOR NAS ÁREAS DOS PLANTIOS. 127	
TABELA 19 -RESULTADOS PARCIAIS DAS COMPARAÇÕES FEITAS ATRAVÉS DA ANOVA MULTIFATORIAL ⁽¹⁾	129
TABELA 20 -VALORES MÉDIOS DE INCREMENTO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm) NO DECORRER DO PRIMEIRO ANO CONSIDERANDO A COESÃO COMO FONTE DE VARIAÇÃO ⁽¹⁾	130
TABELA 21 -VALORES MÉDIOS INCREMENTO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm) DURANTE O PRIMEIRO ANO DE TRÊS ESPÉCIES PLANTADAS EM TRÊS TERÇOS DISTINTOS DE ENCOSTA SOBRE SOLOS NÃO COESOS ⁽¹⁾	131
TABELA 22 -INCREMENTO MÉDIO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm), DURANTE O PERÍODO 1, DAS MUDAS DE TRÊS ESPÉCIES PLANTADAS EM COVAS OU EM LINHAS SUBSOLADAS SOBRE SOLO COESO ⁽¹⁾	132
TABELA 23 -VALORES MÉDIOS DE INCREMENTO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm) NO SEGUNDO ANO CONSIDERANDO A COESÃO COMO FONTE DE VARIAÇÃO ⁽¹⁾	134

TABELA 24 -VALORES MÉDIOS INCREMENTO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm) DURANTE O PERÍODO 2 DAS MUDAS DE TRÊS ESPÉCIES PLANTADAS EM TRÊS TERÇOS DISTINTOS DE ENCOSTA SOBRE NÃO COESOS ⁽¹⁾	134
TABELA 25 -COMPARAÇÕES ENTRE O INCREMENTO MÉDIO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm), DURANTE O SEGUNDO ANO, DAS MUDAS DE TRÊS ESPÉCIES PLANTADAS EM COVAS OU EM LINHAS SUBSOLADAS SOBRE SOLO COESOS ⁽¹⁾	135
TABELA 26 -VALORES MÉDIOS DE INCREMENTO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm) DEPOIS DE DOIS ANOS DE ACOMPANHAMENTO DAS ESPÉCIES PLANTADAS, CONSIDERANDO A COESÃO COMO FONTE DE VARIAÇÃO ⁽¹⁾	136
TABELA 27 -VALORES MÉDIOS INCREMENTO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm) DEPOIS DE DOIS ANOS DE ACOMPANHAMENTO DAS ESPÉCIES PLANTADAS EM TRÊS TERÇOS DA ENCOSTA SOBRE SOLO NÃO COESO ⁽¹⁾	137
TABELA 28 -INCREMENTO MÉDIO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (cm), DEPOIS DE DOIS ANOS DE ACOMPANHAMENTO DAS ESPÉCIES PLANTADAS EM COVAS E EM LINHAS SUBSOLADAS SOBRE SOLO COESO ⁽¹⁾	137

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS MINERALÓGICOS TRADICIONAIS E A METODOLOGIA PROPOSTA	108
---	-----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
CAPÍTULO 1	19
CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, QUÍMICA E FÍSICO-HÍDRICA DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS NO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO	19
RESUMO	19
1.1 INTRODUÇÃO	21
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	23
1.2.1 ÁREA DE ESTUDO	23
1.2.3 ANÁLISES DE SOLO	24
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
1.3.1 ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE CAMPO E ÁGUA DISPONÍVEL CONSIDERANDO DIFERENTES POROSIDADES DE AERAÇÃO	34
1.4 CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS	38
CAPÍTULO 2	41
MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA E SUA CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS NO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO	41
RESUMO	41
2.1 INTRODUÇÃO	43
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	45
2.2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA E AMOSTRAGEM DOS SOLOS	45
2.2.2 ANÁLISES MINERALÓGICAS DA FRAÇÃO ARGILA	48
2.2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	50
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
2.3.1 TEORES E CRISTALINIDADE DOS MINERAIS DA FRAÇÃO ARGILA	51
2.3.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS VARIÁVEIS MINERALÓGICAS E ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS	61
2.4 CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS	71
CAPÍTULO 3	76
INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO NA ENCOSTA NA MANIFESTAÇÃO DO CARÁTER COESO EM SOLOS DA FORMAÇÃO MACACU NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	76
3.1 INTRODUÇÃO	78
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	80
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
3.4 CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS	92
CAPÍTULO 4	95
AGENTES DE COESÃO EM LATOSSOLOS AMARELOS: EXTRAÇÕES QUÍMICAS E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	95

RESUMO	95
4.1 INTRODUÇÃO	97
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	100
4.2.1 EXPERIMENTOS	100
4.2.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	105
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	106
4.3.1 ATRIBUTOS FÍSICOS APÓS A PERCOLAÇÃO NOS SOLOS COESOS E NÃO COESOS.....	111
4.4 CONCLUSÕES	115
REFERÊNCIAS	116
CAPÍTULO 5	119
DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS EM SOLOS COESOS E NÃO-COESOS - RIO DE JANEIRO	119
RESUMO	119
5.1 INTRODUÇÃO	121
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	123
5.2.1 ÁREA DE ESTUDO	123
5.2.2 PLANTIO	124
5.2.3 ANÁLISES DE SOLO	126
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	128
5.3.1 SOBREVIVÊNCIA	128
5.3.2 INCREMENTO EM ALTURA E DIÂMETRO DAS PLANTAS NO PRIMEIRO ANO	129
5.3.3 INCREMENTO EM ALTURA E DIÂMETRO DAS PLANTAS NO SEGUNDO ANO.....	133
5.3.4 INCREMENTO TOTAL	136
5.3.5 ATRIBUTOS DOS SOLOS NO DESENVOLVIMENTO DAS ESPÉCIES...	138
5.4 CONCLUSÕES	141
REFERÊNCIAS	142
ANEXO 1 - GRÁFICOS DE BALANÇO HÍDRICO NO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO – ITABORAÍ/RJ.....	145

INTRODUÇÃO GERAL

O início da exploração do solo no Estado do Rio de Janeiro se deu mesmo antes da chegada do homem branco uma vez que os indígenas habitavam o litoral e exploravam a floresta e o solo com o plantio de milho, mandioca, feijão, etc. Contudo, essa exploração era feita de forma pouco agressiva, quando comparado às atividades após o descobrimento do Brasil, onde o corte de árvores era feito de forma indiscriminada, ou seja, para atender a demanda européia, a limpeza das áreas para implantação de culturas como a cana de açúcar e, bem como, para facilitar a navegação e atracagem dos barcos nos rios, eram retiradas todas as árvores das margens dos rios. Posteriormente, o meio rural durante séculos foi o pilar do desenvolvimento do Estado, contudo com o passar dos anos perdeu forças, para setores como a indústria, turismo e outros. Parte dessa mudança se deveu ao processo de urbanização, custo da terra aliada às condições de degradação do solo, e dificuldade de utilização dessas áreas pela impossibilidade de recuperar esses ambientes já degradados há séculos atrás.

A condição de degradação atual dessas áreas sob o ponto de vista da cobertura vegetal, do caráter pedológico e hidrológico, é fato preocupante para a população que precisa atuar diretamente com esses problemas. Contudo, a conscientização da sociedade contemporânea em reverter essa situação, resgatando as funcionalidades desses ambientes através de projetos de recuperação, vem revertendo, ainda que de forma lenta, estes processos.

Em 2008, a Petrobras investiu no município de Itaboraí – RJ, concretizando uma série de ações que envolvem a construção de uma unidade petroquímica, cujas obras proporcionaram intensa descaracterização da paisagem. Desta forma do total de 4.529 hectares desapropriados, boa parte desta área está sendo recuperada.

Os estudos desenvolvidos nesta tese constituem parte das pesquisas propostas no projeto “Corredor Ecológico COMPERJ”, parceria instituída entre a Petrobras e a EMBRAPA Agrobiologia, Florestas e Solos, o qual objetiva reflorestar e recuperar a área com plantio de espécies arbóreas nativas. Estes estudos fazem parte deste projeto e tratam de ações com grande individualidade, mas que guardam complementaridade entre si. A tese trata especificamente de duas abordagens

distintas: caracterização pedológica e desenvolvimento inicial de espécies arbóreas nativas, divididas em cinco capítulos.

Para melhor entendimento do que foi feito, será explicado um pouco da divisão feita na área para alocação dos experimentos e realização dos referidos estudos. Foram selecionadas quatro áreas dentro do complexo, duas sobre rochas sedimentares pertencentes à Formação Macacu, e duas sobre rochas metamórficas do embasamento cristalino, pertencentes à Formação São Fidélis. Para isso, foi feita a compartimentação desses ambientes quanto à presença e ausência de horizonte coeso que, por sua vez, está intimamente associado ao grupo geológico. Além disso, foi feita uma distinção dentro de cada área em terços superior, médio e inferior para o plantio das mudas e acompanhamento do desenvolvimento inicial por dois anos, e em terço superior e inferior para demais estudos de solos, que incluem desde caracterizações químicas, físico-hídricas, morfológicas e mineralógicas como também, um estudo detalhado dos horizontes coesos a fim de tentar identificar a causa da coesão.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, QUÍMICA E FÍSICO-HÍDRICA DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS NO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO

RESUMO

Os solos coesos estão presentes em ampla distribuição geográfica, não estando limitado apenas aos solos do tabuleiro costeiro. Desta forma, estudos de caracterização se fazem necessários para identificar as variações existentes, considerando que o caráter coeso tem-se manifestado em geologia distinta a do Grupo Barreiras. Outro fator é que apesar de ampla a literatura sobre solos coesos, ainda é inexistente a caracterização desses solos tendo como referência, na mesma área, um não coeso. O objetivo deste trabalho foi o de caracterizar os atributos morfológicos, químicos e físico-hídricos de solos coesos e não coesos, em duas topossequências desenvolvidos sob mesma condição climática e histórico de uso no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ). Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas para estudo dos atributos citados. Apesar da formação Macacu estar dissociada do grupo Barreiras cronologicamente, os solos desenvolvidos a partir dela apresentam características semelhantes. Entre os solos coesos e não coesos, morfologicamente eles são distintos, porém apresentam as mesmas restrições químicas. Contudo, há variações nos atributos físicos entre os solos com e sem o caráter em questão e, principalmente, dentro das classes coesas o terço superior se diferenciou do terço inferior.

Palavras-chave: Coesão. Formação Macacu. Topossequência.

MORPHOLOGICAL, PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF COHESIVE AND NON-COHESIVE SOILS IN THE STATE OF RIO DE JANEIRO

ABSTRACT

Cohesive soils are very diverse, due to its wide distribution, mainly because the sedimentary deposits were worked for a long time during and after deposition. Thus, characterization studies are necessary to identify variations, whereas the cohesive character is manifested in distinctive geological Barreiras Group. Another factor is that despite the extensive literature on cohesive soils, is still scarce the characterization of these soils as a reference, in the same area of non-cohesive soils. The objective of this study was to characterize morphological, chemical and physical attributes of two toposequence of cohesive soils and non-cohesive soils, developed under the same climatic conditions and land use history, in Itaboraí, RJ. Disturbed and undisturbed samples were collected to study the these attributes. Despite the Macacu Formation does not belong to Barreiras Group chronologically, the soils developed from it have similar characteristics. Non-cohesive and cohesive soils are morphologically distinct but have the same chemical restraints. However, the differences on physical attributes were marked between soils with and without the character in question and especially within different places on the landscape.

Key-words: Landscape. Macacu Formation. Toposequence.

1.1 INTRODUÇÃO

O caráter coeso (Embrapa, 2006) é de extrema relevância por sua grande distribuição geográfica, proporcionando forte influência na dinâmica hídrica em diferentes classes de solos, situados em distintas posições nas paisagens. São ocupados para os mais diversos usos, pois além de ocuparem grandes extensões, são profundos e com teores de argila variando entre 15-95 % (Rezende, 2000) e ainda podem ser encontrados em relevo plano a ondulado.

Com relação às características químicas, são frequentemente distróficos, com altos valores de alumínio trocável, subseqüentemente com baixo valor de pH, sendo raros os registros de solos eutróficos (Rezende, 2000; Jacomine, 2001). Os teores de carbono raramente ultrapassa 15 g kg^{-1} no horizonte mais superficial, chegando até 20 g kg^{-1} , mesmo sob floresta (Jacomine, 2001).

Quanto às características físicas, na estação das chuvas, eles não apresentam restrições, contudo, no período seco o caráter coeso se expressa impondo restrições ao uso e manejo do solo. Destaca-se a elevada resistência à penetração, que se relaciona a falta de organização estrutural visível a olho nu, assumindo aspecto maciça/coesa (Jacomine, 2001). Elevados valores de densidade do solo, como consequência da expressiva redução da porosidade total, prejudicam a aeração e a absorção de nutrientes e ainda reduzem a condutividade hidráulica desses horizontes (Rezende, 2000), causa ainda a redução da profundidade efetiva e estrangulamento de raízes, dificultando a emergência de plântulas, que por consequência afeta a produtividade das culturas (Souza et al., 2008). Em uma pedossequência há alterações na dinâmica hídrica do solo, sendo, na maioria das vezes o terço inferior mais úmido que o terço superior (Rezende, 2000), porém não trata-se de um comportamento exclusivo dos solos coesos.

Quanto a sua abrangência geográfica, há registros de solos similares no continente Africano e na Austrália (Giarola e Silva, 2002). Os primeiros são desenvolvidos a partir de sedimentos da formação Continental Terminal Africano, possivelmente por correspondência geológica das superfícies de extensão dos dois continentes (Sul-Americano e Africano) (Ribeiro, 2007). No Brasil, o caráter ocorre predominantemente em domínio dos tabuleiros costeiros, no entanto, desde a década de cinquenta tem sido empregado para solos no Rio de Janeiro e Distrito

Federal. Mas recentemente outros trabalhos tem relatado a presença de coesão em solos originados de diversos materiais geológicos (Curcio et al., 2000; Corrêa et al., 2008; Silva et al., 2009).

Este capítulo objetivou caracterizar os atributos morfológicos, químicos e físico-hídricos de duas topossequências de solos coesos da Formação Macacu e não-coesos da Formação São Fidélis desenvolvidos sob mesma condição climática e histórico de uso, no município de Itaboraí, RJ (COMPERJ).

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 ÀREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro. De acordo com IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) o clima da região é o Tropical, quente e úmido, com 1 a 2 meses secos, com temperatura média acima de 18° C em todos os meses do ano. No verão, o calor e a umidade são muito expressivos com elevada precipitação (1463 mm). No inverno há redução significativa da umidade, temperatura e pluviometria, especialmente entre os meses de junho a agosto (Gonçalves, 2012). O mesmo autor classifica o clima da região como pertencente ao clima “Aw” de Köppen (clima tropical com estação seca).

As áreas foram selecionadas dentro do Complexo Petroquímico COMPERJ-PETROBRAS, inserida na região sedimentar da Baía de Guanabara, que juntamente com outras bacias formam o rift continental do Sudeste do Brasil (Ricomini et al., 2004). A estratigrafia da Bacia é constituída por rochas metamórficas da Formação São Fidélis do Proterozóico e sedimentos da Formação Macacu do período Eoceno/Oligoceno, e ainda sedimentos inconsolidados do Holoceno.

O histórico de uso das áreas é acompanhado do desflorestamento desde o período colonial seguido de vários ciclos de cultivos, sendo os principais: cultivos de citrus e canavial (Cabral e Fizon, 2004; Cabral, 2008) e depois pastagem. Hoje as mesmas encontram-se em estágio de abandono desde 2007 e a produção de biomassa das gramíneas chegam valores de até 18 toneladas por hectares (Silva et al., 2013).

Na área do Complexo Petroquímico é encontrada grande diversidade de solos, porém para este estudo foram selecionadas apenas duas topossequências. A primeira constituída por solos coesos (Argissolo Amarelo Distrocoeso típico relevo ondulado- LAx e Latossolo Amarelo Distrocoeso típico relevo suave ondulado - LAx, terço superior perfil 01 e inferior perfil 02, respectivamente). A segunda é composta por solos sem o caráter coeso (Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos típicos relevo forte ondulado - PVA), perfis 05 e 06. Ambas ocupadas com pastagem.

1.2.3 ANÁLISES DE SOLO

A caracterização morfológica foi feita segundo Santos (2005). Amostras de solos de todos os horizontes dos perfis, depois de secas ao ar, foram homogeneizadas e passada em peneiras de malha 2 mm, e analisadas quanto à granulometria e às características químicas, de acordo com Embrapa (1997).

As cinco frações da areia (muito grossa: 2-1 mm; grossa: 1- 0,5 mm; média: 0,5-0,25 mm; fina: 0,25-0,1 mm; muito fina: 0,1-0,05 mm) foram determinadas seguindo critério de United States (1993).

Para a análise físico-hídrica, coletaram-se três amostras indeformadas por horizonte em anéis de aço de 65 cm³ de volume, e determinadas, a densidade do solo, macroporosidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, porosidade de aeração, bem como água disponível, umidade à capacidade de campo, umidade no ponto de murcha permanente e condutividade hidráulica saturada.

Todos esses parâmetros foram determinados após a saturação plena dos anéis por período de 48 horas, pesados e colocados sobre membranas porosas no interior dos Extratores de Richards. Foi considerada a tensão de 10 KPa para a determinação da capacidade de campo; 1500 KPa para o ponto de murcha permanente. A drenagem do excesso de água na altura de 0,60 m da bancada foi utilizada para determinar a macroporosidade nas amostras. A porosidade total foi considerada o peso da massa saturada menos o peso da massa seca a 105^o C. A microporosidade foi considerada a diferença entre a porosidade total e a macroporosidade. A água disponível foi definida como a diferença de umidade entre a capacidade de campo (-10kPa) e o ponto de murcha permanente (-1500kPa). E finalmente a porosidade de aeração foi determinada considerando a diferença de umidade entre a porosidade total e a umidade na capacidade de campo, definida na pressão de -10kPa.

A condutividade hidráulica saturada foi obtida utilizando o método descrito no manual da Embrapa (1997).

Foram calculados a capacidade campo considerando 10 e 15 % de porosidade de aeração e posteriormente recalculados os teores de água disponível considerando os novos valores de capacidade de campo.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto a cor, nos solos coesos foram identificados matizes mais amarelos que 9YR (TABELA 1) com cromas e valores muito elevados em coerência à identificação feita por outros autores (Moreau et al., 2006; Souza et al., 2008), contudo os solos de terço superior possuem tonalidades mais vermelhas que os de terço inferior. As condições de menor umidade e menores teores de matéria orgânica favorecem à formação de hematita em detrimento a goethita. Enquanto que nos solos desenvolvidos de rochas metamórficas, mais especificamente em Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) predominaram matizes entre 5 e 7,5YR. A consistência de modo geral friável e muito friável, com estrutura moderada em todos os horizontes, para todos os perfis, independentemente da posição na paisagem (TABELA 1).

Os solos desenvolvidos a partir de rochas sedimentares apresentaram consistência friável/firme no horizonte superficial, muito firme no transicional e nos demais horizontes firme no perfil de terço superior. Em contrapartida a consistência variou no terço inferior, sendo friável/firme no horizonte mais superficial, firme no transicional, e friável/firme nos demais horizontes.

Vale salientar que nos solos coesos foi verificado maior friabilidade em horizontes pertencentes ao perfil situado no terço inferior, possivelmente pelo maior acúmulo de água (TABELA 1). Moreau et al. (2006) encontraram diferenças nas características morfológicas em diferentes posições na encosta, corroborando com o encontrado neste trabalho, evidenciando a influência dos fluxos hídricos na expressão do caráter.

Quanto à estrutura do horizonte B, foram encontradas moderada/fraca média e grande blocos subangulares nos solos coesos, enquanto que nos não coesos moderada média grande blocos subangulares. Desta forma, quanto as características morfológicas, o material de origem diferenciou os tipos de solos quanto a cor (valor e cromas) e a consistência.

TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE SOLOS PROVENIENTES DE ROCHAS SEDIMENTARES E METAMÓRFICAS DE TERÇO SUPERIOR E INFERIOR, LOCALIZADOS NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ /RJ.

Mat. Origem	Altitude (m)	Perfil/Posição	Classe	Horiz.	Prof. (cm)	cor	Descrição
Topossequência 01							
Rochas Sedimentares - Formação Macacu - Grupo Barreiras	29	Perfil 01	Argissolo Amarelo Distrocoeso típico	Ap	0-18	(10YR3/2) bruno-acinzentado muito escuro	franco-arenoso; moderada/fraca pequena granular; macia, friável/firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
				BAx	18-32	(10YR 4/5) bruno-amarelo escuro	franco-argilo-arenoso; fraca/moderada média e grandes blocos subangulares que se desfaz em moderada fraca e pequena e muito pequena granular; muito firme, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
		Superior		Btx1	32-61	(10YR 5/7) bruno-amarelado	franco-argilo-arenoso; fraca/moderada grandes blocos subangulares que se desfaz em moderado pequena muito pequena granular; firme, plástico e pegajoso; transição difusa e plana
				Btx2	61-75 ⁺	(9YR 5/8) bruno-amarelado	argilo-arenoso; fraca grandes blocos subangulares que se desfaz em moderada pequena e muito pequena granular; firme, plástico e pegajoso.
Rochas Sedimentares - Formação Macacu - Grupo Barreiras	19	Perfil 02	Latossolo Amarelo Distrocoeso Típico	Ap	0-22	(10YR 3/2) bruno-acinzentado muito escuro	franco-argilo-arenoso; moderada pequena média blocos subangulares que se desfaz em moderada fraca pequena granular; friável/firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
				BAx	22-36	(10YR 4/5) bruno-amarelado escuro	franco-argilo-arenoso; fraca/moderada grandes blocos subangulares que se desfaz em moderada fraca pequena muito pequena granular; firme plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
		Inferior		Bwx1	36-74	(10YR 5/7) bruno-amarelado	franco-argilo-arenoso; fraca grandes blocos subangulares que se desfaz em moderada muito pequena granular; friável/firme, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
				Bwx2	74-102 ⁺	(10YR 5/8) bruno-amarelado	franco-argilo-arenoso; fraca grandes blocos subangulares que se desfaz em moderada muito pequena granular; friável/firme, plástico e pegajoso.

continua

TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE SOLOS PROVENIENTES DE ROCHAS SEDIMENTARES E METAMÓRFICAS DE TERÇO SUPERIOR E INFERIOR, LOCALIZADOS NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ/RJ.

Mat. Origem	Altitude (m)	Perfil/Posição	Classe	Horiz.	Prof. (cm)	cor	Descrição	conclusão
Topossequência 03								
granito-gnaiss - Formação São Fidélis - Proterozóico	52	Perfil 05	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico	Ap	0-11	(10YR 3/3) bruno-escuro	franco-argilo-arenoso; moderada pequena e média blocos subangulares que se desfaz em moderada pequena fraca granular; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.	
				BA	11-34	(7,5YR 4/6) bruno-forte	argilo-arenoso; moderada pequena e média blocos que se desfaz em moderada pequena granular; firme/friável, plástico e pegajoso; transição gradual plana.	
		Superior		Bt1	34-55	(7,5YR 5/7) bruno-forte	argilo-arenoso; moderada pequena muito pequena blocos; friável/muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.	
				Bt2	55-98+	(7,5YR 5/7) bruno-forte	argiloso; moderada pequena muito pequena granular; friável, plástico e pegajoso.	
granito-gnaiss - Formação São Fidélis - Proterozóico	20	Perfil 06	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico	Ap	0-16	(10YR 3/3) bruno-escuro	argilo-arenoso; moderada pequena e média blocos subangulares que se desfaz em moderada pequena/fraca granular; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara plana.	
				BA	16-40	(6YR 4/6) bruno-forte a vermelho-amarelado	argiloso; moderada pequena média blocos subangulares que se desfaz em moderada pequena granular; friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.	
		Inferior		Bt1	40-65	(5YR 4,5/6) bruno-avermelhado	muito argiloso; moderada pequena blocos subangulares que se desfaz em moderada pequena granular; friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.	
				Bt2	65-113	(5YR 5/6) bruno-avermelhado	muito argiloso; moderada grande média blocos subangulares que se desfaz em moderada/forte pequena granular; friável/muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.	

Nos solos estudados a fração areia foi a dominante, especialmente naqueles derivados de rochas sedimentares, com valores entre 500 e 600 g kg⁻¹ favorecendo a textura franco-argilo-arenosa e argilo-arenosa (TABELA 1 e 2). Foi verificado incremento de argila no terço inferior em relação ao superior e no horizonte mais subsuperficial (Bwx2). Em oposição, nos solos não coesos a fração argila se destacou, gerando solos com textura argilosa/muito argilosa principalmente no terço inferior.

TABELA 2 - RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DE SOLOS PROVENIENTES DE ROCHAS SEDIMENTARES E METAMÓRFICAS EM TERÇO SUPERIOR E INFERIOR DE ENCOSTA, MUNICÍPIO DE ITABORAÍ RJ.

Horizontes		Composição granulométrica			Relação Silte/Argila	pH CaCl ₂	C g dm ⁻³	Valor S	Valor T	Valor V %	Valor m %
Simb.	Prof.	g kg ⁻¹									
		areia	silte	argila							
Pedossequência 01 – Perfil 01 (LAX) – Terço superior											
Ap	0-18	691	109	200	0,55	3,9	20,2	1,20	8,4	14	45
BAX	18-32	600	174	225	0,78	3,6	11,5	0,45	7,6	6	80
Btx ₁	32-61	559	116	325	0,36	3,7	5,1	0,33	7,5	4	86
Btx ₂	61-75 ⁺	519	30	450	0,07	3,7	2,4	0,22	6,0	4	90
Pedossequência 01 – Perfil 02 (LAX) – Terço inferior											
Ap	0-22	513	211	275	0,77	3,5	12,4	0,34	7,5	5	86
BAX	22-36	529	120	350	0,34	3,6	12,4	0,31	7,5	4	87
Bwx ₁	36-74	585	89	325	0,28	3,7	2,4	0,31	6,5	5	87
Bwx ₂	74-102 ⁺	555	95	350	0,27	3,7	3,3	0,31	6,5	5	87
Pedossequência 03 – Perfil 05 (PVA) – Terço superior											
Ap	0-11	453	272	275	0,99	3,7	24,3	0,95	7,6	12	86
BA	11-34	338	137	525	0,26	3,8	12,4	0,33	6,5	5	85
Bt ₁	34-55	338	121	450	0,47	3,8	9,6	0,31	6,5	5	84
Bt ₂	55-98 ⁺	310	139	550	0,25	3,8	6,0	0,21	6,0	3	88
Pedossequência 03 – Perfil 06 (PVA) – Terço inferior											
Ap	0-16	484	165	350	0,47	3,7	22,2	0,68	7,3	9	67
BA	16-40	304	146	550	0,27	3,7	6,0	0,32	6,1	5	85
Bt ₁	40-65	206	118	675	0,18	3,9	7,8	0,21	6,0	3	89
Bt ₂	65-113	269	55	675	0,08	3,9	9,6	0,21	5,2	4	88

Por outro lado, nos solos desenvolvidos de rochas metamórficas, os teores de areia oscilaram entre 206 g kg⁻¹ a 484 g kg⁻¹. Em solos provenientes das rochas sedimentares, os teores de argila situaram-se em 200 g kg⁻¹ no horizonte superficial, chegando a dobrar a quantidade nos horizontes subsuperficiais, sendo que no LAX (terço inferior) esses valores atingiram 350 g kg⁻¹ (TABELA 2).

Característica importante a ser considerada é a predominância relativa dos grãos de areia dos solos coesos, e principalmente a equitatividade das frações grossa, média e fina (TABELA 3) aliada as frações mais finas de silte e argila podem favorecer a justaposição de partículas, resultado semelhante encontrado por Cintra et al. (2000). Lima et al. (2004) afirmam que a maior variabilidade granulométrica da areia aliada a maior equitatividade das frações favorece o reajuste entre as

partículas de areia e, por conseguinte das frações silte e argila. Abrahão et al. (1998) afirmam que essa distribuição dos tamanhos da fração areia influencia o aumento da compactidade relativa, principalmente nos horizontes coesos.

Os teores de argila dos solos não coesos atingiram valores superiores a 400 g kg⁻¹ constituindo texturas que vão desde argilosa a muito argilosa (TABELA 2). Cabe ressaltar que os perfis de terço inferior, sobretudo os derivados de granito-gnaiss são bem mais argilosos que os de terço superior, indicando possível fluxo de argila das áreas mais altas para as mais baixas, ou mesmo diferenciações do próprio material de origem. Estes resultados corroboram ao encontrado na literatura (Lima et al., 2004; Fontana et al., 2004; Silva et al., 2007). A maioria dos solos coesos descritos na literatura apresenta o predomínio de texturas médias em subsuperfície, franco-arenosa, franco-argilo-arenosa e argilo-arenosa (Giarola et al., 2001; Jacomine, 2001; 2005; Moreau et al., 2006; Corrêa et al., 2008).

TABELA 3 - FRACIONAMENTO DA FRAÇÃO AREIA DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS SEDIMENTARES DA FORMAÇÃO MACACU E METAMÓRFICAS DA FORMAÇÃO SÃO FIDÉLIS⁽¹⁾.

Horiz. Simb.	Prof. cm	Areia %				
		MG	G	M	F	MF
Ap	0-18	13	22	28	30	7
Pedossequência 01 – Perfil 01 (PAx) – Terço Superior						
BAx	18-32	10	21	33	31	5
Btx ₁	32-61	6,3	18	39	31	5,7
Btx ₂	61-75+	8	20	37	30	5
Pedossequência 01 – Perfil 02 (LAX) – Terço Inferior						
Ap	0-22	9	21	27	32	11
BAx	22-36	10	25	35	25	5
Bwx ₁	36-74	5	19	46	24	6
Bwx ₂	74-102+	7	23	37	27	6
Pedossequência 03 – Perfil 05 (PVA) – Terço Superior						
Ap	0-11	10	32	30	22	6
BA	11-34	10	30	36	19	5
Bt ₁	34-55	3	15	39	35	8
Bt ₂	55-98+	3	15	47	30	5
Pedossequência 03 – Perfil 06 (PVA) – Terço Inferior						
Ap	0-16	7	30	32	24	7
BA	16-40	5	21	41	26	7
Bt ₁	40-65	3	17	43	36	1
Bt ₂	65-113+	5	21	43	26	5

⁽¹⁾ FRACIONAMENTO DA AREIA EM %: MG - muito grossa (2-1 mm), G - grossa (1-0,5 mm), M - média (0,5-0,25 mm), F - fina (0,25-0,1 mm) e MF - muito fina (0,1-0,05 mm)

A grande diversificação textural encontrada na literatura também pode ser justificada em razão da imensa variação dos sedimentos que compõem os materiais de origem sedimentados. Morais et al. (2006) verificaram depósitos com inúmeros

fácies. Ademais, variações nos tipos e intensidades dos processos pedogenéticos podem justificar a variação textural.

De um modo geral os solos das pedossequências estudadas apresentaram baixa relação silte/argila, (menor que 0,6), indicando forte intemperismo (TABELA 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Moreau et al. (2006).

Em geral, independente do material de origem, os solos são fortemente dessaturados por bases (V % menor que 6), com baixa CTC (8-5) e valores de pH CaCl_2 inferiores a 4 (TABELA 2). A saturação por alumínio trocável dos horizontes subsuperficiais está acima de 80 % indicando forte caráter álico e a matéria orgânica é o principal responsável pela maior CTC dos horizontes superficiais. Ou seja, o intemperismo resultou em solos de baixa fertilidade, independente do material de origem. Jacomine (2001) evidenciou características semelhantes em solos coesos.

No entanto, outros estudos evidenciaram solos coesos eutróficos no sul da Bahia e no norte do Espírito Santo (Correa et al., 2008), porém esta característica foi atribuída a abundância de plagioclásios presentes nas rochas do complexo Paraíba do Sul em ambiente típico do Barreiras, ou seja, existe a possibilidade desses cátions terem migrado de outro material de origem.

Os teores de matéria orgânica foram distintos entre os solos. O horizonte superficial do solo coeso de terço superior armazenou muito mais carbono que o de terço inferior. Na pedossequência não coesa o solo do terço superior apresentou maior teor de carbono orgânico que o solo de terço inferior. Este pode ser justificado em função da maior umidade presente em solos situados em posições mais baixas a qual predispõe uma maior retirada seletiva de materiais coloidais por processos erosivos (Cunha et al., 1999).

Em geral, as densidades dos solos coesos foram acima de $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$ (TABELA 4), com excessão apenas do horizonte superficial do perfil de terço superior, enquanto que nos solos da pedossequência não coesa, todos estão abaixo do valor citado acima.

Na FIGURA 1, é observada a variação decrescente da densidade nos perfis (P1 e P2) de solos coesos, onde as linhas tendem ao lado direito, principalmente o P1 (terço superior), e menos acentuado no P2 (terço inferior), evidenciando que o terço superior apresenta solo mais coeso que o terço inferior. Em contrapartida, nos perfis não coesos ocorre o inverso. Da mesma forma, o perfil de terço superior

apresenta menor variação da densidade em relação ao de terço inferior, que tende a ser menos denso.

A tendência observada na FIGURA 1, considerando a densidade do solo, mostra que a coesão é fortemente influenciada pela posição na encosta e o material de origem é determinante para esse caráter, pois as duas pedossequências apresentam mesmo histórico de uso e ambiente de formação. Esses resultados encontra-se de acordo com Moreau et al. (2006), Achá-Panoso (1976).

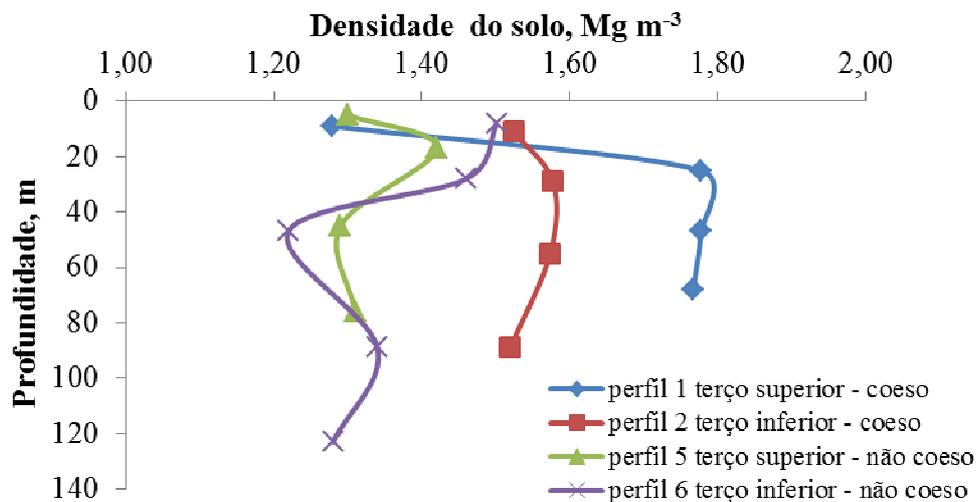


FIGURA 1 - DENSIDADE DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS EM RELAÇÃO A POSIÇÃO DA PAISAGEM E EM PROFUNDIDADE.

Foi observado aumento da densidade nos horizontes subsuperficiais dos solos coesos, e nos não coesos o processo contrário, indicando que no primeiro caso, a matéria orgânica e a umidade atuaram como agentes amenizadores da densidade, principalmente no perfil de terço superior, já que no terço inferior essa tendência não foi verificada. Nos perfis 5 e 6 não coesos os horizontes superficiais estão compactados que os subjacentes. Neste caso, esse resultado pode ser produto de intenso uso dessas áreas que datam desde o período da colonização. Adicionalmente, Moreau et al. (2006) reitera como importante para a caracterização da coesão, a densidade, por ser encontrado valores elevados mesmo em solos sob florestas.

A porosidade de aeração (PA) trata-se da fase do solo não ocupada por líquidos e sólidos, estando, intimamente relacionada com o crescimento das raízes, sendo que as mesmas necessitam, no mínimo, de 10 a 15 % de ar para

desenvolverem suas funções fisiológicas normais (Tormena et al., 2002). Kohnke (1968) cita $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e que abaixo de $0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ as raízes param de crescer. Porém esse valor varia de espécie para espécie, e ainda, tende a diminuir em profundidade no solo.

Com base na explanação acima, foi verificado que entre os solos coesos a porosidade de aeração foi mais restritiva no solo de terço superior do que para o inferior (TABELA 4), ou seja, as condições para crescimento de raízes é muito mais limitante no LAx (terço superior) do que no LAx (terço inferior). Nos PVA não coesos, foram encontradas as mesmas limitações de aeração, abaixo de $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Prevedello, 1996), porém dentro dos $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ que é também citado na literatura como ainda ideal para o desenvolvimento das plantas.

Para a porosidade total, macroporosidade e microporosidade nas classes de solos coesos têm-se no horizonte superficial que a maior parte da porosidade total é composta por microporos e nos horizontes subsuperficiais esse valor representa mais de 90%. Porém, entre os terços esses valores não foram diferentes, porosidade total entre $0,39$ a $0,49 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (TABELA 4). O volume de poros exerce forte influencia no desenvolvimento de raiz, sendo relacionada à absorção de nutrientes e à velocidade de infiltração da água (Souza et al., 2006). Os mesmos atributos para as classes de solos não coesos a composição da porosidade total foi semelhante aos solos coesos, porém desde o horizonte superficial o volume de microporos foi maior, atestando o comprometimento desses solos em relação ao volume vazio, que seria preenchido por ar. Considerando o histórico de uso dessas áreas, justifica-se o volume de microporos em detrimento aos macroporos.

Quanto à disponibilidade de água, nota-se que nos solos coesos a quantidade de água retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foi maior que na província de solos não coesos. Esse resultado demonstra que de certa forma trata-se de um sistema conservativo de água, ou seja, as perdas de água por lixiviação devem se dar de forma mais lenta principalmente por causa da maior quantidade de microporos. A umidade de campo no momento da coleta foi sempre maior nessas classes (resultados não apresentados).

TABELA 4 - RESULTADOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS EM TERÇO SUPERIOR E INFERIOR DE ENCOSTAS, MUNICÍPIO DE ITABORAÍ/RJ⁽¹⁾.

Horizonte Simb	cm	Ds Mg m ⁻³	KS cm h ⁻¹	porosidade			aeração	cap. campo	água disp.
				total	macro	micro			
m ³ m ⁻³									
Pedossequência 01 – Perfil 01 (PAX) – Terço superior									
Ap	0-18	1,28	37,7	0,54	0,22	0,32	0,23	0,30	0,04
BAt _x	18-32	1,78	0,8	0,40	0,06	0,34	0,09	0,31	0,08
Btx ₁	32-61	1,78	0,5	0,39	0,05	0,34	0,07	0,32	0,07
Btx ₂	61-75 ⁺	1,77	0,6	0,40	0,03	0,37	0,06	0,34	0,06
Pedossequência 01 – Perfil 02 (LAX) – Terço inferior									
Ap	0-22	1,52	5,66	0,49	0,07	0,42	0,12	0,36	0,05
BAX	22-36	1,58	2,35	0,42	0,01	0,40	0,10	0,31	0,05
Bwx ₁	36-74	1,57	2,62	0,41	0,01	0,40	0,11	0,30	0,06
Bwx ₂	74-102 ⁺	1,52	1,66	0,47	0,02	0,44	0,15	0,32	0,08
Pedossequência 03 – Perfil 05 (PVA) – Terço superior									
Ap	0-11	1,30	0,89	0,51	0,09	0,52	0,10	0,41	0,03
BA	11-34	1,42	0,71	0,47	0,08	0,37	0,10	0,37	0,03
Bt ₁	34-55	1,29	3,75	0,49	0,93	0,37	0,12	0,37	0,03
Bt ₂	55-98 ⁺	1,31	4,93	0,52	0,12	0,42	0,13	0,38	0,04
Pedossequência 03 – Perfil 06 (PVA) – Terço inferior									
Ap	0-16	1,50	0,87	0,50	0,01	0,45	0,06	0,44	0,05
BA	16-40	1,46	1,62	0,48	0,06	0,38	0,07	0,41	0,05
Bt ₁	40-65	1,22	4,65	0,52	0,01	0,41	0,12	0,39	0,05
Bt ₂	65-113 ⁺	1,34	5,42	0,51	0,08	0,41	0,08	0,42	0,04

(1) Simb: simbologia dos horizontes; Ds: densidade do solo; KS: condutividade hidráulica saturada; Total: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; aeração: porosidade aeração; cap. campo: capacidade de campo; água disp.: água disponível

A condutividade hidráulica saturada (KS) é um parâmetro muito utilizado para identificação de horizontes coesos. As diferenças no KS foram destacadas entre os horizontes, sendo menor nos subsuperficiais das classes coesas, principalmente no terço superior em relação ao inferior. E nos não coesos, houve um aumento desse valor em profundidade em ambos perfis.

Esses resultados são condizentes com a limitação da coesão, mais fortemente em solos situados na posição mais alta da encosta. É importante ressaltar que diferente do que aconteceu nos perfis 1 e 2 (coesos), nos perfis 5 e 6 (não coesos) a variabilidade desse parâmetro foi menor.

Nesses solos há indícios de compactação no horizonte superficial, seja pelo pisoteio do gado como também resquícios do manejo pretérito do solo com mecanização denominado como “pé de arado”, que geralmente se estabelece logo abaixo da camada arada, cerca de 30 cm de profundidade (Stone e Moreira, 2001) (FIGURA 2).

As diferenças encontradas nos atributos físicos, principalmente densidade e condutividade hidráulica saturada, também podem estar relacionadas com os diferentes graus de estrutura entre os solos coesos e não coesos e também pelas

diferenças texturais sendo uma mais argilosa que a outra. Ademais, as diferenças na declividade das duas áreas podem estar favorecendo a translocação de materiais coloidais do terço superior para o inferior e ainda em profundidade dentro do perfil.

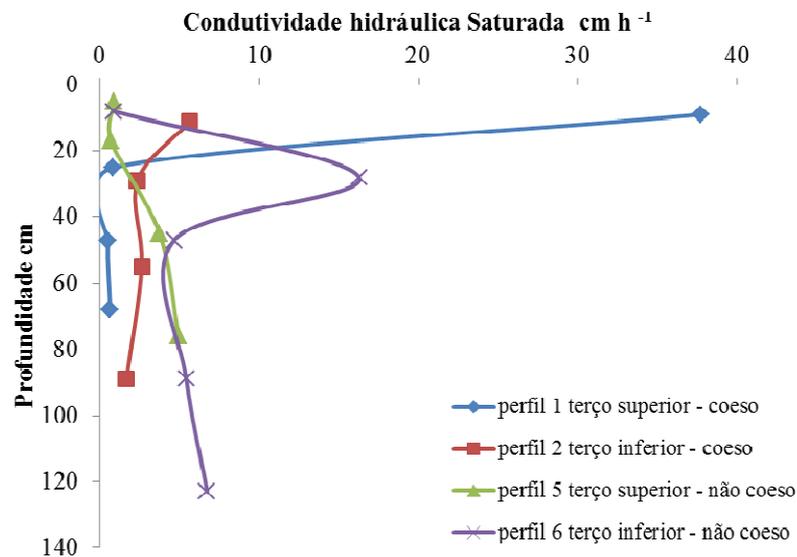


FIGURA 2 - CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm h^{-1} DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS.

1.3.1 ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE CAMPO E ÁGUA DISPONÍVEL CONSIDERANDO DIFERENTES POROSIDADES DE AERAÇÃO

Quanto à disponibilidade de água, os valores verificados pelos extratores foram superestimados, para todos os horizontes e perfis (TABELA 5). Esse resultado está relacionado com a quantidade de porosidade de aeração na capacidade de campo, que está sempre abaixo do mínimo estabelecido pela literatura para a maioria das plantas cultivadas.

A capacidade de campo é definida como a quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha sido drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente, o que geralmente ocorre dois a três dias depois de uma chuva ou irrigação em solos permeáveis de estrutura e textura uniformes, ou seja, nesse momento já se estabeleceu uma porosidade de aeração mínima de 10% a 15% do volume total de poros (Silva et al., 2005).

No caso dos solos estudados foi considerando 10 kPa a pressão correspondente para a capacidade de campo, porém a porosidade de aeração em todos os horizontes com exceção apenas do superficial do solo coeso no terço

superior foram inferiores ao limite mínimo de 10%. O mesmo comportamento foi observado nos horizontes superficiais do solo não coeso no terço inferior (TABELA 5).

Em contrapartida, se considerarmos a porosidade de aeração como sendo 15%, todos os horizontes dos perfis coesos e não coesos apresentaram na capacidade de campo, volume de ar inferior. A única exceção foi para o horizonte A do solo coeso de terço superior (TABELA 5), ou seja, a maioria dos horizontes não encontra equilíbrio entre a quantidade de água e ar, em outras palavras, quando começa a ter porosidade de aeração ideal para a realização das funções vitais da planta, não se tem mais água.

Porém, esse resultado indica que solos coesos de terço superior apresentam maior limitação que os de terço inferior. Porém, vale ressaltar que a dificuldade de disponibilizar água indica menor movimento dela dentro do perfil, o que nos leva a induzir que de certa forma, as perdas de água e nutrientes ocorrerão de forma mais lenta, caracterizando um sistema conservativo.

Nos solos não coesos, essa limitação começa nos horizontes superficiais, demonstrando que a camada superior já apresenta características físicas de um solo degradado. Na área onde foram abertos os perfis, o terço inferior muitas vezes estava em fase soterrada, e ainda era visível a compactação superficial, resultado do uso intenso dessas áreas, principalmente no terço inferior, cujo acesso é mais facilitado, considerando que nessas áreas a declividade é bastante elevada.

TABELA 5 - RESULTADOS DA CAPACIDADE DE CAMPO E ÁGUA DISPONÍVEL CONSIDERANDO DIFERENTES POROSIDADES DE AERAÇÃO EM HORIZONTES DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS EM DUAS POSIÇÕES NA PAISAGEM NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ-RJ⁽¹⁾.

Horizonte		PT	Aeração verificada	CC Verificada 10kPa	AD Verificada (CC-PMP)	CC 10	CC 15	AD 10	AD 15	PMP
simb	cm					m ³ m ⁻³				
Pedossequência 01 – Perfil 01 (PAX) – Terço superior										
Ap	0-18	0,54	0,23	0,04	0,04	0,44	0,39	0,18	0,12	0,26
BAX	18-32	0,40	0,09	0,08	0,08	0,30	0,25	0,07	0,02	0,23
Btx ₁	32-61	0,39	0,07	0,07	0,07	0,29	0,24	0,03	0,00	0,26
Btx ₂	61-75 ⁺	0,40	0,06	0,06	0,06	0,30	0,25	0,02	0,00	0,28
Pedossequência 01 – Perfil 02 (LAX) – Terço inferior										
Ap	0-22	0,49	0,12	0,05	0,05	0,39	0,39	0,07	0,05	0,32
BAX	22-36	0,42	0,10	0,05	0,05	0,32	0,23	0,06	0,00	0,26
Bwx ₁	36-74	0,41	0,11	0,06	0,06	0,31	0,24	0,07	0,00	0,24
Bwx ₂	74-102 ⁺	0,47	0,15	0,08	0,08	0,37	0,28	0,12	0,00	0,25
Pedossequência 03 – Perfil 05 (PVA) – Terço superior										
Ap	0-11	0,51	0,10	0,03	0,03	0,41	0,37	0,07	0,00	0,34
BA	11-34	0,47	0,10	0,03	0,03	0,37	0,33	0,1	0,00	0,27
Bt ₁	34-55	0,49	0,12	0,03	0,03	0,39	0,35	0,11	0,01	0,28
Bt ₂	55-98 ⁺	0,52	0,13	0,04	0,04	0,42	0,37	0,12	0,03	0,30
Pedossequência 03 – Perfil 06 (PVA) – Terço inferior										
Ap	0-16	0,50	0,06	0,05	0,05	0,40	0,35	0,06	0,00	0,34
BA	16-40	0,48	0,07	0,05	0,05	0,38	0,33	0,1	0,00	0,28
Bt ₁	40-65	0,52	0,12	0,05	0,05	0,42	0,04	0,16	0,03	0,26
Bt ₂	65-113 ⁺	0,51	0,13	0,42	0,31	0,41	0,08	0,1	0,00	0,31

(1) PT: porosidade total; Aeração: porosidade de aeração; CC: capacidade de campo; AD água disponível; PMP: ponto de murcha permanente; CC10: capacidade de campo menos 10% de porosidade de aeração; CC15: capacidade campo menos 15% de porosidade de aeração; AD10: CC10-PMP; AD15: CC15-PMP.

1.4 CONCLUSÕES

Os solos apresentaram características morfológicas, físicas e químicas distintas e essas variações podem estar sendo influenciadas pelo relevo e consequentemente pela granulometria dos solos derivados de geologias distintas.

Os Latossolos Amarelos Distrocoesos apresentaram características físico-hídricas e morfológicas típicas de solos coesos.

Há variabilidade nos atributos físicos e morfológicos entre os terços superior e inferior nos solos coesos.

Todos os solos apresentaram problemas quanto a disponibilidade de água para plantas, com especial atenção para os Latossolos Amarelos Distrocoesos.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M.; MELLO, J. W. V.; NEVES, J. C. L. Distribuição de frequência de tamanho da fração areia e compacidade relativa de solos desenvolvidos de sedimentos do Grupo geológico Barreiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.1-9, 1998.
- ACHÁ PANOSO, L. Latossolo Vermelho-Amarelo de "Tabuleiro" do Espírito Santo: Formação, características e classificação. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1976. 116p. (**Tese de Livre Docência**)
- CABRAL, D. de C.; FISZON, J. T. Padrão sócio-espaciais de desflorestamento e suas implicações para fragmentação florestal: estudo de caso na Bacia do Rio Macacu, RJ. **Revista Scientia Forestalis**, n.66, p.13-24, dez 2004.
- CABRAL, D de C. Floresta, política e trabalho: a exploração das madeiras-de-lei no Recôncavo da Guanabara. **Revista Brasileira de História**, São Paulo, v.28,n.55, p. 217-241, 2008.
- CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L. SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.23-28, 2000.
- CORREA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F.; CURI, N. Propriedades cristalográficas de caulinitas de solos do ambiente tabuleiros costeiros, Amazônia e Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1857-1872, 2008.
- CUNHA, J. E.; CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.943-951,1999.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 209p.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, G. B. DE; ANJOS, L. H. C. DOS. Disponibilidade de água e propriedades edáficas em solos de tabuleiro no Estado do Rio de Janeiro. **Revista da Universidade Rural**, v.24, n. 1, p.1-7, 2004.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **Scientia Agrícola**, v.59, n.3, p. 613-620, 2002.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; TORMENA, C.; SOUZA, L. S.; RIBEIRO, L. P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting: Estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.239-247, 2001.

GONÇALVES, A. O. Caracterização climática. In: **Monitoramento da revegetação do Comperj : etapa inicial** / editores técnicos: Rachel B.; Prado, R. B.; Fidalgo, E. C. C. F.; Bonnet, A. — Brasília, DF: Embrapa, 2012, 65-82p.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: Cintra, F. L. D.; Anjos, J. L. dos; Ivo, W. M. P. de M, **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**, 2001, Aracajú. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001.p.19-45.

KOHNKE, H. **Soil physics**. Bombay: T M H edition, Tata Mc Graw-Will, 1968. 224p.

LIMA, H. V.; SILVA, A. P.; JACOMINE, P. T. K.; ROMERO, R. E.; LIBARDI, P. L. L. Identificação e caracterização de solos coesos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.467- 476, 2004.

MORAIS, R.M.O.; MELLO, C.L.; COSTA, F.O.; SANTOS, P.F.; SANTOS, P.F. FÁCIES Sedimentares e Ambientes Depositionais Associados aos Depósitos da Formação Barreiras no Estado do Rio de Janeiro. **Revista do Instituto de Geociências**. Geologia USP Série Científica, v.6, p.19-30, 2006.

MOREAU, A. M. S. dos S.; KER, J. C.; COSTA, L. M. DA; GOMES, F. H. Caracterização de solos de duas topossequências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.1007-1019, 2006.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1996. 446p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. Campinas, **Revista brasileira de Ciência do Solo**, n.12, p.211-216, 1988.

REZENDE, J. de O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI, SPA, (Série Estudos Agrícolas), 12000. 117p

RIBEIRO, L. P. Uma visão pedogenética transcontinental da formação Barreiras: Um novo paradigma? **Revista Magistra**, v.19, p.89-97, 2007.

RICCOMINI C.; SANT`ANA, L. G.; FERRARI, A. L.; Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: Mantesso-neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C. D. R.; Brito-neves, B. B. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. 1ed. p. 383-405, 2004.

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

SILVA, A. de P.; GONÇALVEZ, F. L. A.; DE AZEVEDO, J. N.; OLIVEIRA, N. M.; JANTALIA, C. P.; CAMPELLO, E. F. C; RESENDE, A. S. Biomassa vegetal em áreas de pastagem e na serapilheira de florestas. In: RACHEL, B.; PRADO, R. B.;

FIDALGO, E. C. e BONNET, A. ed. **Monitoramento da revegetação do Comperj: etapa inicial**. Brasília, Embrapa, 2012. p.177-186.

SILVA, M. A. S. DA; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v.35, p.544-552, 2005.

SILVA, A. J. N. DA; CARVALHO, F. G. DE. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionado a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.853-862, 2007.

SOUZA, L. D.; LUCIANO, R. DA S.; SOUZA, L. DA S.; LEDO, C. A. DA S.; SOBRINHO, A. P. DA C. Distribuição das raízes dos citros em função da profundidade da cova de plantio em Latossolo Amarelo dos tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, p.87-91, 2006.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. Q.; RODRIGUES, C. V.; RIBEIRO, L. S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.503-513, 2008.

SUGUIO, K. **Geologia do quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 408p.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Scientia Agrícola**, v.59, p.795-801, 2002.

SOIL SURVEY MANUAL. Washington: Soil conservation service. U. S. Department of Agriculture, 437p. Washington DC, USDA, 1993.

CAPÍTULO 2

MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA E SUA CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS NO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO

RESUMO

Este estudo teve por objetivo avaliar as características da mineralogia e estabelecer correlações com as propriedades químicas e físicas dos solos originados da Formação Macacu (solos coesos) e da Formação São Fidélis (solos não coesos), os quais foram coletados no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro, município de Itaboraí, RJ. A fração argila das amostras foi estudada por difratometria de raios-X (DRX) e análise termodiferencial (ATD). Nos extratos resultantes da extração com oxalato de amônio (OA), ditionito citrato bicarbonato de sódio (DCB) e NaOH 5 mol L⁻¹ fervente, determinaram-se os teores de goethita, Fe₂O_{5OA} e Fe₂O_{5DCB}, materiais amorfos e cristalinos e ainda, teor de caulinita. Com os resíduos, foram realizados os estudos das propriedades cristalográficas dos minerais. Os dados foram submetidos a análise de componentes principais (ACP) utilizando-se apenas aqueles que, quando comparados (solos coesos e não coesos), apresentaram médias significativamente diferentes (teste “t” – 5 %). Como resultado, foi verificado que a composição da fração argila é predominantemente caulinitica em ambos os grupos de solos, porém a cristalinidade do mineral foram similares. Em contrapartida, o teor de minerais cristalinos e o teor de goethita foi maior nos solos não coesos. Apenas o teor de minerais amorfos foi maior nos solos coesos. A hematita e a gibbsita foram praticamente ausentes nos solos estudados, havendo somente traços destas nos solos não coesos. Dentre os parâmetros considerados na ACP, densidade, teor de areia, teor de minerais amorfo e capacidade de troca catiônica foram aqueles que mais fortemente estiveram associados aos solos coesos, enquanto porosidade total, teor de argila, de minerais cristalinos e de goethita foram aqueles que determinaram a segregação dos solos não coesos.

Palavras-chave: Análise de componentes principais. Caulinita. Formação Macacu.

CLAY MINERALOGY AND ITS CORRELATION WITH PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL-WATER COHESIVE AND NON COHESIVE IN COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate soil mineralogical characteristics and to perform correlations among chemical and physical characteristics on soils originated from Macacu (cohesive soils) and São Fidelis Formation (non-cohesive soils), sampled at Petrobras Plant in Rio de Janeiro, Itaboraí municipality. Clay fraction of soil samples was studied using X-ray diffraction (DRX) and differential thermal analysis (ATD). On resulting extracts after extraction with ammonium oxalate (OA), dithionite-citrate-bicarbonate (DCB) and boiling NaOH 5 mol L⁻¹, goethite, Fe₂O_{5OA}, Fe amorphous and crystalline materials, and kaolinite content were determined. On the residual material, studies were performed on the crystallographic property of the minerals. Data were subjected to principal component analysis (ACP), using only those when compared (cohesive and non-cohesive soils) presented values significantly different ("T" test <5%). It was determined that clay fraction was dominated by kaolinite in both soil types. Kaolinite content was different on cohesive and non-cohesive soils, but crystallinity was similar on both soils. Goethite content was greater on non-cohesive soils. Only amorphous minerals content was greater on cohesive soils. Hematite and gibbsite were almost absent on both soil types, found in very low amounts on non-cohesive soils. Among parameters determined by ACP analysis, soil bulk density, sand content, amorphous mineral content and cation exchange capacity were those that strongly associate with cohesive soils, while total porosity, clay, crystalline minerals and goethite content were those that determined the isolation of non-cohesive soils.

Key-words: Kaolinite. Macacu formation. Principal component analysis.

2.1 INTRODUÇÃO

Desde o Rio de Janeiro passando por toda faixa litorânea até a Bacia Amazônica está o domínio dos tabuleiros costeiros. Estes foram desenvolvidos a partir de depósitos de sedimentos do Grupo Barreiras, que dão origem aos Latossolos e Argissolos Amarelos coesos. No Estado do Rio de Janeiro esses mesmos depósitos pertencem a Formação Macacu, e na área de estudo os mesmos estão intercalados por solos provenientes de rochas do Pré-Cambriano (Bigarella, 1975). Nesses últimos desenvolvem Argissolos Vermelho-Amarelos de textura mais argilosa que o anterior.

O Latossolo coeso é constituído por material caulínico, com baixo teor de ferro e, frequentemente, muito quartzoso (Rodrigues, 1996; Corrêa et al., 2008). O Argissolo Vermelho-amarelo, não apresenta diferenças marcantes em relação ao primeiro, contudo os teores de ferro são mais elevados.

Os Latossolos brasileiros, de uma maneira geral, apresentam sua fração argila constituída principalmente por caulinita (Ct), goethita (Gt) gibsita (Gb) e hematita (Hm) (Camargo et al., 2008). Os mesmos autores afirmam que a cristalinidade desses mesmos minerais pode interferir nos atributos físicos do solo e salientam ainda, que esses são dependentes do relevo.

Pedrotti et al. (2003) concluíram que a cristalinidade dos óxidos de alumínio apresentaram associação com os atributos físicos relacionados com a organização estrutural do solo, e as formas amorfas e menos cristalinas com os atributos associados a agregação de partículas, em diferentes classes de solos (Cambissolo, Argissolo, Nitossolo e Latossolo) no sul de Minas de Gerais.

De acordo com Ghidin et al. (2006) e Resende, (1985) os óxidos de ferro Hm, Gt e óxidos de alumínio Gb atuam como agentes desorganizadores podendo aumentar a macroporosidade e porosidade total, diminuindo portanto a densidade dos solos, e o inverso é verdadeiro para solos essencialmente caulínicos. A presença desses minerais favorece a formação de estrutura granular, influenciando desta forma, as propriedades físicas do solo.

Todos esses trabalhos citados relacionaram os atributos físicos e mineralógicos em diferentes solos desenvolvidos a partir de diferentes substratos geológicos. Porém, pode-se observar uma lacuna pouco discutida, no âmbito dos

solos provenientes dos sedimentos da Formação Macacu, no que se refere aos processos envolvidos entre os fatores físicos e mineralógicos, sobretudo em se tratando de solos coesos e não coesos localizados sob as mesmas condições de clima e histórico de uso.

Com relação aos coesos, a mineralogia predominantemente caulinítica vem sendo apontada como a grande responsável pela coesão de horizontes subsuperficiais, devido a fatores como a justaposição de lâminas de caulinita de alta cristalinidade (Giarola et al., 2009), elevando a densidade do solo, diminuindo a macroporosidade e a condutividade hidráulica (Ribeiro, 1996; Rezende, 2000).

Visando entender as relações entre os atributos físicos e mineralógicos desse grupo de solos, este trabalho objetivou caracterizar a mineralogia da fração argila de solos coesos e não coesos no município de Itaboraí – RJ e suas correlações com os atributos físicos e químicos.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA E AMOSTRAGEM DOS SOLOS

A área de estudo localiza-se no município de Itaboraí - RJ, cujo clima da região é o Tropical quente e úmido, com 1 a 2 meses secos, com temperatura média acima de 18° C em todos os meses do ano. No verão, o calor e a umidade são muito expressivos, com elevada precipitação. No inverno há redução significativa da umidade, temperatura e pluviometria, especialmente entre os meses de junho a agosto. Segundo a classificação de Köppen o clima é o “Aw” - tropical com estação seca (Gonçalves, 2012).

A área foi selecionada dentro do Complexo Petroquímico COMPERJ/PETROBRÁS, inserida na região sedimentar da Baía da Guanabara, que juntamente com outras bacias, constituem o Rifte Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini et al., 2004). A estratigrafia da Bacia é formada por sedimentos da Formação Macacu do período Eoceno/Oligoceno (Lima et al., 1996), com geoformas convexas devido à erosão, sobrepostos a volumes estratigráficos metamórficos de granito-gnaisses da Formação São Fidélis, de idade Proterozoica (Curcio et al., 2009).

O estudo foi conduzido em Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico relevo ondulado e Latossolo Amarelo Distrocoeso típico relevo suave ondulado, terço superior e inferior respectivamente, ambos A moderado, textura média, desenvolvidos a partir de rochas da Formação Macacu, (área 1) e Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos A moderado textura média/argilosa relevo forte ondulado, estes provenientes da Formação São Fidélis (área 2). As coordenadas geográficas da área experimental são: 22° 39' 17,2" e 42° 49'2"(área 1)'; 22° 39'43,2" e 42° 48'40,3 (área 2).

Em cada área abriram-se duas trincheiras, uma no terço superior e outra no terço inferior, e os perfis foram descritos morfologicamente segundo critérios de Santos e Lemos (2005). Posteriormente, coletaram-se amostras deformadas e indeformadas em todos os horizontes dos perfis.

Das primeiras amostras foram feitas análises químicas (pH, teores trocáveis de Ca, Mg, K, Al, acidez potencial e C orgânico) e granulométricas (areia, silte e

argila) depois de terem sido secas ao ar, homogeneizadas e passadas em peneiras de malha 2 mm, de acordo com metodologia descrita por Embrapa (1997).

Para a análise físico-hídrica, coletaram-se 3 amostras indeformadas por horizonte em anéis de 65 cm³ de volume, sendo determinados, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, porosidade de aeração, bem como água disponível, umidade à capacidade de campo, umidade no ponto de murcha permanente e condutividade hidráulica saturada.

Todos esses parâmetros foram determinados após a saturação plena dos anéis por período de 48 horas, pesados e colocados sobre membranas porosas no interior dos Extratores de Richards. Foi considerada a tensão de 10 KPa para a determinação da capacidade de campo; 1500 KPa para o ponto de murcha permanente. A drenagem do excesso de água na altura de 0,60 m da bancada foi utilizada para determinar a macroporosidade nas amostras. A porosidade total foi considerada o peso da massa saturada menos o peso da massa seca a 105⁰C. A microporosidade foi considerada a diferença entre a porosidade total e a macroporosidade. A água disponível foi definida como a diferença de umidade entre a capacidade de campo (-10kPa) e o ponto de murcha permanente (-1500kPa). E finalmente a porosidade de aeração foi determinada considerando a diferença de umidade entre a porosidade total e a umidade na capacidade de campo, definida na pressão de -10kPa.

A condutividade hidráulica saturada foi obtida utilizando o método descrito no manual da Embrapa (1997).

TABELA 6 - ANÁLISE QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DE SOLOS COESOS (ÁREA 1) E NÃO COESOS (ÁREA 2).

Horizontes		Composição granulométrica			Relaçã o Silte/ Argila	pH CaCl ₂	C g dm ⁻³	valor S cmolc dm ⁻³	Valor CTC	Valor V%	Valor m%
Simb.	Prof.	g kg ⁻¹									
		areia	silte	argila							
Topossequência 01 – Perfil (LA) – Terço superior											
Ap	0-18	691	109	200	0,55	3,9	20,2	1,20	8,4	14	45
BAx	18-32	600	174	225	0,78	3,6	11,5	0,45	7,6	6	80
Btx1	32-61	559	116	325	0,36	3,7	5,1	0,33	7,5	4	86
Btx2	61-75 ⁺	519	30	450	0,07	3,7	2,4	0,22	6,0	4	90
Topossequência 01 – Perfil 02 (LA) – Terço inferior											
Ap	0-22	513	211	275	0,77	3,5	12,4	0,34	7,5	5	86
BAx	22-36	529	120	350	0,34	3,6	12,4	0,31	7,5	4	87
Bwx1	36-74	585	89	325	0,28	3,7	2,4	0,31	6,5	5	87
Bwx2	74-102 ⁺	555	95	350	0,27	3,7	3,3	0,31	6,5	5	87
Topossequência 03 – Perfil 05 (PVA) – Terço superior											
Ap	0-11	453	272	275	0,99	3,7	24,3	0,95	7,6	12	86
BA	11-34	338	137	525	0,26	3,8	12,4	0,33	6,5	5	85
Bt1	34-55	338	121	450	0,47	3,8	9,6	0,31	6,5	5	84
Bt2	55-98 ⁺	310	139	550	0,25	3,8	6,0	0,21	6,0	3	88
Topossequência 03 – Perfil 06 (PVA) – Terço inferior											
Ap	0-16	484	165	350	0,47	3,7	22,2	0,68	7,3	9	67
BA	16-40	304	146	550	0,27	3,7	6,0	0,32	6,1	5	85
Bt1	40-65	206	118	675	0,18	3,9	7,8	0,21	6,0	3	89
Bt2	65-113 ⁺	269	55	675	0,08	3,9	9,6	0,21	5,2	4	88

TABELA 7 - ANÁLISES FÍSICO-HÍDRICAS DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS EM TERÇO SUPERIOR E INFERIOR DE ENCOSTAS, MUNICÍPIO DE ITABORAÍ, RJ.

Horizonte		Ds Mg.m ⁻³	KS cm h ⁻¹	porosidade				cap. campo	água disp.
Simb	cm			total	macro	micro	aeração		
cm ³ cm ⁻³									
Topossequência 01 – Perfil 01 (LAX) – Terço superior									
Ap	0-18	1,28	37,7	0,54	0,22	0,32	0,23	0,30	0,04
BAX	18-32	1,78	0,8	0,40	0,06	0,34	0,09	0,31	0,08
Btx1	32-61	1,78	0,5	0,39	0,05	0,34	0,07	0,32	0,07
Btx2	61-75 ⁺	1,77	0,6	0,40	0,03	0,37	0,06	0,34	0,06
Topossequência 01 – Perfil 02 (LAX) – Terço inferior									
Ap	0-22	1,52	5,66	0,49	0,07	0,42	0,12	0,36	0,05
BAX	22-36	1,58	2,35	0,42	0,01	0,40	0,10	0,31	0,05
Bwx1	36-74	1,57	2,62	0,41	0,01	0,40	0,11	0,30	0,06
Bwx2	74-102 ⁺	1,52	1,66	0,47	0,02	0,44	0,15	0,32	0,08
Topossequência 03 – Perfil 05 (PVA) – Terço superior									
Ap	0-11	1,30	0,89	0,51	0,09	0,52	0,10	0,41	0,03
BA	11-34	1,42	0,71	0,47	0,08	0,37	0,10	0,37	0,03
Bt1	34-55	1,29	3,75	0,49	0,93	0,37	0,12	0,37	0,03
Bt2	55-98 ⁺	1,31	4,93	0,52	0,12	0,42	0,13	0,38	0,04
Topossequência 03 – Perfil 06 (PVA) – Terço inferior									
Ap	0-16	1,50	0,87	0,50	0,01	0,45	0,06	0,44	0,05
BA	16-40	1,46	1,62	0,48	0,06	0,38	0,07	0,41	0,05
Bt1	40-65	1,22	4,65	0,52	0,01	0,41	0,12	0,39	0,05
Bt2	65-113	1,34	5,42	0,51	0,08	0,41	0,08	0,42	0,04

2.2.2 ANÁLISES MINERALÓGICAS DA FRAÇÃO ARGILA

As amostras dos horizontes foram tratadas com peróxido de hidrogênio, para remoção de matéria orgânica e com NaOH 0,2 mol L⁻¹, para dispersão das frações (Jackson, 1979). A fração areia foi retida em peneira de 0,05 mm e as frações argila e silte foram separadas por sedimentação com base na lei de Stokes (Gee e Bauder, 1986).

A identificação dos minerais da fração argila foi feita por difratometria de raios X. As amostras foram montadas em placa de Koch (amostras não orientadas) de acordo com Besoian (1985). Os difratogramas foram obtidos em goniômetro vertical Philips, modelo PW1050/70, com velocidade de 1 °2θ/min e amplitude de 4 a 65 °2θ.

O difratômetro, equipado com tubo de cobre, filtro de níquel e utilizando radiação $\text{CuK}\alpha$, foi operado a 20 mA e 40 kV.

Para determinar os teores e a composição química dos óxidos de ferro de baixa e alta cristalinidade, foi utilizado o método do oxalato ácido de amônio $0,2 \text{ mol L}^{-1}$, pH 3,0 (OAA) (McKeague, 1978) e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) (Mehra e Jackson, 1960), respectivamente, conforme detalhes apresentados por Melo et al. (2001a). Após as extrações, os teores de Ferro foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

Para o estudo dos óxidos de ferro (hematita e goethita), amostras de argila foram tratadas com $\text{NaOH } 5 \text{ mol L}^{-1}$ quente para remoção da caulinita e gibsitita (Norrish e Taylor, 1961) e com $\text{HCl } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$, para remoção da sodalita $[\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})]$ residual (Singh e Gilkes, 1991). Desse resíduo preparou-se as lâminas em pó que foram difratadas pelo mesmo DRX citado acima, porém analisadas numa amplitude de 10 a $40^\circ 2\theta$ e velocidade do goniômetro de $0,1^\circ 2\theta$ e /min. Utilizou-se NaCl como padrão interno na correção das distorções instrumentais de posição e largura à meia-altura dos picos (3% do peso da amostra).

A relação entre Gt e Hm ($\text{Gt}/(\text{Gt}+\text{Hm})$) foi baseada na área dos picos dos minerais segundo metodologia proposta em Torrent e Cabedo (1986). A substituição isomórfica (SI) de Fe por Al na Gt foi calculado de acordo com Schulze (1984). O DMC (diâmetro médio do cristal) da Gt obtido a partir da largura a meia altura (LMH) das reflexões (110) e (111) (Klug e Alexander, 1954).

Para a o estudo da Ct foram montadas as amostras tratadas com DCB (argila desferrificada) sobre lâminas de vidro, utilizando-se a técnica do esfregaço (amostras orientadas), posteriormente analisadas por DRX. O difratograma foi obtido numa escala horizontal de 3 a $30^\circ 2\theta$ e velocidade angular de $0,2^\circ 2\theta$ por minuto. As correções das reflexões (001) e (002) das larguras a meia altura foram feitas usando o NaCl puro (3% do peso da amostra). O índice de assimetria da caulinita (IA) (Hughes e Brown, 1979) foi calculado utilizando à largura a meia altura da reflexão (001) (Singh e Gilkes, 1991). O índice de cristalinidade de Hughes e Brown (ICHB) foi calculado a partir de difratogramas de amostras não orientadas, montadas em placas perfuradas de acordo com Hughes e Brown (1979).

As amostras da fração argila, tratadas com DCB, foram analisadas num derivatógrafo SHIMADZU DTG-60, Simultâneo DTA-TG APPARATUS. A interpretação qualitativa foi feita pelas características dos picos endotérmicos e

exotérmicos dos minerais (ATD), e a quantificação da Ct e Gb foi feita de acordo com a redução de massa da amostra, em decorrência da desidroxilação dos minerais (ATG) (Jackson, 1979).

2.2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Cada um dos parâmetros químicos, físicos e mineralógicos de ambas as classes de solos (área 1 e área 2) foram submetidos a análise pelo teste T (5%), considerando cada uma das áreas como fonte de variação. Deste conjunto, todos aqueles parâmetros, cuja análise inicial teve como resultado diferença significativa, foram selecionados para constituir a matriz original de dados ($n \times p$), sendo as amostras equivalentes as observações (n), e os parâmetros selecionados, as variáveis (p). Esta matriz foi submetida à análise de componentes principais, a partir da matriz de correlações entre as variáveis, resultando na obtenção de n autovalores e número igual de autovetores àqueles associados.

O percentual de variação relacionado a cada um dos autovetores foi calculado a partir dos autovalores. Os escores dos autovetores foram submetidos à análise de correlação contra as variáveis originais, em busca de relações significativas entre ambos. Estas relações, quando presentes, levaram à interpretação das informações sumarizadas em cada componente principal. Estes mesmos escores foram utilizados para plotar as observações em um plano cartesiano, a fim de destacar os posicionamentos frente à ordenação.

Estas análises foram feitas utilizando os algoritmos do programa STATISTICA 6.0 (Statsoft, 2007).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 TEORES E CRISTALINIDADE DOS MINERAIS DA FRAÇÃO ARGILA

A fração argila dos solos estudados é essencialmente caulínica (TABELA 8), não havendo diferenças nos teores deste mineral entre os solos da Formação São Fidélis e da Formação Macacu. Melo et al. (2001b), encontrou resultado diferente nos teores de Ct em solos coesos derivados do Grupo Barreiras no Espírito Santo. Por se tratarem de solos de depósitos correlatos que desenvolvem coesão esperava-se resultado semelhante.

TABELA 8 - TEORES DOS MINERAIS DA FRAÇÃO ARGILA DE SOLOS COESOS E NÃO COESOS⁽¹⁾

Classe de solo	posição na encosta	Horiz.	Ct	Gt	Amorfos
			g kg ⁻¹		
Argiloso Amarelo Distrocoeso típico	Perfil 1 terço superior	Ap	688,8	47,91	37,49
		BA	760,7	54,12	70,04
		Btx ₁	759,7	53,60	65,82
		Btx ₂	762,0	58,86	59,22
Latossolo Amarelo Distrocoeso típico	Perfil 2 terço inferior	Ap	793,9	73,74	37,27
		BAX	776,0	50,62	55,44
		Bwx ₁	694,8	48,96	50,92
		Bwx ₂	783,0	47,57	64,95
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico	Perfil 5 terço superior	Ap	713,4	112,15	20,97
		BA	679,0	109,06	20,73
		Bt ₁	661,0	127,54	13,49
		Bt ₂	810,5	97,00	19,73
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico	Perfil 6 terço inferior	Ap	651,8	90,32	42,01
		BA	784,6	98,41	35,22
		Bt ₁	778,0	101,97	34,43
		Bt ₂	618,7	97,35	23,97

⁽¹⁾ Ct: caulinita; Gt: Goethita

De acordo com Corrêa et al. (2008), esse mineral também foi predominante nos solos de tabuleiros derivados do Complexo Paraíba do Sul (Pré-Cambriano); Formação Barreiras (Cenozóico); e Formação Alter-do-Chão (Cretáceo Superior). Esses últimos apresentam características genéticas muito semelhantes aos solos da

Formação Macacu, que desenvolvem o caráter coeso em seus horizontes subsuperficiais.

Por outro lado, nos solos coesos da área de estudo, os teores de óxidos de ferro foram relativamente baixos (TABELA 8), o que concorda com as características associadas aos solos provenientes do Grupo Barreiras. Apesar dos baixos teores de óxidos de ferro, a goethita foi o segundo mineral predominante na fração argila depois da caulinita, resultado semelhante ao encontrado por Ferreira et al. (1999) em solos provenientes do Grupo Barreiras. Corrêa et al. (2008) verificaram que caulinita e goethita também predominaram nos solos por eles estudados. Vale ressaltar ainda que, nos solos não coesos os teores de Gt foram maiores do que nos Latossolos Amarelos coesos. Esse resultado pode estar relacionado com o material de origem (Formação Macacu), por se tratarem de sedimentos pobres em minerais de ferro, e ainda a possibilidade de síntese direta de caulinita em condições de clima tropical (Anand et al., 1985).

A hematita foi praticamente ausente nas amostras em todas as classes, mesmo nos Latossolos Vermelho-Amarelos, cujos valores e cromas indicariam a presença desse mineral (capítulo 1 - TABELA 1). Ferreira et al. (1999) encontraram ampla predominância da goethita em relação a hematita em Latossolos originados de diversos materiais de origem (Complexo granito-Gnaiss; Grupo Barreiras, Grupo Bambuí, Grupo Canastra) em Minas Gerais, indicando que a presença da goethita em relação a hematita é influenciada por outros fatores além do material de origem. Schwertmann e Kämpf (1985) relatam os principais fatores que favorecem a formação da goethita em detrimento à hematita: umidade, a presença de matéria orgânica, atividade de água e do alumínio na solução do solo além dos valores de pH mais baixos.

Quando analisados os gráficos de perda de massa no ATD (análise termo diferencial), verificaram-se picos insignificantes, indicando também ausência de óxido de alumínio (gibbsita) em todas as amostras analisadas. É possível que a ausência de Gb esteja relacionada com o predomínio da sílica, ou seja, com solos que apresentam predomínio da fração areia (Melo, 1998; Corrêa et al., 2008). Este é o caso dos solos coesos, onde a fração areia é predominante. Corrêa et al. (2008) salientaram que a ausência da gibbsita indica ausência do processo de dessilificação.

Existe uma relação entre a solubilidade do Al e do Si em relação ao pH. Para pH acima de 7-8 a solubilidade de ambos aumentam. Em contrapartida, em pH ácido, como é o caso dos solos estudados (TABELA 6), a solubilidade da Si é menor que a do Al é maior.

Por outro lado, os teores de minerais amorfos variaram significativamente entre as amostras analisadas, sendo relativamente maiores nos solos coesos (FIGURA 3).

Os teores de ferro, associados aos minerais mais cristalinos, variaram de 41 a 65 g kg⁻¹ nos solos coesos, e de 79 a 112,41 g kg⁻¹ nos não coesos (TABELA 9). Essa amplitude de variação demonstra as diferenças entre os dois materiais de origem.

TABELA 9 - TEORES DE ELEMENTOS EXTRAÍDOS PELO OXALATO DE AMÔNIO (OA) E DITIONITO-CITRATO-BICARBONATO (DCB) DA FRAÇÃO ARGILA DE AMOSTRAS DE SOLOS.

Classe de solo	Horiz.	Fe ₂ O ₃ AO	Fe ₂ O ₃ DCB	Fe cristalino	Relação Fe ₂ O ₃ OA/Fe ₂ O ₃ DCB
		g. kg ⁻¹			
Argissolo	Ap	10,11	57,82	47,72	0,21
Amarelo	BA	4,55	47,19	42,65	0,11
Distrocoeso típico	Bt ₁	2,90	50,68	47,78	0,06
	Bt ₂	2,00	54,15	52,14	0,04
Latossolo	Ap	1,92	66,94	65,01	0,03
Amarelo	BA	1,51	46,56	45,04	0,03
Distrocoeso típico	Bw ₁	1,44	45,36	43,92	0,03
	Bw ₂	1,43	43,42	41,99	0,03
Latossolo	Ap	1,58	100,60	99,02	0,02
Vermelho-Amarelo	BA	1,78	98,41	96,62	0,02
Distrófico típico	Bw ₁	1,47	113,88	112,41	0,01
	Bw ₂	1,39	93,80	92,42	0,02
Latossolo	Ap	1,68	81,55	79,87	0,02
Vermelho-Amarelo	BA	1,65	88,83	87,19	0,02
Distrófico típico	Bw ₁	1,35	91,78	90,43	0,01
	Bw ₂	1,00	86,79	85,78	0,01

(¹) Fe₂O₃ cristalino = Fe₂O₃DCB/Fe₂O₃OA

A substituição isomórfica (SI) de Fe por Al foi menor nos Latossolos Amarelos é maior nos Argissolos Vermelho-Amarelos. Os valores variaram desde 0,029 mol mol⁻¹ nos solos coesos, até 0,29 mol mol⁻¹ para os não coesos (TABELA 10). Esses

valores tão baixos de substituição isomórfica na goethita dos solos coesos podem estar indicando um menor favorecimento à substituição isomórfica, devido principalmente aos menores teores de alumínio no sedimento que o originou.

Na literatura foi encontrado que a SI de Fe por Al na goethita é bastante comum (Curi e Franzmeier, 1984; Melo et al., 2001a e 2002;) e muitos autores relacionam a ocorrência deste fenômeno a solos mais intemperizados, condições de alta acidez e a condição não hidromórfica que favorece o aumento da disponibilidade de Al, facilitando a incorporação do elemento na estrutura da goethita. Schwertmann (1985) trabalhou com óxidos de ferro sintéticos e estabeleceu como limite máximo de SI na Gt o valor de 330 mmol mol⁻¹. Nos Latossolos do Brasil esses valores encontram-se entre 28 a 39 mols (Resende, 1976). Kampf et al (1988) registraram valores máximos de 36 mols na goethita.

O DMC da Gt nas direções (110) e (111) foram similares entre os solos estudados, comportamento esperado para a goethita, tendo em vista que ela apresenta formato isodimensional em solos tropicais, sendo a relação DMC sempre próximo de um (TABELA 10), tendo em vista que o crescimento é parecido nas duas direções. Há uma tendência do DMC da Gt nos solos coesos serem maiores, porém essa tendência não foi detectada estatisticamente.

A largura à meia altura (LMH) Gt (111) é usada como indicativo do grau de cristalinidade do mineral da goethita (Fitspatrick e Schwertmann, 1982), sendo valores menores relacionados com maior grau de cristalinidade, ou seja, com menos interferência do alumínio na estrutura do mineral (Norrish e Taylor, 1961). Além disso, o ambiente de formação do mineral, taxa de formação de óxidos de ferro, matéria orgânica e idade da goethita podem atuar influenciando na cristalinidade do mineral, aumentando o valor do parâmetro largura à meia altura. Os resultados encontrados foram semelhantes entre os solos, com valores variando de 0,23 a 0,80 °2θ, porém, com valores mais homogêneos nos solos não coesos. Schwertmann e Kämpf (1985) encontraram valores de LMH em minerais de goethita variando entre 0,30 a 0,71 °2θ, para os Latossolos coesos, e para os Argissolos não coesos essa amplitude variou 0,59 a 0,62 °2θ.

Devido a relação Gt/(Gt+Hm) ter sido um, todo o ferro analisado foi considerado como goethita (TABELA 8 e 10), os traços presentes de hematita nos solos não coesos não possibilitaram a identificação e por consequência o estudo desse mineral.

TABELA 10 - LARGURA A MEIA ALTURA (LMH) E DISTÂNCIA INTERPLANTAR (D) CORRIGIDAS, DIÂMETRO MÉDIO DO CRISTAL (DMC), SUBSTITUIÇÃO ISOMÓRFICA DE Fe POR Al NA GOETHITA E RELAÇÃO GT/(HM+GT) PARA A FRAÇÃO ARGILA DE AMOSTRAS DOS SOLOS⁽¹⁾

Classe de solo	Horiz.	LMH Gt(111) °2θ	d corrigido		Gt/ (Gt+Hm)	DMC		Relação DMC Gt(110)/Gt(111)	SI Gt mol.mol ⁻¹
			Gt (110)	Gt (111)		Gt (110)	Gt (111)		
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico	Ap	0,45	0,415	0,242	1	29,8	30,9	1,0	0,282
	BAX	0,59	0,415	0,243	1	13,0	19,8	0,7	0,126
	Btx ₁	0,70	0,413	0,243	1	19,1	15,0	1,3	0,121
	Btx ₂	0,65	0,415	0,243	1	19,1	17,1	1,1	0,211
Latossolo Amarelo Distrocoeso típico	Ap	0,45	0,415	0,242	1	30,2	31,3	1,0	0,282
	BAX	0,53	0,416	0,243	1	28,30	23,60	1,2	0,149
	Bwx ₁	0,47	0,415	0,242	1	28,3	29,3	1,0	0,029
	Bwx ₂	0,59	0,414	0,242	1	19,1	19,8	1,0	0,263
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico	Ap	0,80	0,415	0,243	1	20,1	12,7	1,6	0,261
	BA	0,59	0,415	0,243	1	19,7	19,8	1,0	0,211
	Bt ₁	0,65	0,415	0,242	1	19,1	17,1	1,1	0,286
	Bt ₂	0,59	0,416	0,243	1	19,1	19,8	1,0	0,235
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico	Ap	0,57	0,420	0,244	1	15,2	20,8	0,7	0,238
	BA	0,56	0,415	0,243	1	19,1	21,2	0,9	0,211
	Bt ₁	0,56	0,413	0,242	1	19,1	21,2	0,9	0,196
	Bt ₂	0,57	0,417	0,242	1	20,4	20,5	1,0	0,290

⁽¹⁾ Largura a meia altura e distância interplanar corrigidas usando NaCl como padrão interno. Relação Gt/(Gt+Hm), DMC, SI- Substituição isomórfica: calculados com base no difratogramas de Raio X.

O índice de cristalinidade de Hughes e Brown (ICHB) das caulinitas foram semelhantes entre os solos estudados, com valores variando de 13 e 15 (TABELA 11). Não foi observada variação desse índice em profundidade, resultado diferente daquele encontrado por Melo et al. (2001b), que observaram valores crescentes deste índice em profundidade nos solos com coesão no Espírito Santo, deduzindo a interferência plena da matéria orgânica com a diminuição da cristalinidade dos minerais nos horizontes mais superficiais.

Melo et al. (2001b) encontraram valores de ICHB médio de 12,6 em solos de diferentes materiais de origem em vários locais do Brasil. Melo et al. (2002) trabalhando com um Argissolo Amarelo no município de Aracruz no Espírito Santo, verificaram valores variáveis deste índice (entre 13,2 a 22,7) nos diferentes horizontes dos solos. Esses resultados apesar de variáveis são baixos quando comparados com os valores de caulinita-padrão, ICHB entre 38 a 83 (Sing e Gilkes, 1992).

Os valores de DMC (001) foram semelhantes nos dois grupos de solos estudados (TABELA 11). Melo et al. (2001b) encontraram variações de 8,2 a 21,4 nm para o mesmo parâmetro em solos essencialmente cauliníticos.

O LMH teve o mesmo comportamento do parâmetro anterior, não apresentou diferenças significativas entre os perfis de solo coesos e não coesos. Há ausência de variações sugerem homogeneidade do mineral nos horizontes e nos perfis estudados. O mesmo foi observado para os valores de d corrigido (001) e (002) da caulinita (TABELA 11).

Contudo, se observarmos a FIGURA 3, para todos esses parâmetros será possível perceber que a variação entre eles é maior sempre nos solos coesos do que nos não coesos. Essa maior amplitude dos resultados, reflete a natureza heterogênea do material alóctone depositado (Formação Macacu), ou seja, diferentes energias de deposição, consequentemente materiais distintos na formação dos minerais de argila foram responsáveis por tantas variações nos atributos mineralógicos, em contrapartida comprova que os solos originados de granito gnaisse por serem de natureza utóctone apresentaram menores variações.

A temperatura de dehidroxilação é indicador de desordem estrutural no empilhamento das caulinitas, onde as maiores temperaturas indicam minerais mais cristalinos, ou seja, de mais difícil degradação por temperatura. Os grupos de solos estudados não apresentaram diferença estatística para esse parâmetro (TABELA

11). Contudo, Melo et al. (2002), em solos coesos do estado do Espírito Santo, encontraram valores ainda superiores (521° C), o que, frente aos resultados aqui apresentado, denota maior grau de desordem estrutural do mineral (Melo et al., 2001b).

Desta forma, esses resultados denotam que as caulinitas dos solos provenientes da Formação Macacu apesar de serem considerados sedimentos correlatos ao do Grupo Barreiras, apresentam características diferentes, principalmente no que se refere à desordem estrutural desse mineral.

TABELA 11 - CARACTERÍSTICAS CRISTALOGRÁFICAS DA CAULINITA DA FRAÇÃO ARGILA DOS SOLOS ESTUDADOS ⁽¹⁾

Amostras	Perfis horizontes	d corrigido		LMH 001	DMC 001	Índice de Cristalinidade ICHB	TD
		0 0 1	0 0 2				
		nm		$^{\circ}2\theta$	nm		
Latossolo Amarelo	B _{Ax}	0,7198	0,3582	0,645	15,2	13,2	496,25
Distrocoeso argissólico	B _{tx₁}	0,7198	0,3574	0,526	20,5	12,2	487,84
	B _{tx₂}	0,7198	0,3574	0,658	14,8	14,8	487,53
Latossolo Amarelo	B _{Ax}	0,7232	0,3582	0,671	14,4	13,9	413,27
Distrocoeso típico	B _{wx₁}	0,7232	0,3582	0,671	14,4	13,2	491,19
	B _{wx₂}	0,7198	0,3582	0,645	15,2	13,5	491,45
Argissolo Vermelho	B _A	0,7232	0,3582	0,658	14,8	15,8	497,62
Amarelo	B _{t₁}	0,7232	0,3582	0,645	15,2	13,4	491,27
Distrófico típico	B _{t₂}	0,7165	0,3565	0,645	15,2	12,4	492,47
Argissolo Vermelho	B _A	0,7198	0,3782	0,658	14,8	14,6	493,17
Amarelo	B _{t₁}	0,7198	0,3582	0,645	15,2	12,6	495,36
Distrófico típico	B _{t₂}	0,7232	0,3582	0,526	20,5	13,1	492,16

⁽¹⁾ Características determinadas por DRX: d(001), d(002) e LMH(001) = distância interplanar e largura à meia altura corrigidas pelo uso de NaCl como padrão interno, DMC(001)= diâmetro médio do cristalino, ICHB= índice de cristalinidade de Hughes e Brown (Hughes e Brown, 1979), TD= temperatura de desidroxilação da caulinita por ATD

Desta forma, os solos desenvolvidos a partir da Formação Macacu apresentam a fração argila dissimilar em alguns aspectos e em outros, bastante similar aos solos da Formação São Fidélis que não apresenta coesão genética.

As médias, os erros padrão da média e os desvios padrão da média estão apresentados na FIGURA 3. As variáveis mineralógicas que apresentaram diferenças estatística a nível de 5% no teste t estão circuladas e foram os teores de goethita , teores de óxidos de ferro cristalino, Fe_2O_{3DCB} , sendo maiores para os solos não coesos. Em contrapartida o teor de mineral amorfo foi a única variável

significativamente maior nas classes de solos coesos do presente estudo. Na média o teor de caulinita foi maior nos solos coesos, contudo, não houve diferença significativa como também pode ser verificado na FIGURA 3.

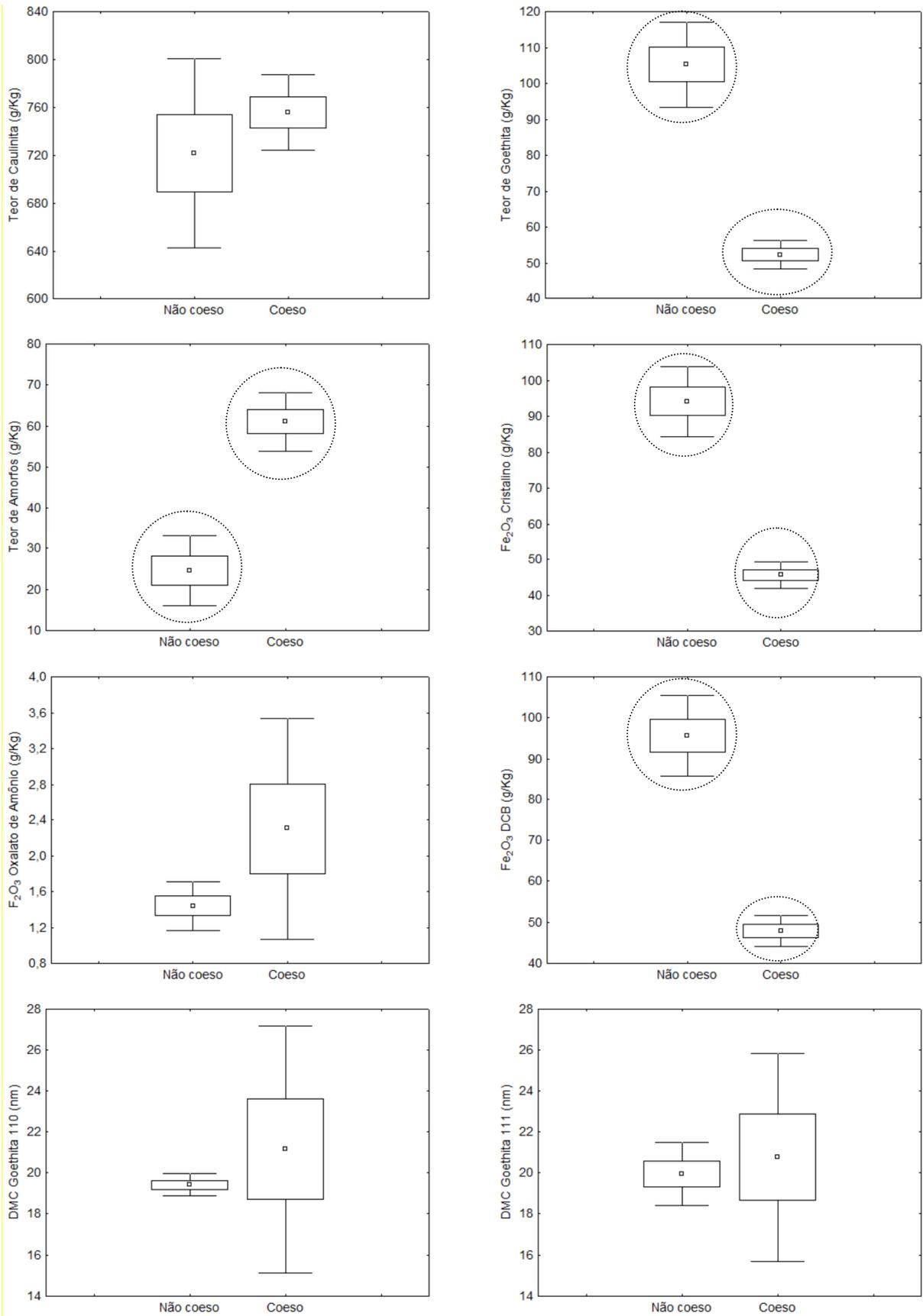


FIGURA 3 - MÉDIAS (□), ERRO PADRÃO DAS MÉDIAS (○) E DESVIOS PADRÃO (I) DAS VARIÁVEIS MINERALÓGICAS DOS GRUPOS DE SOLOS NÃO COESO E COESO. Fe₂O₃: óxido de ferro extraído por oxalato de amônio; Fe₂O₃ DCB: óxido de ferro extraído por solução DCB; Diâmetro médio do cristal da goethita (110): diâmetro médio do cristal da goethita (111) (CONTINUA).

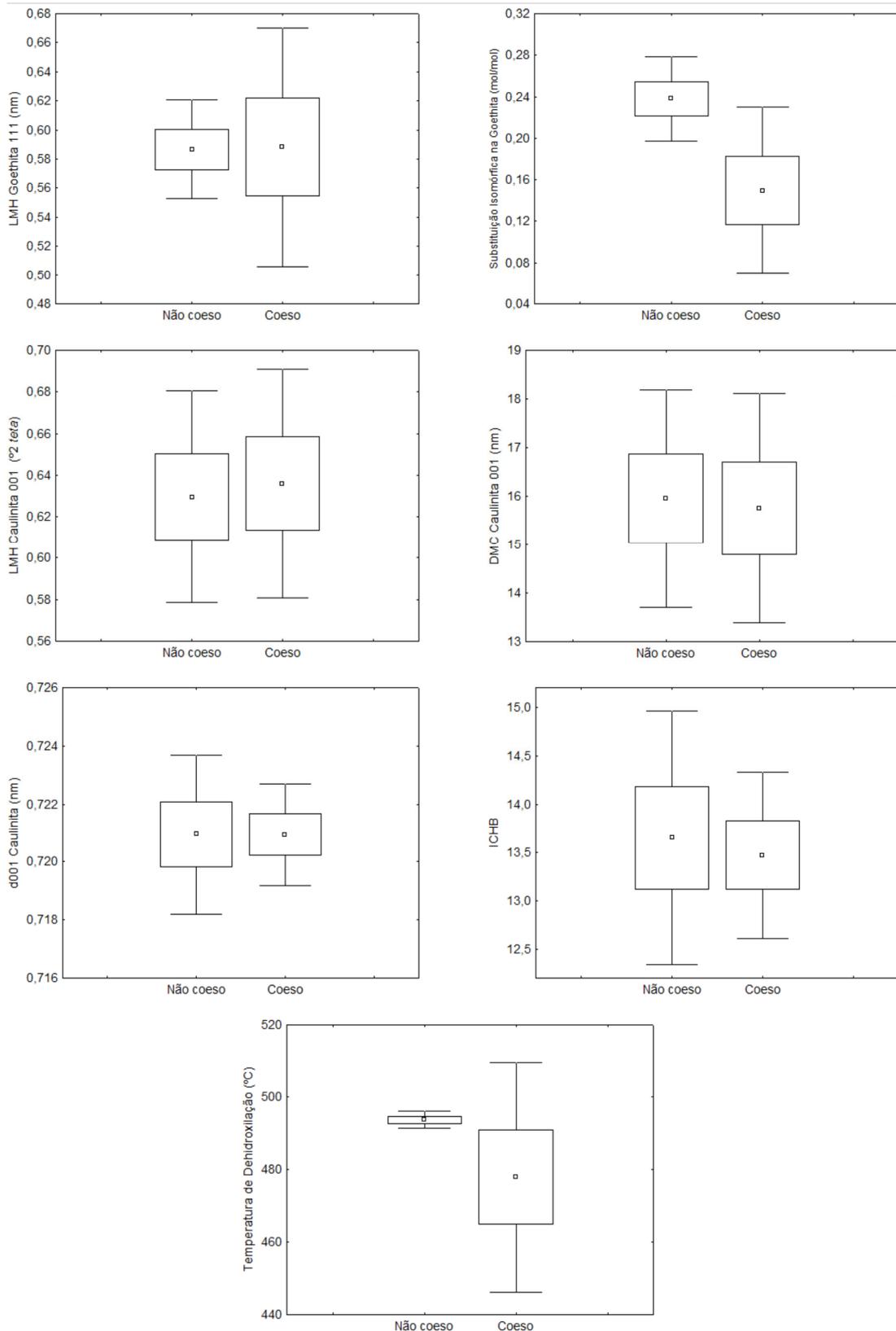


FIGURA 3 - MÉDIAS (□), ERRO PADRÃO DAS MÉDIAS (□) E DESVIOS PADRÃO (I) DAS VARIÁVEIS MINERALÓGICAS DOS GRUPOS DE SOLOS NÃO COESO E COESO. DMC Gt(111): diâmetro médio do cristal na posição (111); LMH Gt (111): largura a meia altura da goethita (111); LMH Ct (001): largura a meia altura da caulinita (001); DMC Ct (001): diâmetro médio do cristal da caulinita (001); d001 Ct: distância interplanar da caulinita (001); ICHB: índice de cristalinidade de Hughes e Brown (conclusão).

2.3.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS VARIÁVEIS MINERALÓGICAS E ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS

A análise de componentes principais (ACP) resultou na extração de 11 componentes principais ou eixos, associados à matriz de correlação. Os dois primeiros explicaram 85 % da variância total (autovalor 1=76 %; autovalor 2=9 %).

O primeiro eixo da análise de componentes principais permitiu a clara divisão entre os dois grupos de solos estudados. Nos quadrantes negativos do eixo 1 ficaram dispostos todos os perfis dos solos classificados como não coesos e, nos quadrantes positivos deste mesmo eixo, os perfis de solos classificados como coesos (FIGURA 4).

Os vetores podem ser interpretados de acordo com sua extensão e paralelismo em relação ao eixo das ordenadas (FIGURA 5). Desta forma, aqueles mais longos e aproximadamente paralelos ao eixo apresentam maiores correlações com o primeiro componente principal, o qual é responsável pela segregação dos dois grupos de solos. Assim, pode-se interpretar que as variáveis, ferro cristalino, ferro DCB, teor de goethita, porosidade total, capacidade de campo, teor de argila, SiGt (substituição isomórfica na goethita) e condutividade hidráulica saturada (KS) são aquelas cujos valores são maiores dentre as amostras obtidas de solos não coesos (grupo 1) (FIGURA 4).

Por sua vez, as variáveis cujos valores foram mais elevados dentre as amostras obtidas de solos coesos (segundo grupo) foram: teor de areia, teor de material amorfo, densidade do solo, água disponível e capacidade de troca catiônica (CTC). Todas as variáveis do primeiro grupo são inversamente correlacionadas com as variáveis do segundo grupo de variáveis, conforme atestam as direções dos vetores da FIGURA 5.

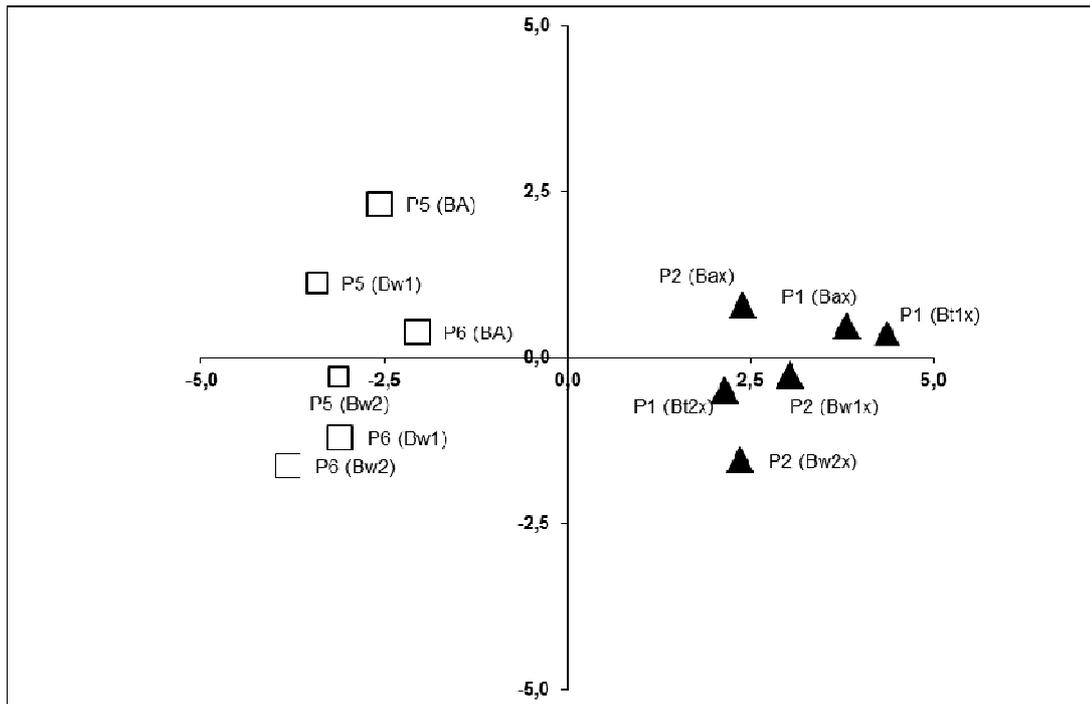


FIGURA 4 - DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS PERFIS E HORIZONTES DE SOLOS NÃO-COESOS (□) E COESOS (▲) FEITA POR MEIO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS. EIXO 1: 76% DA VARIÂNCIA TOTAL; EIXO 2: 9% DA VARIÂNCIA TOTAL

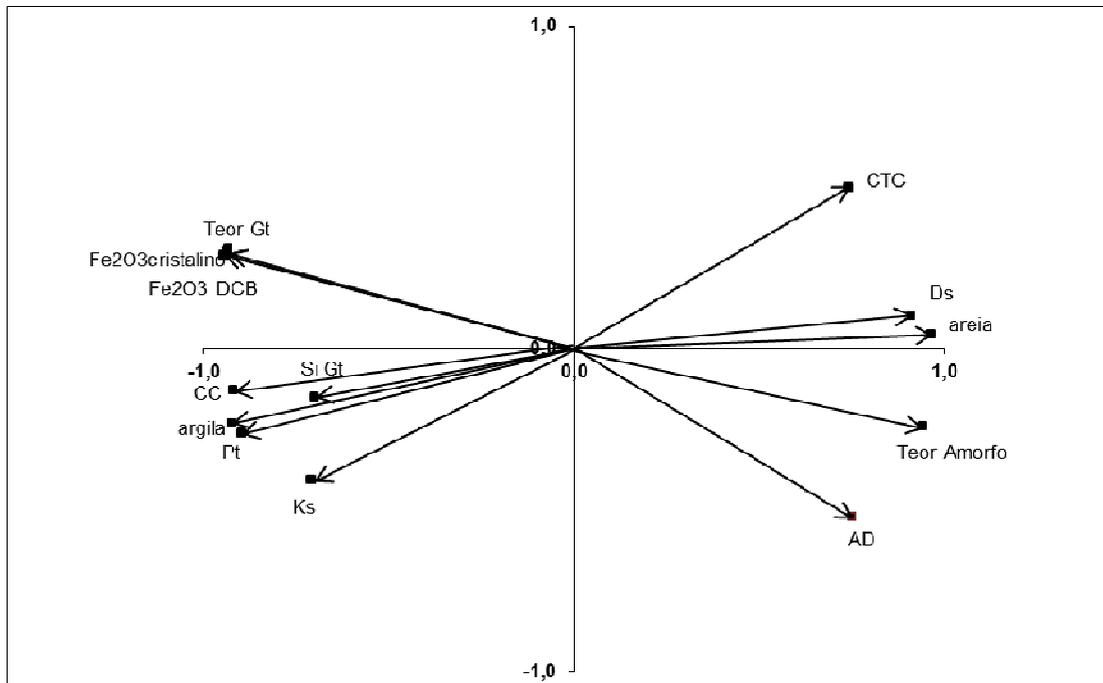


FIGURA 5 - DIAGRAMA ILUSTRATIVO DAS CORRELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS PEDOLÓGICOS ANALISADOS E OS DOIS PRIMEIROS EIXOS EXTRAÍDOS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS. EIXO 1: 76 % DA VARIÂNCIA TOTAL; EIXO 2: 9 % DA VARIÂNCIA TOTAL.

Da mesma forma que a direção, comprimento e paralelismo dos vetores indicam correlações com o primeiro componente principal, estas mesmas características permitem visualizar a existência de relações inversamente proporcionais entre aquelas que determinam o grupamento dos solos coesos e dos solos não-coesos. Ao mesmo tempo, indicam haver dependência linear entre aquelas que apresentam vetores de dimensão aproximada, mesma direção e paralelismo.

Com base neste resultado, verifica-se que a variável mineralógica quantidade de material amorfo e a variável física areia estão associadas à maior densidade dos solos coesos. Embora estes resultados em si não permitam esclarecer relações causais entre estas variáveis, essas correlações mostram que a presença de maiores teores de areia, maior densidade do solo e maior quantidade de mineral amorfo são características relevantes dentre os solos coesos da Formação Macacu.

Outros autores (Abrahão et al., 1998; Giarola et al., 2001) verificaram maiores teores de areia em solos originados da Formação Barreiras. Ademais, Mullins (1999) ressalta que a maioria dos solos descritos como coesos apresentam textura franco-arenosa, franca e argilo-arenosa, sendo ainda identificados alguns solos com textura areia-franca até argilosa (Araújo Filho et al., 2001), esses resultados revelam uma variabilidade muito grande na granulometria dos solos coesos, os quais apresentam uma gama bastante variada em seus teores de argila. Contudo, a granulometria não é critério de distinção entre solos coesos e não coesos.

Apesar de nos solos estudados os teores de areia nas classes de solos coesas predominaram entre 500 a 600 g kg⁻¹, enquanto que nas classes não coesas, esses mesmos valores oscilaram entre 200 a 400 g kg⁻¹ (TABELA 6). Além disso, outra característica que merece atenção é a distribuição relativa dos grãos de areia (resultado apresentado no capítulo 1), considerando a maior variabilidade e a equitatividade dos grãos de areia, aliada aos teores de silte e argila, esses podem estar favorecendo o processo de coesão, por consequência da justaposição de grãos.

O elevado valor de densidade do solo é reconhecido na literatura como parâmetro para a identificação dos solos coesos no Brasil e no mundo (Harper e Gilkes, 1994; Giarola, 2002) e para esse conjunto de dados de solos da Formação Macacu, não foi diferente.

Embora Araújo Filho et al. (2001) tenham relacionado a presença da coesão à causas múltiplas e inter-relacionadas, através de estudo de micromorfologia, conseguiram visualizar a precipitação e a polimerização da sílica e de outros constituintes amorfos (sílico-aluminosos) e o apontaram como um dos responsáveis pela presença deste caráter nos solos. Meireles e Ribeiro (1995) também destacam a participação de compostos orgânicos que degradam o plasma argiloso, liberando, entre outros elementos, a sílica amorfa, e esse contribuiria para a coesão. Em solos coesos na Austrália, Franzmeier et al. (1996) também apontaram a sílica amorfa como principal agente cimentante.

Por outro lado, no segundo grupo (solos não coesos) a maior quantidade de óxido de ferro total e cristalino ($\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{cristalino}}$, $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{DCB}}$), bem como os teores de goethita apresentaram-se fortemente correlacionados entre si e, em menor grau com os maiores teores de argila, porosidade total e capacidade de campo. Os valores de substituição de Fe por Al na goethita (SiGt) e KS, apesar de apresentarem correlações positivas, com estas mesmas variáveis, estas foram menores (FIGURA 5).

Esse resultado denota que o maior teor de argila com predominância da goethita (ausência da hematita e gibbsita na fração argila), principalmente na forma cristalina, podem estar atuando na melhoria das condições físicas desse grupo de solos, aumentando a porosidade total e a umidade na capacidade de campo. Outra explicação seria os mesmos óxidos atuando como agente desorganizadores do empilhamento das caulinitas.

Ghidin et al. (2006) apontaram a presença de óxidos como responsável pela melhoria da qualidade física do solo, aumentando a porosidade total e macroporosidade reduzindo a densidade do solo em Latossolo Brunos desenvolvido a partir de rocha basáltica.

Apesar da importância dos valores de ICHB na cristalinidade das caulinitas dos grupos de solos estudados, a análise estatística mostrou indiferença significativa para ambos grupos. Contudo, apesar de semelhantes às caulinitas dos solos coesos da Formação Macacu tenderam a ser menos cristalinas que as dos solos não coesos.

No entanto, Giarola et al. (2009) estudaram diversos solos no Brasil utilizando-se do método de Rietveld e não encontraram diferenças na cristalinidade das caulinitas de solos coesos e não coesos. Porém, Melo et al. (2002), por meio do

índice de Hughes e Brown, observaram maior ordenamento estrutural das caulinitas em um Argissolo Amarelo coeso.

Ainda que a caulinita tenha sido o mineral predominante na fração argila dos solos coesos (Rezende, 2000; Giarola, 2002; Melo et al., 2002; Lima, 2004), para esse conjunto de dados avaliados, as análises estatísticas mostraram não haver diferença significativa em seus teores quando comparados as amostras de solos não coesos (FIGURA 3). Corrêa et al. (2008) encontraram resultado semelhante ao verificado neste trabalho. De maneira geral, os resultados apontam para algumas diferenças nos solos coesos da Formação Macacu em relação aos demais originados do Grupo Barreiras.

Parâmetros de diâmetro médio do cristal de goethita, bem como largura à meia altura, também não apresentaram diferenças significativas, bem como o teor de ferro extraído por oxalato ácido de amônio. A variação dos cristais de óxidos de ferro é influenciada pelo ambiente de formação, mas principalmente pelos inibidores da cristalização como, por exemplo, a matéria orgânica (Schwertmann e Carlson 1994). Os depósitos sedimentares da Formação Macacu tem sua origem principalmente do intemperismo das rochas metamórficas granito-gnaisse.

Outras características como teores de carbono orgânico, saturação por base, macroporosidade, foram as variáveis que também não apresentaram diferenças significativas (FIGURA 6). As médias, o erro padrão da média e o desvio padrão das variáveis físicas e químicas estão apresentados na FIGURA 6. Portanto, essas informações induzem a pensar que as características semelhantes entre os grupos podem ter sido influenciadas pelo uso e, sobretudo pelas condições climáticas.

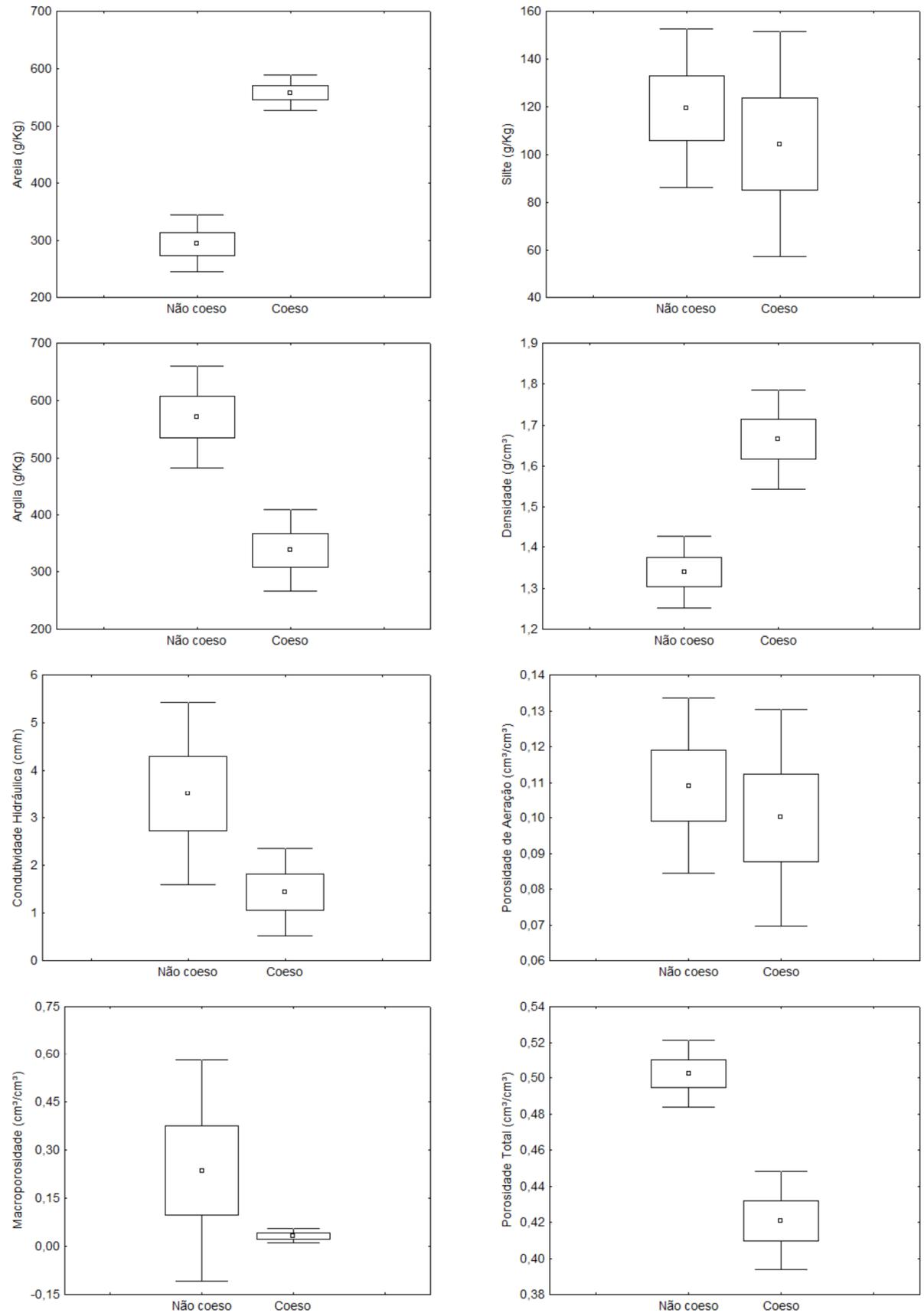


FIGURA 6 - MÉDIAS (□), ERRO PADRÃO DAS MÉDIAS (□) E DESVIOS PADRÃO (I) COMPARANDO AS VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS GRUPOS DE SOLOS NÃO COESO E COESO (continua).

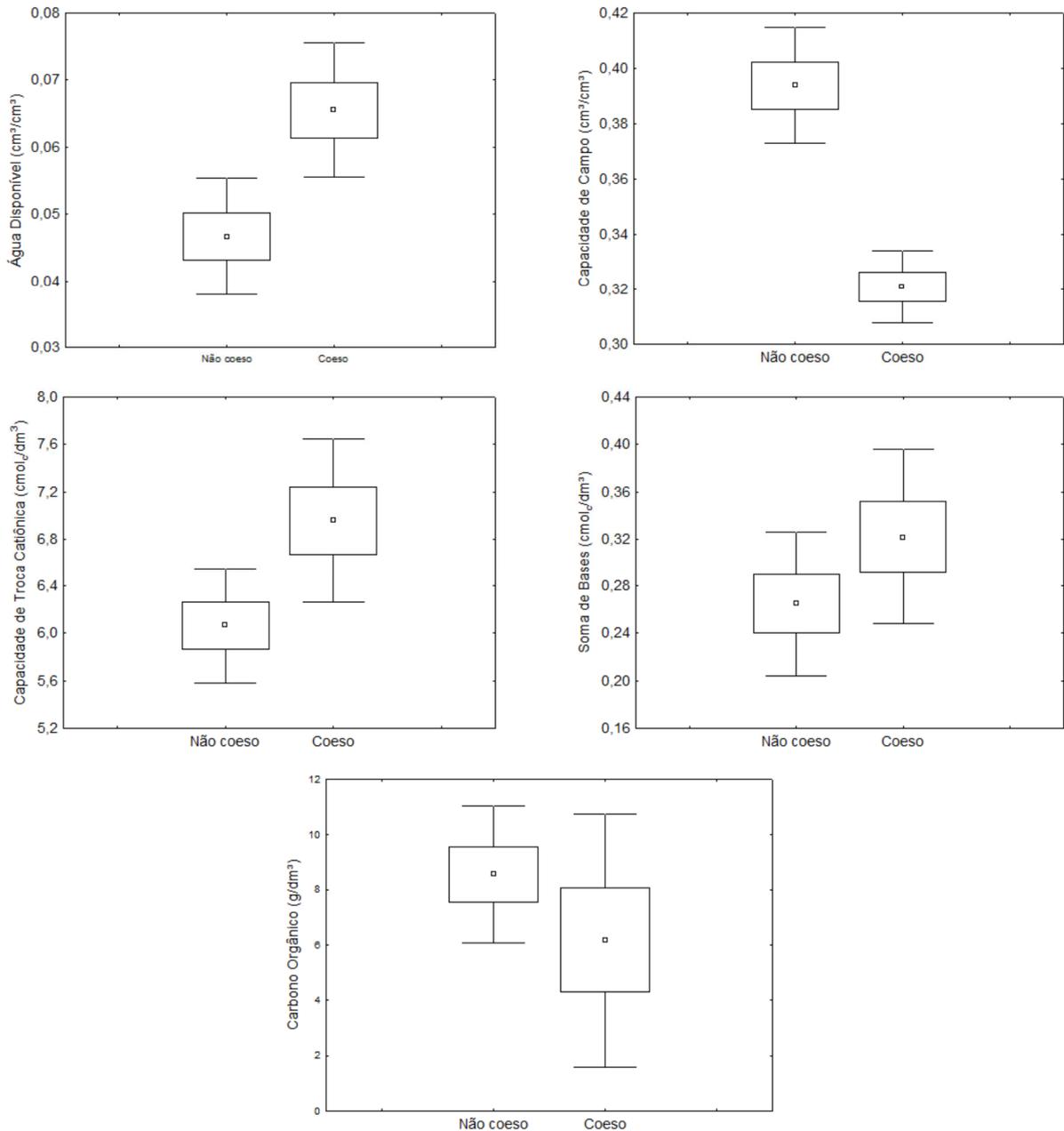


FIGURA 6 - MÉDIAS (□), ERRO PADRÃO DAS MÉDIAS (□) E DESVIOS PADRÃO (┘) COMPARANDO AS VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS GRUPOS DE SOLOS NÃO COESO E COESO (conclusão).

Os valores semelhantes entre as quantidades de caulinita, dos parâmetros que trazem inferência sobre a dimensão do cristal (largura à meia altura e diâmetro médio do cristal) podem ser explicados pelo fato dos sedimentos que deram origem a Formação Macacu terem sido provenientes dos granitos-gnaiss da Formação São Fidélis e ainda por estarem submetidos à mesma condição de intemperismo.

Em contrapartida, a semelhança no teor de carbono, nos valores de saturação por base e a macroporosidade podem ser produto do uso. A única variável química que segregou foi a capacidade de troca catiônica (CTC) para os solos coesos. Esse

resultado pode ser explicado pela maior quantidade de material amorfo, pois esses materiais apresentam maior área superficial específica (ASE) e, portanto, geram mais cargas que os materiais mais cristalinos. Essa característica denota que a província de solos coesos além de armazenar mais água e por mais tempo (capítulo 1), devido principalmente a maior quantidade de microporos, a lixiviação de nutrientes se dá de forma mais lenta, demonstrando ser um sistema mais conservativo.

As correlações individuais entre os atributos químicos, físicos e mineralógicos podem ser verificados na TABELA 12, onde os valores em negrito indicam correlações significativas.

TABELA 12 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DOS SOLOS COESOS E NÃO COESOS ⁽¹⁾

	ICBH	d001 cor Ct	LMH Ct 001	DMC Ct 001	TD	Teor Ct	Teor Gt	Teor Amorfo	LMH Gt (111)	DMC Gt (110)	DMC Gt (111)	Si Gt	Fe2O3 DCB	F2O3 AO	Fe2O3 cristalino	Ds	Pt	Pa	Ks	AD	Ma	CC	CTC	Carbono	SB	argila	silte	areia	
ICBH	1,00																												
d001 cor Ct	0,36	1,00																											
LMH Ct 001	0,46	-0,01	1,00																										
DMC Ct 001	-0,45	0,04	-1,00	1,00																									
TD	-0,07	-0,31	-0,19	0,16	1,00																								
Teor Ct	-0,17	-0,79	0,35	-0,36	-0,20	1,00																							
Teor Gt	0,15	0,11	-0,02	0,00	0,35	-0,39	1,00																						
Teor Amorfo	-0,13	-0,19	-0,01	0,02	-0,23	0,45	-0,93	1,00																					
LMH Gt (111)	-0,08	-0,31	-0,46	0,44	0,25	0,05	0,14	0,07	1,00																				
DMC Gt (110)	0,06	0,52	0,22	-0,17	-0,63	-0,14	-0,26	-0,01	-0,60	1,00																			
DMC Gt (111)	0,03	0,35	0,45	-0,42	-0,25	-0,08	-0,24	0,02	-0,97	0,70	1,00																		
Si Gt	0,15	-0,08	-0,18	0,15	0,19	-0,20	0,62	-0,56	0,37	-0,39	-0,52	1,00																	
Fe ₂ O ₃ DCB	0,12	0,06	-0,02	0,00	0,35	-0,35	1,00	-0,94	0,14	-0,24	-0,24	0,62	1,00																
F ₂ O ₃ AO	-0,09	-0,25	-0,08	0,07	0,14	0,23	-0,40	0,59	0,33	-0,56	-0,30	-0,43	-0,41	1,00															
Fe ₂ O ₃ cristalino	0,12	0,07	-0,02	0,00	0,34	-0,35	1,00	-0,95	0,13	-0,22	-0,23	0,62	1,00	-0,44	1,00														
Ds	0,10	-0,09	-0,07	0,09	-0,17	0,25	-0,80	0,86	0,26	-0,07	-0,14	-0,57	-0,81	0,70	-0,82	1,00													
Pt	-0,10	-0,11	-0,05	0,02	0,32	-0,17	0,80	-0,82	-0,12	-0,16	-0,04	0,71	0,81	-0,63	0,82	-0,95	1,00												
Pa	-0,33	-0,12	0,32	-0,35	0,02	0,13	0,15	-0,25	-0,27	0,09	0,22	0,25	0,17	-0,35	0,18	-0,57	0,51	1,00											
Ks	-0,49	0,01	-0,17	0,16	0,04	-0,25	0,51	-0,64	-0,30	0,16	0,22	0,41	0,53	-0,60	0,54	-0,81	0,77	0,48	1,00										
AD	-0,37	-0,40	-0,06	0,05	0,11	0,47	-0,79	0,88	-0,01	-0,21	0,06	-0,42	-0,80	0,52	-0,81	0,62	-0,52	-	-0,37	1,00									
Ma	-0,07	0,26	0,05	-0,07	0,14	-0,40	0,63	-0,54	0,35	-0,17	-0,33	0,44	0,62	-0,14	0,61	-0,43	0,33	0,27	0,29	-0,48	1,00								
CC	0,09	-0,04	-0,26	0,25	0,36	-0,29	0,83	-0,79	0,04	-0,24	-0,19	0,67	0,83	-0,50	0,84	-0,74	0,83	-	0,58	-0,60	0,23	1,00							
CTC	-0,09	0,04	0,12	-0,11	-0,42	0,32	-0,53	0,62	0,16	0,02	-0,07	-0,58	-0,54	0,69	-0,56	0,63	-0,72	-	-0,62	0,36	-0,06	-0,78	1,00						
Carbono	0,20	0,41	0,00	0,00	-0,33	-0,30	0,38	-0,32	-0,06	-0,11	-0,06	0,17	0,35	0,19	0,34	-0,24	0,16	0,02	0,11	-0,48	0,23	0,18	0,27	1,00					
SB	0,15	0,17	0,16	-0,16	-0,03	0,03	-0,33	0,46	0,02	-0,23	0,02	-0,43	-0,36	0,75	-0,38	0,53	-0,55	-	-0,65	0,34	0,02	-0,56	0,79	0,32	1,00				
argila	0,06	-0,04	-0,18	0,17	0,25	-0,22	0,74	-0,75	-0,07	-0,06	-0,07	0,59	0,75	-0,64	0,76	-0,78	0,83	0,04	0,66	-0,58	0,10	0,93	-0,84	0,10	-0,76	1,00			
silte	-0,08	-0,22	0,25	-0,27	0,02	0,32	0,19	-0,08	-0,07	-0,31	0,01	-0,19	0,19	0,46	0,17	-0,09	0,07	0,23	-0,13	-0,03	0,12	-0,06	0,52	0,50	0,62	-0,22	1,00		
areia	-0,03	0,04	0,10	-0,08	-0,27	0,21	-0,89	0,86	0,03	0,17	0,12	-0,61	-0,90	0,54	-0,90	0,87	-0,90	-	-0,67	0,67	-0,31	-0,94	0,70	-0,27	0,58	-0,94	-0,06	1,00	

(1) ICHB = índice de cristalinidade de Hughes e Brown (HUGHES E BROWN, 1979), D (001) cor distância interplanar corrigida pelo uso de NaCl como padrão interno, LMH (001)= largura a meia altura da caulinita, DMC (001)= diâmetro médio do cristal da caulinita na direção 001, TD= temperatura de desidroxilação, Teor Ct e Teor Gt= teor de caulinita e goethita respectivamente, LMH Gt (001)= largura a meia altura da goethita na direção (001), DMC Gt(110)= diâmetro médio do cristal da goethita na direção (001), SiGt= substituição isomórfica de Fe por Al na goethita, Fe₂O₃DCB,OA e cristalino=óxido de ferro extraído por ditionito citrato bicarbonato, oxalato de amônio e a diferença entre os dois é o ferro cristalino, ReduçãoDCB=perda de massa após extração com ditionito citrato bicarbonato, Ds=densidade do solo, Pt=porosidade total, Pa=porosidade de aeração, KS=condutividade hidráulica, Ma=macroporosidade, CC=capacidade de campo, CTC=capacidade de troca catiônica, SB=saturação por base.

2.4 CONCLUSÕES

Os solos coesos da Formação Macacu apresentaram características mineralógicas da fração argila distintas de outros sedimentos correlatos ao Grupo Barreiras, com a presença de caulinita menos cristalina, ausência de gibbsita e hematita, maiores teores de areia e principalmente maior quantidade de material amorfo.

Nos solos coesos da Formação Macacu, a densidade do solo teve alta correlação com o teor de areia das amostras e com os maiores teores de material amorfo. E todas essas variáveis se correlacionaram negativamente com os teores de Ferro cristalino e teor de goethita dos solos não coesos e ainda com os teores de argila e porosidade total.

A maior variabilidade encontrada das variáveis estudadas dos solos coesos é explicada pela variação dos depósitos que lhe deram origem, sendo de natureza alóctone.

Para os solos coesos da Formação Macacu, a caulinita parece não explicar a coesão, mas o óxido de ferro exclusivamente a goethita deve estar agindo como agente desorganizador no empilhamento dos minerais silicatados.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M.; MELLO, J. W. V.; NEVES, J. C. L. Distribuição de frequência de tamanho da fração areia e compactidade relativa de solos desenvolvidos de sedimentos do grupo geológico Barreiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:1-9, 1998.
- ANAND, R. R.; GILKES, R. J.; ARMITAGE, T. M.; HILLER, J. W. Feldspar weathering in lateritic saprolite. **Clays Clay Mineralogy**, 33:31-43, 1985.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; CARVALHO, A.; SILVA, F. B. R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. In: **Workshop coesão em solos dos tabuleiros costeiros**, Aracaju, 2001. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.123-142.
- BESOAIN, E. **Mineralogia de arcillas de suelos**. San José, Instituto Interamericanos de Cooperativas para la Agricultura, 1985. 1205p.
- BIGARELLA, J. J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 47 (Suplemento), p. 365-393, 1975.
- CAMARGO, L. A.; JÚNIOR MARQUES, J; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas de relevo – II Correlação espacial entre mineralogia e agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2279-2288, 2008.
- CENTURION, J. F.; FREDDI, O. DAS.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOL, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:199-209, 2007.
- CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J; FONTES, M. P. F.; CURI, N. Propriedades cristalográficas de caulinitas de solos do ambiente tabuleiros costeiros, Amazônia e Recôncavo baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1857-1872, 2008.
- CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. **Soil Science Society American Journal**. 48:341-346, 1984.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 209p.
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:515-524, 1999.

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

FRANZMEIER, D. P.; CHARTRES, C. J.; WOOD, J. T. Hardsetting Soils in Southeast Australia: Landscape and Profile Processes. **Soil Science Society of America Journal**, 60:1178-1187, 1996.

GEE, G. W. E BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: Klute, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, **American Society of Agronomy**, 1986. p.383-412.

GHIDIN, A. A.; MELO, V. F.; LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. II – Relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:307-319, 2006.

GIAROLA, N. F. B; SILVA, A. P.; TORMENA, C.; SOUZA, L. S.; RIBEIRO, L. P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:239-247, 2001.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **Sciencia. Agricola**, v.59, n.3, p. 613-620, 2002.

GIAROLA, N. F. B.; DE LIMA, H. V.; ROMERO, R. E.; BRINATTI, A. M. DA SILVA, A. P. Mineralogia e cristalografia da fração argila de horizontes coesos de solos nos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:33-40, 2009.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. Tradução: Fabrício Beggato Baccaro. Porto Alegre; Artmed, 2011, 683p.

HARPER, R. J.; GILKES, R. J. Hardsetting in the surface horizons of Sandy soils and its implications for soil classification and management. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, p.603-619, 1994.

HUGHES, J. C.; BROWN, G. A. Crystallinity index for soil kaolinite and its relation to parent rock, climate and soil maturity. **Journal Soil Science**, 30:557-563, 1979

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis** - Advanced course. Madison, Prentice-Hall, 1979. 895p.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de atributos e ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000. p.107-138.

KÄMPF, N.; KLANT, E.; SCHNEIDER, P. Óxidos de ferro em Latossolos do Brasil sudeste e sul. In: **Reunião de classificação, correlação de solos e interpretação de aptidão agrícola**, 3., 1988, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Serviço Nacional de Levantamento e Classificação do Solo, p.153-183, 1988

KLUG, H. P. E; ALEXANDER, L. E. **X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials**. New York, John Wiley e Sons, 1954. 716p

LIMA, H. V. Identificação e caracterização do comportamento físico de solos coesos no Estado do Ceará. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004. 85p. (**Tese de Doutorado**).

LIMA, M. R. de; CABRAL JÚNIOR, M. STEFANI, F. L. Palinologia de sedimentos da formação Macacu – Rifte da Guanabara, Terciário do estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, vol.68, n.4, 1996.

MCKEAGUE, J. A. **Manual on soil sampling and methods of analysis**. Ottawa, Can. Society Soil Science, 1978. 212p.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays Clay Mineralogy.**, 7:317-327, 1960.

MEIRELES, M. C. S.; RIBEIRO, L. P. Caracterização da sílica em horizontes coesos de solos de tabuleiros. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 25. Viçosa, 1995. Resumos expandidos, SBCS - UFV, 1995. p.1688-1689.

MELO, V. F. Potássio e magnésio em minerais de solos e relação entre propriedades da caulinita com formas não trocáveis destes nutrientes. **Tese de doutorado**. Universidade Federal de Viçosa, 1998, 205p.

MELO, V. F.; FONTES, M. P. F.; NOVAIS, R. F.; SINGH, B. E SCHAEFER, C. E. G. R. Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:19-32, 2001a

MELO, V. F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; NOVAIS, R. F.; FONTES, M. P. F. F. Chemical and mineralogical properties of kaolinite-rich Brazilian soils. **Soil Science Society American Journal**. 65:1324-1333, 2001b

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SINGH, B.; NOVAIS, R. F.; FONTES, M. P. F. Propriedades químicas e cristalográficas da caulinita e dos óxidos de ferro em sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:53-64, 2002.

MULLINS, C. E. Hardsetting soils. In: SUMNER, M. E. (Ed.), **Handbook of soil science**. New York: CRC Press, 1999. p.G65-G87.

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

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e forma de alumínio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1-9, 2003.

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

REZENDE, J. DE O. Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo. Salvador: SEAGRI, SPA, 2000. 117p. (**Série Estudos Agrícolas, 1**).

RIBEIRO, L. P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: **Reunião Técnica sobre solos coesos dos Tabuleiros Costeiros**, Cruz das Almas, 1996. Anais. Aracaju: Embrapa CPATC; CNPMF; EAUFBA; IGUFBA

RIBEIRO, L. P. Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. In: **WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS**, Aracaju, 2001. Anais. Aracaju, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. p.93-121

RICCOMINI C.; SANT`ANA, L. G.; FERRARI, A. L.; Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. 1ª edição, 2004, p.383-405.

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

SCHULZE, D. G. The influence of aluminium on iron oxides.VIII – Unit-cell dimensions of Al-substituted goethites and estimation of Al from them. **Clays Clay Mineralogy**.,32:36:44, 1984.

SCHWERTMANN, U. The effect of pedogenetic environments on iron oxide minerals. **Advanced Soil Science**, 1:171-200, 1985.

SCHWERTMANN, U.; CARLSON, L. Aluminium influence on iron oxides: XVII. Unit-cell parameters and aluminium substitution of natural goethites. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 58:256-261, 1994.

SCHWERTMANN, U.; FITZPATRICK, R. W.; TAYLOR, R. M.; LEWIS, D. G. The influence of aluminium on iron oxides. Preparation and properties of Al-substituted hematites. **Clays Clay Mineralogy**., 29:269-276, 1979.

SCHWERTMANN, U.; KAMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. **Soil Science**, 139:344-350, 1985.

SING, B.; GILKES, R. J. Properties of soil kaolinites from south-western Australia. **Journal Soil Science**., 43:645-667, 1992.

SINGH, B. E GILKES, R. J. Concentration of iron oxides from soil clays by 5 M NaOH treatment: The complete removal of sodalite and kaolin. **Clays Clay Mineralogy**, 26:463-472, 1991.

STATSOFT, I. STATISTICA (data analysis software system), 2007.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 473-481, mar. 2001.

TORRENT, J.; CABEDO, A. Sources of iron oxides in reddish brown soil profiles from calcarenites in Southern Spain. **Geoderma**, 37:5766, 1986.

CAPÍTULO 3

INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO NA ENCOSTA NA MANIFESTAÇÃO DO CARÁTER COESO EM SOLOS DA FORMAÇÃO MACACU NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

RESUMO

A coesão de alguns horizontes de certos solos interfere diretamente no crescimento de plantas provocando redução da profundidade efetiva, volume de raízes e emergência de plântulas, em decorrência da redução da disponibilidade de água e ar no solo. Neste estudo objetivou-se caracterizar, por meio dos atributos físicos, a coesão de horizontes de solos em função das posições dos perfis em duas topossequências em área de sedimentos terciários da Formação Macacu, no município de Itaboraí (RJ). As encostas das topossequências possuíam Argissolo Amarelo Distrocoeso típico no segmento superior e Latossolo Amarelo Distrocoeso típico no segmento inferior. Os horizontes sub superficiais coesos apresentaram valores máximos de densidade próximos de $1,8 \text{ Mg m}^{-3}$. Outra evidência da forte tendência da manifestação do caráter coeso foram as variações abruptas nos parâmetros físicos entre o horizonte A e os horizontes inferiores BA e Bw dos perfis. Os solos do segmento inferior da vertente apresentaram maior umidade de campo, condutividade hidráulica e água disponível. A manifestação do caráter coeso foi mais significativa nos solos dos segmentos superiores. Os atributos que melhor segregaram as amostras em função da posição na vertente foram a densidade e a macroporosidade para o segmento superior e água disponível e porosidade total para o segmento inferior da vertente. Os solos posicionados no final da vertente apresentaram maiores teores de água, e essa maior umidade deve ter sido responsável por amenizar a coesão. Este estudo ressalta a importância das investigações sobre as variações do grau de coesão dos horizontes no perfil e dos solos ao longo das vertentes, relacionando-o aos seus fluxos hídricos.

Palavras-chave: Condutividade hidráulica. Densidade do solo. Porosidade. Topossequência. Umidade.

INFLUENCE OF THE LANDSCAPE POSITION ON THE OCCURRENCE OF COHESIVE CHARACTER IN SOILS OF THE MACACU FORMATION IN RIO DE JANEIRO.

ABSTRACT

Soil cohesive character interferes directly with plant growth: by reducing soil effective depth, plant root volume and seedling emergence, both by reducing availability of water and air in soil. The present paper aimed to use soil physical characteristics to describe the cohesive character and the influence of soil landscape position (two slopes) on soils developed from sediments of the Macacu Formation in the Itaboraí municipality, RJ, Brazil. On both slopes sampled, soils were classified as Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (Ultisol) at upper position and at toe slope, as Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (Oxisol). Soil bulk density of subsuperficial horizon were very high, reaching a maximum of 1.78 Mg m^{-3} . Another strong evidence of the expression of the cohesive character was the great difference among values of soil physical characteristics for A horizon and subsuperficial soil layers. Soils from the toe slope position showed greater soil moisture content, and both higher hydraulic conductivity and available water. The expression of the cohesive character was stronger on the upper position of the landscape. The soil physical attributes that best segregated soil samples, considering landscape positions, were bulk density and macroporosity for soils at the summits, and available water and total porosity at the toe slope, being the higher soil moisture throughout the year the major responsible by reducing the expression of the cohesive character on soils at the top. This study points out the importance of developing more researches on different aspects of the degree of cohesion existing along a landscape, controlled primarily by water flows down the slope.

Key-words: Hydraulic conductivity. Soil bulk density. Soil moisture. Soil porosity. Soil toposequence.

3.1 INTRODUÇÃO

A coesão é um atributo do solo descrito como o estado de não cimentação aparente, que se manifesta apenas quando o solo está seco (consistência muito ou extremamente dura) e desaparece quando os índices de umidade aumentam (Embrapa, 2006). É caracterizada pelo aumento de densidade e resistência à penetração e redução da porosidade total, aeração e absorção de nutrientes em relação aos horizontes não-coesos adjacentes do mesmo solo (Giarola et al., 2001; Santana et al., 2006). Outros efeitos negativos do caráter coeso podem ser destacados: redução da profundidade efetiva, do volume de raízes no perfil e da emergência de plântulas (Santana et al., 2006; Moreau et al., 2006).

Muitos estudos sobre o caráter coeso vêm sendo realizados em solos dos Tabuleiros costeiros, desenvolvidos de sedimentos Terciários do ao Grupo Barreiras (Lima et al., 2004; Santana et al., 2006; Giarola et al., 2009; Lima Neto et al., 2009). Os sedimentos do Grupo Barreiras ocupam a faixa litorânea e parte da sub-litorânea de quase toda a Costa Oriental e Setentrional do Brasil, desde o Rio de Janeiro, estendendo-se para oeste, até a Bacia Amazônica (Bigarella, 1975). São sedimentos com pouco ferro “livre”, maduros, caulíníficos, com esqueleto quartzoso mal selecionado, o que favorece, sobremaneira, o empacotamento dos minerais de solo deles originados (Arcanjo, 1990). A Formação Macacu, também pertencente às Bacias Continentais Terciárias e de onde foram coletadas as amostras de solo do estudo, apresenta o contexto evolutivo destes sedimentos relacionado ao do Grupo Barreiras (Bigarella e Andrade, 1964). Essa associação com o Grupo Barreiras foi revista, e dados estratigráficos e estruturais (Silva e Ferrari, 1997) permitiram dissociar os sedimentos Macacu desse contexto e considerá-los como parte de uma bacia tafrogênica relacionada ao Sistema de Riftes Continentais do Sudeste do Brasil (Riccomini et al., 2004). A origem da Formação Macacu está relacionada ao período Eoceno/Oligoceno, ou seja, mais antiga que o Grupo Barreiras (Lima et al., 1996). A Bacia do Macacu aflora a nordeste da Baía de Guanabara, estendendo-se na direção ENE por aproximadamente 25 km, com 15 km de largura, nas imediações das cidades de Itaboraí, Magé e da Ilha do Governador. A espessura conhecida da bacia é de aproximadamente 200 m e foi preenchida por um pacote sedimentar

eocênico-oligocênico, depositado em ambiente de leques aluviais, intercalado com fácies de natureza, provavelmente, lacustre (Silva e Ferrari, 1997).

Lima Neto et al. (2009) relacionaram o caráter coeso como exclusivo de solos dos tabuleiros costeiros desenvolvidos de sedimentos do Grupo Barreiras. Segundo Giarola et al. (2009) os horizontes coesos do Grupo Barreiras apresentaram a fração argila dominada por caulinitas com grau de ordenamento estrutural elevado e baixos teores de óxidos cristalinos e pouco cristalinos. Contudo, alguns autores também identificaram o caráter coeso em solos de outras formações geológicas: em Argissolos Vermelhos desenvolvidos de granito-gnaiss no sul da Bahia e norte do Espírito Santo (Correa et al., 2008) e em Nitossolos sob floresta em região de rochas efusivas básicas (Silva et al., 2009). No Rio Grande do Sul, município de Pinheiro Machado, Curcio et al. (2000) também identificaram forte coesão (horizonte BA extremamente duro) em Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média/argilosa, utilizado para pastagem e desenvolvido de sedimentos alterados de migmatito. Os autores destacaram que as características mineralógicas da fração argila foram semelhantes aos solos coesos do Grupo Barreiras.

Além dos poucos trabalhos sobre coesão em solos pertencentes à Formação Macacu, não se tem relatos na literatura de estudos relacionados ao efeito da posição dos perfis de solos nas encostas na manifestação do caráter coeso dos horizontes subsuperficiais. Já para os solos não coesos existe um abrangente acervo de dados sobre o efeito da posição na vertente (segmentos superior e inferior) sobre as características morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas dos solos (Ghidin et al., 2006; Balieiro et al., 2008, entre outros). Moniz e Buol (1982) estudaram vertentes (transição de Argissolo-Latossolo) em São Paulo e verificaram que a parte inferior da topossequência é mais úmida que a superior, e ainda identificaram variações nos atributos físicos e morfológicos nos solos em decorrência de processos de formação influenciados pelo posicionamento na encosta.

Este estudo teve como objetivo verificar por meio dos atributos físicos a manifestação do caráter coeso em função da posição dos solos em uma vertente convexa-divergente, em área de sedimentos terciários da Formação Macacu.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no município de Itaboraí (RJ), com clima tropical, quente e úmido, com um a dois meses secos, com temperatura média acima de 18 graus em todos os meses do ano. No verão, o calor e a umidade são muito expressivos, com elevada precipitação. No inverno há redução significativa da umidade, temperatura e pluviometria, especialmente entre os meses de junho a agosto (Gonçalves, 2012). O mesmo autor enquadrou o clima da região como “Aw” segundo a classificação de Köppen.

A área foi selecionada dentro do Complexo Petroquímico COMPERJ/PETROBRÁS, inserida na região sedimentar da Baía da Guanabara, que juntamente com outras bacias, constituem o Rifte Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini et al., 2004). A estratigrafia da bacia é formada por sedimentos da Formação Macacu do período Eoceno/Oligoceno (Lima et al., 1996), com geoformas convexa-divergentes (de acordo com a classificação de Hugget, 1975) devido a processos erosivos.

Foram estudadas duas pedossequências em uma ou duas encostas (50 m de distância entre elas), ambas com Argissolo Amarelo Distrocoeso típico no segmento superior e Latossolo Amarelo Distrocoeso típico, no segmento inferior (FIGURA 7). Nas observações de campo constatou-se que o segmento inferior é mais úmido devido a proximidade à planície e por receber fluxo lateral de água das partes mais elevadas, além da menor declividade do terreno nessa porção da encosta (declividade média de 3 % nas áreas de Latossolos - FIGURA 7). Essas características resultam em menor velocidade e maior volume dos fluxos hídricos subsuperficiais no final da vertente. De acordo com Gerrard (1981) a porção inferior da vertente apresenta fluxo de água via percolação profunda e o fluxo subsuperficial é saturado. Já no segmento superior (declividade média de 8 % - áreas de Argissolos) a umidade é perdida mais facilmente por se tratar de uma zona de transição para a posição de topo, segmento em que não foram tomadas amostras de solo.

Para caracterização e classificação dos perfis foram feitas descrições morfológicas, e análises químicas e granulométricas dos horizontes A, BA, B1 e B2,

conforme metodologias de Santos e Lemos. (2005) e Embrapa (1997). Os dados morfológicos dos perfis da topossequência 1 são apresentados no TABELA 13

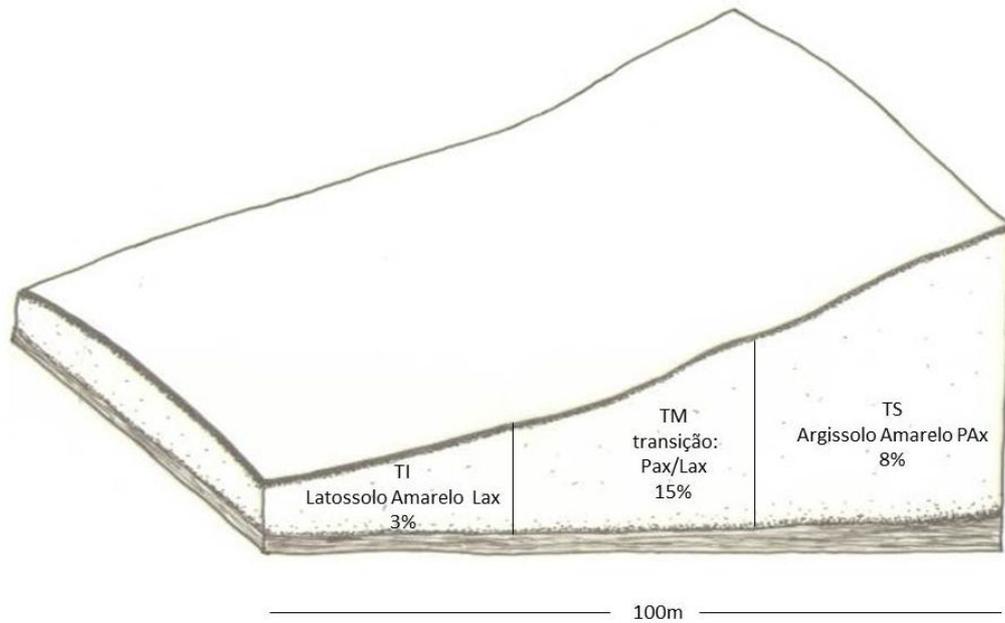


FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO DOS ARGISSOLOS (TS - PARTE SUPERIOR) E LATOSSOLOS (TI - PARTE INFERIOR), COM SUAS RESPECTIVAS DECLIVIDADES, DESENVOLVIDOS DE SEDIMENTOS DA FORMAÇÃO MACACU EM VERTENTE CONVEXO-DIVERGENTE NO MUNICÍPIO DE ITABORÁI (RJ).

TABELA 13 - ANÁLISE MORFOLÓGICA DOS PERFIS DE SOLOS DA TOPOSSEQUÊNCIA 1 DESENVOLVIDOS DE SEDIMENTOS DA FORMAÇÃO MACACU NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ (RJ)

Perfil	Altitude (m)	Posição vertente	Classe	Horiz.	Prof. (m)	Cor	Descrição
Perfil 1	29	superior	Argissolo Amarelo Distrocoeso Típico	Ap	0-0,18	(10YR 3/2) bruno-acinzentado muito escuro	franco-arenoso; moderada/fraca pequena granular; macia, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
				BAx	0,18-0,32	(10YR 4/5) bruno-amarelo escuro	franco-argilo-arenoso; fraca/moderada média e grandes blocos subangulares que se desfaz em moderada fraca e pequena e muito pequena granular; extremamente dura, firme, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
				Bt ₁ x	0,32-0,61	(10YR 5/7) bruno-amarelado	franco-argilo-arenoso; fraca/moderada grandes blocos subangulares que se desfaz em moderado pequena muito pequena granular; muito dura, firme, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
				Bt ₂ x	0,61-0,75 ⁺	(9YR 5/8) bruno-amarelado	argilo-arenoso; fraca grandes blocos subangulares que se desfaz em moderada pequena e muito pequena granular; muito dura, firme, plástico e pegajoso; transição difusa e plana..
Perfil 2	19	inferior	Latossolo Amarelo Distrocoeso Típico	Ap	0-0,22	(10YR 3/2) bruno-acinzentado muito escuro	franco-argilo-arenoso; moderada pequena média blocos subangulares que se desfaz em moderada fraca pequena granular; ligeiramente dura, friável/firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
				BAx	0,22-0,36	(10YR 4/5) bruno-amarelado escuro	franco-argilo-arenoso; fraca/moderada grandes blocos subangulares que se desfaz em moderada fraca pequena muito pequena granular; extremamente dura, firme, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
				Bw ₁ x	0,36-0,74	(10YR 5/7) bruno-amarelado	franco-argilo-arenoso; fraca grandes blocos subangulares que se desfaz em moderada muito pequena granular; muito dura, firme, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
				Bw ₂ x	0,74-1,02 ⁺	(10YR 5/8) bruno-amarelado	franco-argilo-arenoso; fraca grandes blocos subangulares que se desfaz em moderada muito pequena granular; muito dura, firme, plástico e pegajoso.

Foram coletadas três amostras indeformadas em anéis com cerca de 65 cm³ em cada horizonte (4 perfis descritos x 4 horizontes x 3 repetições = 48 amostras) para determinação dos seguintes parâmetros físicos (Embrapa, 1997): umidade de campo, densidade do solo, macroporosidade (umidade na tensão de 6 kPa), porosidade total (massa saturada – massa seca a 105°C), capacidade de campo (umidade na tensão de -10 kPa), porosidade de aeração (porosidade total – umidade na capacidade de campo), água disponível (umidade na tensão de -10 kPa - umidade na tensão de - 1500 kPa) e condutividade hidráulica saturadas.

Após a caracterização física inicial foram selecionados apenas os horizontes coesos (BAX) de cada posição na encosta. Esse horizonte apresentou maior resistência à penetração do anel em que foram coletadas as amostras, coerente com sua consistência extremamente dura no estado seco (TABELA 13). A maior coesão nos horizontes transicionais AB e BA já foi divulgada por Lima et al.,(2004) Embrapa, (2006); Moreau et al., (2006) e Santana et al.(2006). Ao lado dos perfis da topossequência 1 foram abertas pequenas trincheiras até o horizonte BA, de onde foram coletados 9 anéis (repetições) em cada porção da encosta (segmentos superior e inferior), totalizando 18 amostras.

O conjunto de dados do horizonte BAX foi analisado pelos testes T (Student) e Mann-Whitney (teste U) (Gotelli e Ellison, 2011). Os dados também foram submetidos à análise de componentes principais (PCA) para eliminação das variáveis colineares. Como resultado, apenas os atributos água disponível, porosidade total, macroporosidade e densidade do solo foram considerados nos demais procedimentos estatísticos. Também foi feita a padronização dos dados ($Z = (X - \mu) / \sigma$) para diminuir a amplitude de variação das variáveis selecionadas.

Foi criada uma nova matriz dos dados padronizados das variáveis selecionadas para aplicação da análise discriminatória de Fisher ou discriminante Canônica. O objetivo dessa análise foi segregar grupos de dados (segmento superior e inferior) usando funções lineares que permitem exibir sua máxima separação, considerando as variáveis previamente selecionadas pela PCA. Para validar a significância estatística dos resultados do teste de Fisher, as associações entre os atributos selecionados nas duas posições da vertente (expressas pelo coeficiente de correlação canônica) foram testadas através de permutações de Monte Carlo. A segregação das posições também foi testada por meio do lambda de Wilks. Todos os conceitos, funções e aplicações desses testes estatísticos podem

ser obtidos em Gotelli e Ellison (2011). As análises foram feitas utilizando os algoritmos dos programas Canoco for Windows 4.5 (TerrBraak e Smilauer, 2002; JMP, 2004).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em ambos os perfis do segmento superior (1 e 3) os valores de condutividade hidráulica (KS) dos horizontes sub superficiais (caráter coeso) foram muito inferiores aos perfis correspondentes nas posições mais baixas da encosta (2 e 4) com exceção do horizonte B_{Ax} do perfil 4 (TABELA 14). Santana et al. (2006) encontraram drástica redução na KS nos horizontes coesos, principalmente nos de transição AB e BA de solos dos tabuleiros costeiros da Bahia. Os autores consideraram a KS um atributo importante no diagnóstico de camadas coesas dos solos e obtiveram correlações positivas e significativas entre KS e densidade de raízes de citros.

Excluindo os horizontes Ap do perfil 1 e B_{w2x} do perfil 4, o valor do coeficiente de correlação entre KS e densidade do solo (D_s) foi negativo e significativo ($r = -0,78$, $p < 0,05$, $n = 10$). Os valores de D_s atingiram $1,78 \text{ Mg m}^{-3}$ nos horizontes subsuperficiais do perfil 1 e foram superiores aos valores máximos observados por outros autores em horizontes coesos de solos do Grupo Barreiras: Giarola et al. (2001) - $1,57 \text{ Mg m}^{-3}$; Santana et al. (2006) - $1,71 \text{ Mg m}^{-3}$. Por outro lado, Lima et al. (2004) e Moreau et al. (2006) relataram valores de D_s superiores a $1,8 \text{ Mg m}^{-3}$. De acordo com Araújo Filho et al. (2001) os horizontes coesos dos solos não apresentam organização estrutural nítida da massa do solo, com graus variáveis de coesão (moderadamente coesos a coesos) e D_s média na faixa de 1,5 a $1,8 \text{ Mg m}^{-3}$.

Os valores de macroporosidade (macro) dos horizontes coesos foram baixos (variação entre $0,01$ a $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ – TABELA 14) e inferiores aos observados por Santana et al. (2006) para o horizonte de maior expressão do caráter coeso (horizonte AB) de perfis de Latossolo Amarelo: média $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, máximo $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e mínimo $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. De acordo com esses autores, a macroporosidade pode ser considerada uma integração de vários atributos envolvidos na coesão do solo: granulometria, argila dispersa em água, densidade do solo, porosidade total e agregação. Em solos adensados os poros originalmente grandes são comprimidos, resultando em redução no volume total de poros e na macroporosidade (Lima et al., 2004).

A porosidade de aeração (A_e) teve uma redução consistente do horizonte Ap para os horizontes subsuperficiais, principalmente do segmento superior (TABELA

14). Essas variações abruptas nos parâmetros físicos entre o horizonte A e os horizontes inferiores são características de solos coesos (Cintra e Libardi, 1998; Correa et al., 2008). No perfil 1 a KS decresceu de 37,7 cm h⁻¹ no horizonte Ap para 0,8 cm h⁻¹ no horizonte BAx. Já as variações da porosidade total (PT) ao longo dos perfis foram maiores no segmento superior, mantendo-se mais estáveis no segmento inferior. Mesmo o caráter coeso não se manifestando apenas nos horizontes Ap de todos os perfis (consistência macia e ligeiramente dura no estado seco – TABELA 13).

TABELA 14 - ATRIBUTOS FÍSICOS E TEORES DE CARBONO ORGÂNICO DE SOLOS COESOS DE DUAS TOPOSSEQUÊNCIAS NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ (RJ)⁽¹⁾

Horiz.	Prof. cm	Ds Mg m ⁻³	KS cm h ⁻¹	Porosidade					Granulometria			CO	
				total	macro	micro	Ae	D	areia	silte	argila		
				m ³ m ⁻³									g.kg ⁻¹
Topossequência 1													
Perfil 1 – Argissolo Amarelo Distrocoeso Típico – segmento superior													
Ap	0-18	1,28	37,70	0,54	0,22	0,32	0,23	0,04	691	109	200	20,2	
BAx	18-32	1,78	0,82	0,40	0,06	0,34	0,09	0,08	600	174	225	11,5	
Bt1x	32-61	1,78	0,48	0,39	0,05	0,34	0,07	0,07	559	116	325	5,10	
Bt2x	61-75 ⁺	1,77	0,64	0,40	0,03	0,37	0,06	0,06	519	30,5	450	2,40	
Perfil 2 – Latossolo Amarelo Distrocoeso típico – segmento inferior													
Ap	0-22	1,52	5,66	0,49	0,07	0,42	0,13	0,05	513	211	275	12,4	
BAx	22-36	1,58	2,35	0,42	0,01	0,40	0,11	0,05	529	120	350	12,4	
Bw1x	36-74	1,57	2,62	0,41	0,01	0,40	0,11	0,06	585	89	325	2,4	
Bw2x	74-1,02 ⁺	1,52	1,66	0,47	0,02	0,44	0,15	0,07	555	95	350	3,3	
Topossequência 2													
Perfil 3 – Argissolo Amarelo Distrocoeso típico – segmento superior													
Ap	0-24	1,51	5,77	0,54	0,01	0,52	0,14	0,06	638	111	250	11,5	
BAx	24-46	1,70	0,79	0,38	0,01	0,37	0,07	0,05	579	121	300	8,7	
Bt1x	46-81	1,68	0,56	0,39	0,02	0,37	0,07	0,05	562	113	325	6,0	
Bt2x	81-93	1,72	0,65	0,43	0,01	0,42	0,08	0,05	530	44	425	2,4	
Perfil 4 – Latossolo Amarelo Distrocoeso típico – segmento inferior													
Ap	0-32	1,64	1,41	0,46	0,01	0,45	0,08	0,04	566	158	275	15,3	
BAx	32-50	1,64	0,55	0,39	0,01	0,38	0,07	0,05	540	135	325	8,7	
Bw1x	50-81	1,66	1,41	0,42	0,01	0,41	0,10	0,06	515	134	350	6,9	
Bw2x	81-92	1,72	8,62	0,42	0,01	0,41	0,07	0,04	507	143	350	6,0	

⁽¹⁾Valores médios de três repetições. Ds = densidade do solo; CH.= condutividade hidráulica; macro = macroporosidade; micro = microporosidade; Ae = porosidade de aeração; AD = água disponível; CO = carbono orgânico.

De maneira geral, os solos do segmento inferior da vertente apresentaram melhores condições físicas para o uso com agricultura que os solos localizados no segmento superior da vertente. No campo, nas avaliações morfológicas, percebeu-se que o caráter coeso foi fortemente influenciado pela umidade do solo, conforme já observado por outros autores (Ribeiro, 2001; Araújo Filho et al., 2001; Embrapa, 2006). Desta forma foi verificado que a expressão da coesão é influenciada pelo teor de umidade do material, ou seja, se o solo permanecer úmido por períodos mais longos que outro, ele terá menor chance de expressar essa característica, mesmo tendo potencial para tal.

A umidade média de campo das amostras coletadas no horizonte B_{Ax} no segmento inferior foi maior que a umidade do mesmo horizonte no segmento superior da vertente, mesmo não sendo verificada diferença significativa estatisticamente (TABELA 15). Contudo, não se pode creditar o desenvolvimento do caráter coeso apenas a variações de umidade, devendo-se considerar também as características químicas e mineralógicas dos solos. Segundo Giarola et al. (2009) os horizontes coesos do Grupo Barreiras apresentaram a fração argila dominada por caulinitas com grau de ordenamento estrutural elevado e baixos teores de óxidos cristalinos e pouco cristalinos.

Os solos coletados por esses autores apresentavam na mesma posição da encosta e regimes hídricos semelhantes. Corrêa (2005) usou diversas técnicas químicas, físicas e mineralógicas para estudar solos dos tabuleiros costeiros e apresentaram as seguintes conclusões sobre a gênese do caráter coeso: a gênese dos horizontes coesos não se deve a presença de agentes cimentantes, mas sim, ao maior conteúdo de argilas muito finas, principalmente menores que 0,2 µm, translocadas entre horizonte ou dentro do mesmo horizonte, como argila dispersa.

Após a descrição inicial dos perfis das duas topossequências tomaram-se amostras apenas do horizonte B_{Ax} para confirmar o efeito da posição na vertente das características físicas e na expressão do caráter coeso dos solos (TABELA 15 e FIGURAS 7 e 8). De acordo com Moreau et al. (2006) o fato da coesão não apresentar-se em todo o perfil do solo, concentrando-se nos horizontes transicionais AB e BA, justifica-se pela presença da matéria orgânica nos horizontes superficiais e, talvez, pelo umedecimento mais pronunciado em profundidade.

TABELA 15 - ATRIBUTOS FÍSICOS DOS HORIZONTES B_{Ax} DE SOLOS COESOS NOS SEGMENTOS SUPERIOR E INFERIOR DA VERTENTE NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ (RJ)⁽¹⁾

PARÂMETROS	SEGMENTO SUPERIOR	SEGMENTO INFERIOR
Densidade do solo (D _s) (Mg m ⁻³)	1,411*	1,314*
Porosidade total (PT) (m ³ m ⁻³)	0,360	0,365
Macroporosidade (macro) (m ³ m ⁻³)	0,096	0,082
Capacidade de campo (CC) (m ³ m ⁻³)	0,241	0,252
Água disponível (AD) (m ³ m ⁻³)	0,056*	0,078*
Porosidade de aeração (A _e) (m ³ m ⁻³)	0,117**	0,112**
Umidade de campo ⁽²⁾ (UC) (m ³ m ⁻³)	0,24	0,28

⁽¹⁾ valores médios de 9 repetições para cada posição. * indica diferença estatisticamente significativa pelo teste de Mann-Whitney ou teste U ($p < 0,05$). ** indica diferença estatisticamente significativa pelo teste T ($p < 0,05$).

Os valores de D_s e A_e apresentaram diferenças significativas entre as posições na vertente estudada (TABELA 15), evidenciando a maior coesão dos solos no segmento superior da vertente. Moreau et al. (2006) trabalharam com duas topossequências de Argissolos Amarelos desenvolvidos de sedimentos argilo-arenosos do Grupo Barreiras no sul da Bahia e observaram maiores valores médios de D_s para os horizontes subsuperficiais dos solos no segmento superior da vertente (D_s = 1,55 Mg m⁻³) em relação aos solos das posições mais baixas e mais dissecadas (D_s = 1,43 Mg m⁻³). Os dados médios, o erro padrão e o desvio padrão das variáveis D_s, PT, macroporosidade (Mp), capacidade de campo (CC) e A_e são apresentados na FIGURA 8.

No segmento superior os maiores valores de Macro e D_s favoreceram a menor quantidade de AD nos horizontes B_{Ax}. Klein e Libardi (2002) definiram como macroporosidade a soma dos poros com diâmetro acima de 0,05 mm, sendo a água contida neles não contabilizada como água disponível, pois é facilmente perdida por drenagem. Já no segmento inferior a maior PT (com maior influência da microporosidade - cerca de 77 % da PT) favoreceu a maior quantidade de AD no mesmo horizonte. A redução da macroporosidade no segmento inferior pode ser explicada pelo maior teor de argila dos horizontes B_{Ax} dos solos nessa posição (TABELA 14), aumentando, por consequência, a microporosidade e a capacidade de retenção hídrica.

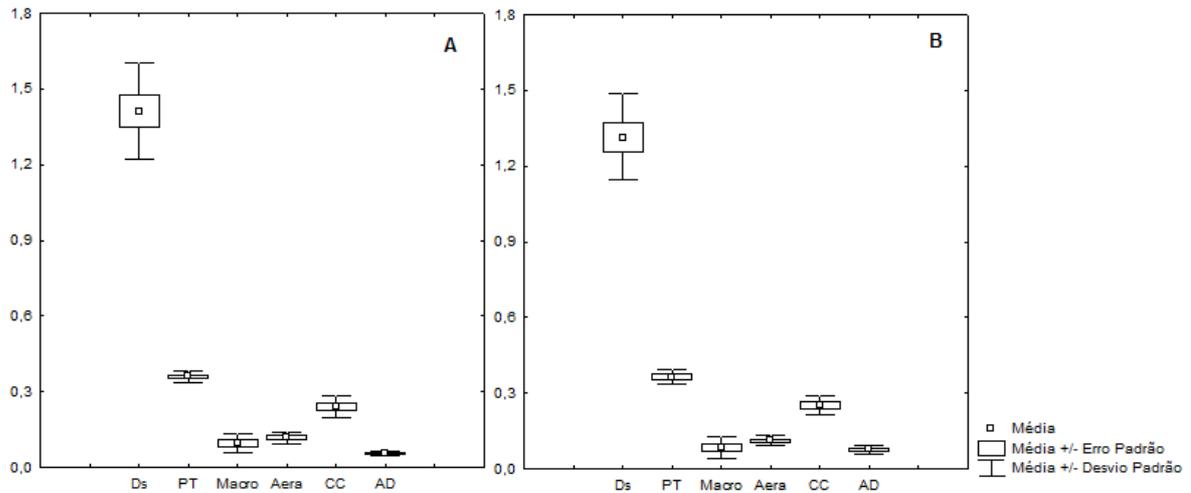


FIGURA 8 – “BOX-PLOT” INDICANDO A MÉDIA, O ERRO PADRÃO DA MÉDIA E O DESVIO PADRÃO ($n = 9$ EM CADA POSIÇÃO) DOS PARÂMETROS FÍSICOS DOS HORIZONTES Bx DE SOLOS COESOS DO SEGMENTO SUPERIOR (A) E INFERIOR (B) DA TOPOSEQUÊNCIA NO MUNICÍPIO DE ITABORÁI (RJ). Ds - DENSIDADE DO SOLO (Mg m^{-3}), PT - POROSIDADE TOTAL (m^3m^{-3}), Mp – MACROPOROSIDADE (m^3m^{-3}), Ae - POROSIDADE DE AERAÇÃO (m^3m^{-3}), CC - CAPACIDADE DE CAMPO (m^3m^{-3}), AD - ÁGUA DISPONÍVEL (m^3m^{-3}).

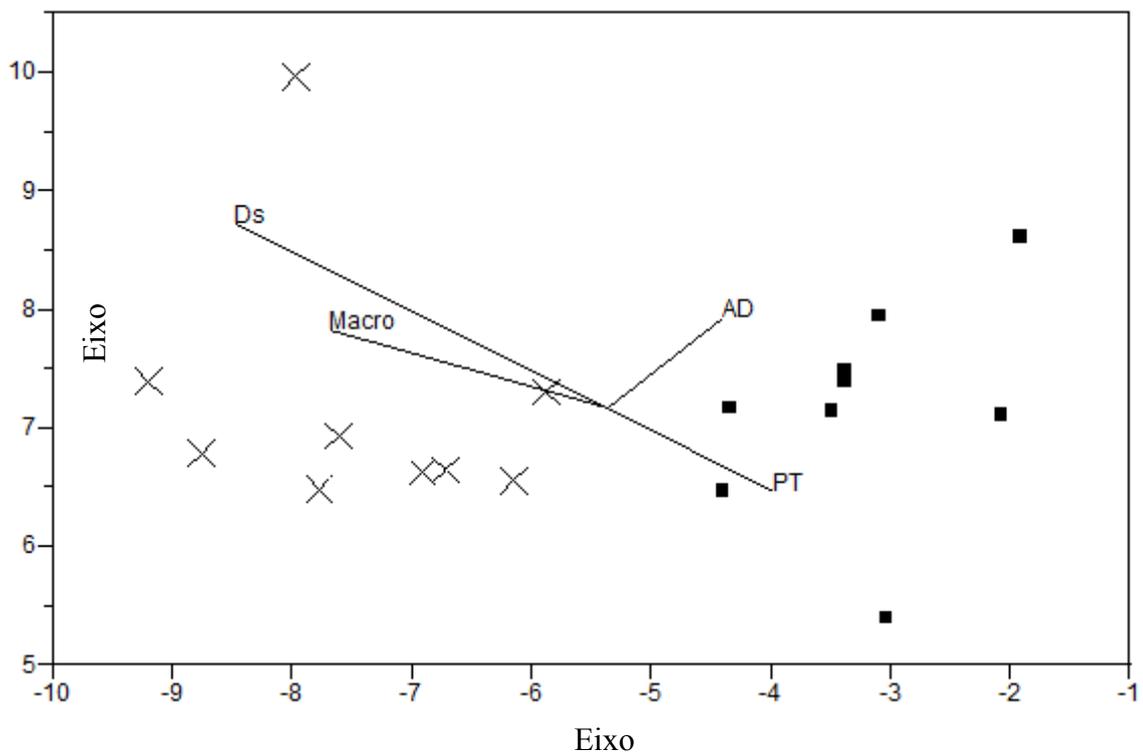


FIGURA 9 – ANÁLISE DISCRIMINANTE DE FISCHER COM BASE NOS ATRIBUTOS FÍSICOS SELECIONADOS PELA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DOS HORIZONTES Bx DE SOLOS COESOS DO SEGMENTO SUPERIOR (x) E INFERIOR (■) ($n = 9$ EM CADA POSIÇÃO) DE TOPOSEQUÊNCIA NO MUNICÍPIO DE ITABORÁI (RJ). Ds - DENSIDADE DO SOLO, AD - ÁGUA DISPONÍVEL, PT - POROSIDADE TOTAL, MACRO - MACROPOROSIDADE.

A menor capacidade de armazenamento de água no segmento superior torna a perda de umidade mais rápida no horizonte BAx e, possivelmente, a manifestação do caráter coeso; observar o menor teor médio de umidade de campo do horizonte BAx do solo do segmento superior no momento da coleta das amostras (TABELA 15). Esses resultados indicam que a dinâmica de água nos solos ao longo das estações do ano deve ser mais bem estudada como forma de elucidar a manifestação diferenciada do caráter coeso nas diferentes posições nas vertentes da Formação Macacu.

A manifestação do caráter coeso é diferente da presença do caráter, este último é inquestionável. Pois em ambos posicionamentos (superior e inferior) o solo quando seco apresentava a coesão em seus horizontes subsuperficiais, porém a amenização da coesão foi observada nos perfis do final da encosta, e essa amenização foi decorrente da maior umidade dos solos.

3.4 CONCLUSÕES

Os solos formados de sedimentos da Formação Macacu (Planície Litorânea do Estado do Rio de Janeiro) apresentaram forte tendência de expressão de caráter coeso em seus horizontes subsuperficiais.

A manifestação do caráter coeso foi mais significativa nos solos do segmento superior da vertente em face dos resultados físico-hídricos. Os solos do segmento inferior apresentaram características físicas indicadoras da amenização da coesão, como maior teor de água disponível e porosidade total.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO FILHO, J. C.; CARVALHO, A.; SILVA, F. B. R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. In: **WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS**, Aracaju, 2001. Anais. Aracaju. EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. p.123-142.
- ARCANJO, J. D. La formation Barreiras dans la region de Vitoria, ES. Strasbourg, Université Louis Pasteur, 1990. 110p. (**Tese Doutorado**)
- BALIEIRO, F. C.; OLIVEIRA, W.C.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; PICCOLO, M. C. ;JACCOUD, C.F. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa topossequência em Seropédica, RJ. **Revista Árvore**, 32:153-162, 2008.
- BIGARELLA, J. J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 47 (Suplemento), p. 365-393, 1975.
- BIGARELLA, J. J. ;ANDRADE, G. O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). Universidade de Recife **Arquivo Instituto de Ciências da Terra**, 2:1-14, 1964.
- CORREA, M. M. Óxidos de ferro e tipificação de caulinitas na gênese de solos coesos do ambiente dos tabuleiros costeiros. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2005 (**Tese de doutorado**).
- CORREA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M.P.F.; CURTI, N. Propriedades cristalográficas de caulinitas de solos do ambiente tabuleiros costeiros, Amazônia e Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, 32:1857-1872, 2008.
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. **Scientia Agricola**, 55:367-378, 1998.
- CURCIO, G. R.; CARVALHO, A. P.; BOGNOLA, I. A.; GOMES, I. A.; ROSSI, M.; COELHO, M. R.; SANTOS, R. D. **REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVAMENTOS DE SOLOS**, 6º Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Colombo: Embrapa Florestas/ Rio de Janeiro: Embrapa Solos/ Campinas: IAC, 2000, 222p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2ª ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997. 212p.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, G. B.; ANJOS, L. H. C. Disponibilidade de água e propriedades edáficas em solos de tabuleiro no Estado do Rio de Janeiro. **Revista da Universidade. Rural do Rio de Janeiro**. Seropédica, 24:1-7, 2004.

GERRARD, J. **Soils and landforms**: An integration of geomorphology and pedology. London, Allen and Un. Press Pub., 1981. 219p.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENE, C.; SOUZA, L.S.; RIBEIRO, L.P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento *hardsetting*: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:239-247, 2001.

GIAROLA, N. F. B.; LIMA, H. V.; ROMEROL, R. E.; BRINATTI, A. M.; SILVA, A. P. Mineralogia e cristalografia da fração argila de horizontes coesos de solos nos tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:33-40, 2009.

GHIDIN, A. D.; MELO, V. F.; LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no paraná. I – mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:293-306, 2006.

GONÇALVES, A. O. Caracterização climática. In: RACHEL, B.; PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C.; BONNET, A. ed. **Monitoramento da revegetação do Comperj: etapa inicial**. Brasília, Embrapa, 2012. p.65-82.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. 1.ed. Traduo: Fabrício Beggiano Baccaro. Porto Alegre, Artmed, 2011. 683p.

HUGGETT, R. J. Soil landscape systems: a model of soil genesis. **Geoderma**, 13:1-22, 1975.

JMP - SAS. **Statistics and Graphics Guide**, Version 5, Release 5.1.2. (computer program manual) Statistical Analysis System, Cary, North Carolina. Inc., 2005. Não paginado.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, 32:945-953, 2002.

LIMA, M. R.; CABRAL JÚNIOR, M.; STEFANI, F. L. Palinologia de sedimentos da formao Macacu – Rife da Guanabara, Terciário do estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 68: 531- 543, 1996.

LIMA, H. V.; SILVA, A. P.; JACOMINE, P. T. K.; ROMERO, R. E.; LIBARDI, P. L. L. Identificao e caracterizao de solos coesos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:467-476. 2004.

LIMA NETO, J. A.; RIBEIRO, M. R.; CORREA, J. F.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; LIMA, J. F. W. F.; FERREIRA, R. F. A. L. Caracterizao e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1001-1011, 2009.

MOREAU, A. M. S.; KER, J. C.; COSTA, L. M.; GOMES, F. H. Caracterização de solos de duas toposequências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:1007-1019, 2006.

MONIZ, A.C; BUOL, S. W. Formation of an Oxisol-Ultisol transition in São Paulo, Brazil: I Double-water flow model of soil development. **Soil Science Society American Journal**. 46:1228-1233, 1982.

RIBEIRO, L. P. Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. In: **WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS**, Aracaju, 2001. Anais. Aracaju, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. p.93-121.

RICCOMINI C.; SANTANA, L. G.; FERRARI, A. L.; Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B., ed. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. 1.ed., São Paulo, Beca, 2004. p.383-405.

SANTANA, M. B.; SILVA, L. S.; SOUZA, L. D.; FONTES, L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:1-12, 2006.

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

SILVA, L.; EMER, A.A.; BORTOLINI, C.E.; ARRUDA, J.H. Estudo de um Nitossolo Vermelho com evidencia de caráter coeso da Região Sudoeste do Paraná. **Revista Synergism. Scy.**, 4:301-304, 2009.

SILVA, C.G.; FERRARI, A.L. Neotectonismo no litoral nordeste do Estado do Rio de Janeiro. In: **SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE**, 5., Penedo, 1976. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, 1997. p.80-82.

TERRBRAAK, C.J.F.; SMILAUER, P. CANOCO reference manual and **CanoDraw for Windows** user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York, 2002, 500 p.

CAPÍTULO 4

AGENTES DE COESÃO EM LATOSSOLOS AMARELOS: EXTRAÇÕES QUÍMICAS E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

RESUMO

Com o objetivo de compreender os processos envolvidos na coesão, foi desenvolvida uma metodologia pautada na extração de minerais da fração argila consorciada à análises físico-hídricas em amostras indeformadas de solos. Para isso, foram coletadas amostras indeformadas apenas do horizonte BA de solos coesos (Formação Macacu) e não coesos (Formação São Fidélis) no terço superior de duas encostas localizadas no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ), município de Itaboraí, RJ. Nas amostras, foram percoladas soluções com potencial de extração de elementos químicos presentes nas frações dos solos. As soluções com temperatura de aproximadamente 60 °C foram percoladas através de gotejadores (DCB, Oxalato de amônio (0,2 mol L⁻¹), NaOH (0,2 mol L⁻¹ e 0,06 mol L⁻¹)) e água deionizada, de forma individualizada e não sequencial. As soluções percoladas nas amostras foram recolhidas, medidos seus respectivos volumes e analisadas quanto as suas concentrações em sílica, ferro e alumínio. Posteriormente, as amostras foram saturadas em bandejas com água deionizada e submetidas a uma sequência de análises físicas para verificação de seus atributos físicos (densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, água na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, água disponível e ainda porosidade de aeração). Os resultados foram: (1) apesar de se tratar de extrações brandas, as soluções utilizadas retiraram quantidades significativas de sílica e alumínio, sendo o ferro o elemento menos extraído; (2) os resultados indicaram a presença de algum material mais facilmente extraível no solo coeso, que não está presente no solo não coeso; (3) as amostras tratadas com DCB apresentaram aumento nas variáveis físicas analisadas; (4) a densidade do solo não foi alterada em nenhum dos tratamentos utilizados nos solos coesos e não coesos; (5) existe a possibilidade de que a presença de materiais amorfos de ferro extraídos por DCB estejam associados à fração areia do solo.

Palavras-chave: DCB. Percolação. Solos coesos.

AGENTS OF COHESION IN YELLOW OXISOLS: CHEMICAL EXTRACTIONS AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL

ABSTRACT

Aiming to understand processes involving soil cohesion, a methodology was developed based on mineral extraction from the clay fraction associated to the physic-hydric analysis on undisturbed soil samples. Soil undisturbed samples were collected on the BA horizon of the cohesive (Macacu Parent material) and non-cohesive soils (São Fidelis parent material) on the upper part of two landscapes located at the Petrobras Plant of Rio de Janeiro (COMPERJ), in Itaboraí-RJ. Through soil samples it was percolated chemical solutions capable of extracting chemical elements present in clay fractions. Chemical solutions were dropped at soil samples surface at a temperature around 60° C (DCB, Ammonium oxalate (0,2 mol L⁻¹, NaOH (0,2 mol L⁻¹ e 0,06 mol L⁻¹)) and deionized water in an individual and not sequential manner. Percolated solutions through soil samples were collected, their volumes measured and analyzed for silica, iron and aluminum concentration. After that, soil samples were saturated with deionized water and submitted to a series of physical analyses to determine their physical attributes (soil bulk density, total porosity, macroporosity, water content at field capacity and wilting point, available water and aeration porosity). The results were: (1) even using light extraction solutions, they withdrew significant amounts of silica and aluminum, while iron was less withdrawn; (2) there was the presence of some material which was easily extracted from cohesive soils, and which was not present in non-cohesive soils; (3) soil samples percolated with DCB presented increased values of physical variables determined; (4) soil bulk density was not modify using any of the treatments on cohesive and non-cohesive soils; (5) it is possible that the presence of iron amorphous minerals extracted by DCB were associated to the sand fraction.

Key-words: Cohesive soils. DCB. Percolation.

4.1 INTRODUÇÃO

Os Latossolos e Argissolos Amarelos coesos desenvolvidos a partir de sedimentos do Grupo Barreiras e correlatos, encontram-se distribuídos em muitas áreas no Brasil, sendo sua maior expressividade e continuidade nos platôs litorâneos e amazônicos, onde ocupam aproximadamente 2.000.000 km² (Corrêa, 2005).

Tratam-se de solos cujos teores de argila vão de 15 a 95%, e tratam-se de solos extremamente cauliniticos (Oliveira et al., 1992; Rodrigues 1996; Corrêa et al., 2008; Gomes et al., 2012). Caracterizam-se ainda pela baixa quantidade de Fe (Melo et al., 2002). Essas características refletem-se na estrutura fraca, em blocos subangulares e de pouca estabilidade em água (Bennema e Camargo, 1979), sendo sua principal característica, a coesão de horizontes subsuperficiais (Moreau et al., 2006). Segundo Ferreira et al. (1999) e Giarola et al. (2001) os horizontes coesos além de apresentarem o predomínio de caulinita na fração argila, esse mineral apresenta elevado grau de ordenamento estrutural .

A temática é recorrente na literatura, havendo diversas teorias que manifestam várias proposições explicativas, e não exclusivas, para manifestação da coesão nos solos (Anjos, 1985; Fonseca, 1986; Meirelles e Ribeiro, 1995; Araújo Filho et al., 2001; Giarola et al., 2001; Corrêa, 2005).

Segundo Ribeiro (2001) o adensamento é de origem genética, ou seja, herdada do próprio sedimento que os originou (Barreiras ou similares). Anjos (1985) relacionou também o efeito da compressão dos horizontes subsuperficiais originado pelo peso estático de camadas superiores, acompanhada pela lenta expulsão da água do solo quando este se encontra em estado saturado.

De acordo com Moniz (1980), o rearranjo dos grãos em decorrência dessa compressão causaria a redução do espaço poroso e à deformação e/ou contração das argilas durante o processo de dessecação do material, contribuindo assim, para o aumento das forças de coesão.

Achá-Panoso (1976), estudando Argissolos Amarelos no Espírito Santo, concluiu que a obstrução de microporos por migração de matéria orgânica e argilominerais poderia ser uma explicação para a gênese dos horizontes coesos. Ribeiro (1998), entretanto, atribuiu apenas a translocação da argila a

responsabilidade pela manifestação do caráter coeso. Corrêa (2005) usou diversas técnicas químicas, físicas e mineralógicas para estudar solos dos Tabuleiros Costeiros e concluíram que a gênese dos horizontes coesos não se deve à presença de agentes cimentantes, mas sim, ao maior conteúdo de argilas muito finas, principalmente as menores que 0,2 μm , translocadas entre horizonte ou dentro do mesmo horizonte, como argila dispersa. Esses solos, de um modo geral, apresentam os teores de argila dispersa em água bastante elevados.

Além dessas teorias, outra linha defende que o caráter coeso seria decorrente do empacotamento face a face das caulinitas de maior cristalinidade, favorecido pela predominância destes minerais e pelos baixos teores de óxido de ferro, considerados como agentes desorganizadores do ajuste dos filossilicatos do tamanho das argilas (Ferreira et al., 1999). Posteriormente, Giarola et al. (2009) testaram essa hipótese e concluíram que a caulinita dos horizontes coesos apresentou grau de ordenamento estrutural similar ao do horizonte não coeso .

Por outro lado, alguns autores atribuíram à migração de elementos solúveis nos perfis e a concentração de minerais de baixa cristalinidade como principais agentes formadores dos horizontes subsuperficiais coesos nos Tabuleiros Costeiros. Meirelles e Ribeiro (1995) destacaram a participação da matéria orgânica, mais precisamente dos ácidos fúlvicos, na degradação da fração argila, liberando Al, Fe e, principalmente, Si. Essa reação ocorre em solos ácidos, onde o Al faz a sílica coloidal precipitar nas superfícies das argilas ou de outros materiais, promovendo o endurecimento (Araújo Filho et al., 2001). Esses últimos autores afirmaram que tanto a sílica como outros aluminossilicatos amorfo devem atuar como agentes cimentantes temporários desses horizontes, processo verificado em estudos realizados nos “hardsetting” da Austrália, onde foi constatada a presença de sílica amorfa aderida as faces (001) de cristais de caulinita (Franzmeier et al., 1996). Giarola et al. (2001), em um estudo de caso, demonstraram similaridade entre o caráter coeso de solos do Grupo Barreiras e o comportamento “hardsetting” da Austrália.

Diante do exposto, assume-se que as teorias são bem contrastantes e todos os trabalhos conduzidos até o presente momento em solos coesos obtiveram as relações de causa-efeito por meio de correlações entre atributos físico-hídricos com as características morfológicas, químicas e mineralógicas de horizontes adensados, sem a medição direta e efetiva do agente causador da coesão.

Por esse motivo, o presente estudo objetivou desenvolver um protocolo metodológico de retirada individualizada de grupos de minerais em amostras indeformadas de horizontes coesos e verificar a amenização da coesão através de avaliações dos atributos físicos do solo após as extrações químicas.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

A área do estudo localiza-se no município de Itaboraí (RJ), cujo clima da região é o Tropical, quente e úmido, com 1 a 2 meses secos, com temperatura média acima de 18 graus em todos os meses do ano. No verão, o calor e a umidade são muito expressivos, com elevada precipitação. No inverno há redução significativa da umidade, temperatura e pluviometria, especialmente entre os meses de junho a agosto (Gonçalves, 2012). O mesmo autor enquadrou o clima da região como “Aw” segundo a classificação de Köppen.

O local de coleta das amostras foi dentro da área do Complexo Petroquímico COMPERJ/PETROBRÁS, inserida na região sedimentar da Baía da Guanabara, que juntamente com outras bacias, constituem o Rifte Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini et al., 2004). A estratigrafia da Bacia é formada por sedimentos da Formação Macacu da era Cenozoica, período Eoceno/Oligoceno (Lima et al., 1996), com geoformas convexa-divergentes e por rochas metamórficas da Formação São Fidélis da era Proterozoica.

Foram coletadas amostras indeformadas em anéis de 65 cm³ de volume, no terço superior, apenas no horizonte BA em pequenas trincheiras nas duas áreas (com solos coesos e não coesos), utilizando-se o mesmo procedimento de coleta para as análises de físico-hidríco dos capítulos anteriores.

A metodologia desenvolvida nesse capítulo baseia-se na retirada individual de materiais argilosos da composição do solo. Para isso, foram percoladas soluções utilizadas nas análises de mineralogia, em amostras indeformadas, com intuito de segregar os minerais de argila presentes no solo, baseando-se no pressuposto que cada solução ataca um grupo distinto de mineral.

4.2.1 EXPERIMENTOS

Para a realização do experimento foi construída uma estrutura em madeira (FIGURA 10-a), revestida de alumínio, com ganchos para pendurar frascos plásticos reciclados de soro fisiológico, devidamente higienizados (solução de limpeza de HCl

0,3 mol L⁻¹ e água destilada), no laboratório de mineralogia da Universidade Federal do Paraná.

O objetivo do equipamento foi manter as soluções aquecidas durante toda a percolação. E para isso, foram instaladas no interior do equipamento resistências de 600 W (FIGURA 10-c). Na parte inferior, um suporte para colocar funis de plásticos e, logo abaixo deles, os frascos para receber o líquido percolado das amostras indeformadas. O gotejamento das soluções foi controlado por gotejadoras do tipo equipo, (o mesmo utilizado em hospital para controlar a entrada de soro e medicação em pacientes internados) que ficaram presos em estruturas próximas às amostras para evitar o efeito de salpicamento das gotas ao tocarem a superfície da amostra (FIGURA 10-b).

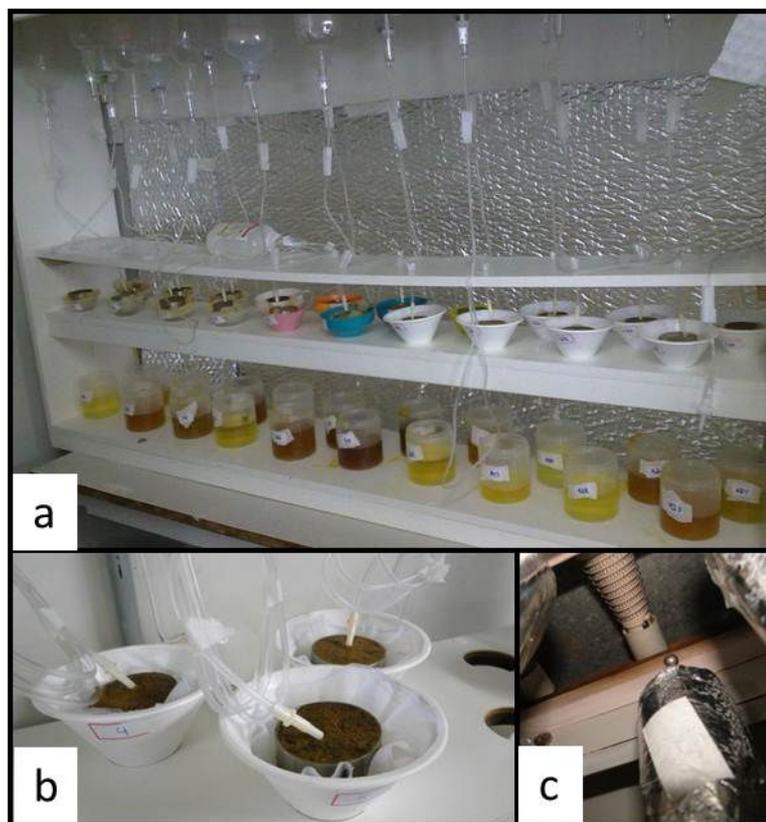


FIGURA 10 – a: ESTRUTURA EM MADEIRA CONSTRUÍDA PARA FAZER A PERCOLAÇÃO; b: DETALHE DO GOTEJAMENTO COM EQUIPO JUNTO AOS ANÉIS; c: RESISTÊNCIA INSTALADA PARA MANTER A TEMPERATURA DAS SOLUÇÕES.

As soluções foram preparadas em quatro balões volumétricos, sendo três com capacidade de 2000 mL e um balão com capacidade de 1000 mL cada, e depois acondicionadas em balde de 6 litros para homogeneização para depois

serem colocados nos recipientes plásticos de soro, com capacidade de 500 mL cada. Os volumes foram medidos um a um através de uma proveta graduada.

O objetivo foi percolar, através de gotejamento, as soluções com a intenção de recolhê-las após a passagem pela amostra de solo, baseando-se no fato de que, no momento da percolação, a solução estaria extraíndo elementos químicos presentes nas amostras.

Primeiramente, foram feitos vários testes experimentais de percolação. Testou-se as soluções nas concentrações padrões e realizou-se a percolação sequencial apenas em amostras de solos coesos, como demonstrado na FIGURA 11.

Esse procedimento consistiu em percolar (utilizando a técnica explicada anteriormente – gotejadores) água em 160 amostras indeformadas de solo, após a primeira percolação, retirou-se 32 amostras e o restante das 128 amostras foram percoladas com solução de oxalato de amônio $0,2 \text{ mol L}^{-1}$. Posteriormente, retirou-se mais 32 amostras, e as 96 amostras seguiram para percolação com solução de NaOH $0,5 \text{ mol. L}^{-1}$. Em seguida, retirou-se mais 32 amostras após essa percolação, sobrando, portanto, 64 amostras que foram percoladas por solução de DCB (ditionito-citrato-bicarbonato de sódio). Após essa percolação, retiraram-se mais 32 amostras permanecendo apenas 32 amostras que foram percoladas por solução de NaOH 5 mol L^{-1} . Ao final do procedimento, as últimas 32 amostras receberam todas as soluções, porém as mesmas, possivelmente pela agressividade das soluções percoladas, houve o rompimento o tecido (voil) e do elástico que segurava a amostra prejudicando as análises físicas.

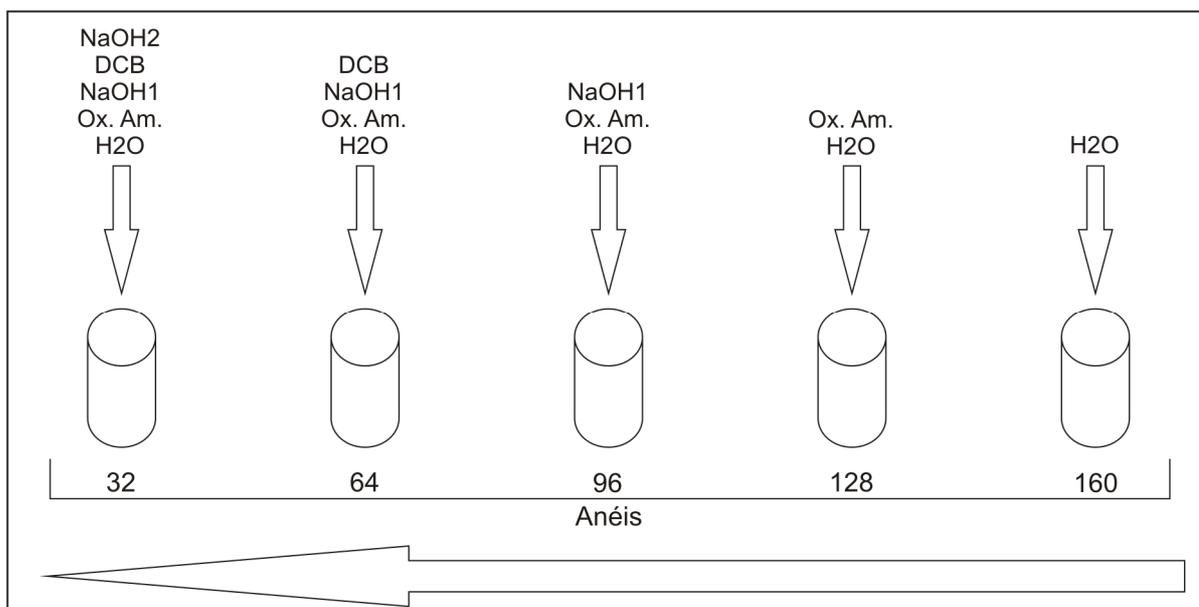


FIGURA 11 - ESQUEMA DO EXPERIMENTO DE PERCOLAÇÃO SEQUÊNIAL DAS SOLUÇÕES NAS AMOSTRAS INDEFORMADAS.

Posteriormente, somente em solos coesos, a percolação foi realizada de forma não sequencial (FIGURA 12). Testaram-se volumes distintos (250, 500, 1000 mL), concentrações que variaram de 0,1; 0,5 e 5 mol L⁻¹ de NaOH e 0,05; 0,2 mol L⁻¹ de oxalato ácido de amônio e água deionizada apenas no horizonte transicional (resultados não apresentados). Com base no resultado final das análises físico-hídricas das amostras após a percolação, efetuou-se um terceiro experimento, com os tratamentos de água deionizada, oxalato de ácido de amônio 0,2 mol L⁻¹, DCB e NaOH 1 mol L⁻¹ somente nos solos coesos (resultados não apresentados).

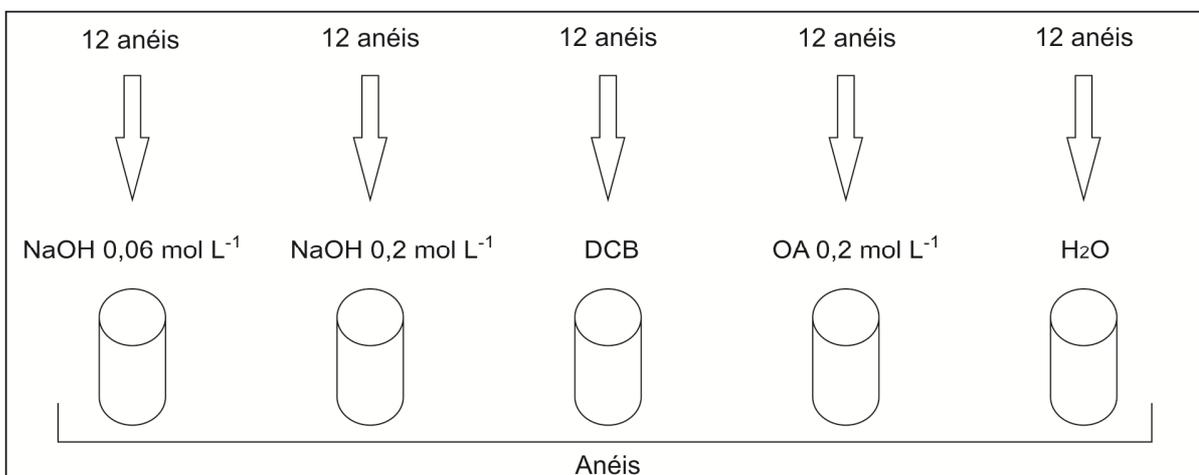


FIGURA 12 - ESQUEMA DA PERCOLAÇÃO DAS SOLUÇÕES NAS AMOSTRAS INDEFORMADAS. 12 ANÉIS SENDO 6 PARA CADA GRUPO DE SOLO (COESO E NÃO COESO).

Finalmente, no quarto experimento, o volume foi determinado em 400 mL, somente no terço superior em amostras de solos coesos e não coesos. As soluções utilizadas foram: NaOH 0,2 mol L⁻¹ e 0,06 mol L⁻¹; Oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹ em pH 3,0; DCB (ditionito-citrato-bicarbonato de sódio – 4 g por amostra do sal ditionito) e água deionizada. A temperatura das soluções foi preservada em torno de 60 °C com a ajuda do equipamento montado com resistências.

Para esse experimento foi coletado 30 amostras no solo coeso e 30 no não coeso. Sendo que foram utilizados 6 amostras de cada tipo de solo para cada solução citada no parágrafo anterior.

A primeira etapa consistiu em que todas as amostras foram devidamente pesadas com voil e elástico e seguiram para a saturação prévia. Posteriormente, as mesmas foram pesadas (obtido o peso saturado) para só então dar início às percolações.

As soluções que passaram nos anéis foram homogeneizadas e seus volumes foram medidos. Uma alíquota de 25 mL de cada amostra foi separada e acidificada com solução de ácido nítrico puro (3% do volume total) e reservada para leitura das concentrações de Ferro (Fe), Alumínio (Al) e Sílica (Si). As leituras dos elementos (Fe, Si e Al) foram realizadas por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente ICP-AES.

A segunda etapa, após a percolação as mesmas foram novamente pesados e colocados para saturar. Em seguida, foram encaminhadas para a realização das análises físico-hídricas no laboratório da Embrapa Florestas. Lá, seguiu-se toda rotina para a determinação da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, porosidade de aeração, bem como água disponível, umidade à capacidade de campo, umidade no ponto de murcha permanente.

Foi considerada a tensão de 10 KPa para a determinação da capacidade de campo; 1500 KPa para o ponto de murcha permanente. A drenagem do excesso de água na altura de 0,60 m da bancada foi utilizada para determinar a macroporosidade nas amostras. A porosidade total foi considerada o peso da massa saturada menos o peso da massa seca a 105^oC. A água disponível foi definida como a diferença de umidade entre a capacidade de campo (-10kPa) e o ponto de murcha permanente (-1500kPa). E finalmente a porosidade de aeração foi determinada considerando a diferença de umidade entre a porosidade total e a umidade na capacidade de campo, definida na pressão de -10kPa.

4.2.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram analisados conjuntamente através da ANOVA seguido do teste *post hoc* de Tukey, assumindo-se o nível de significância de 5% e ainda análises de componentes principais.

A análise de componentes principais foi utilizada com o propósito de associar os tratamentos às mudanças das propriedades físico-hídricas provocadas pelas soluções nas amostras indeformadas. Para tanto, foram construídas duas matrizes iniciais ($n \times p$): uma contendo os dados brutos de todo o experimento (30 anéis coletadas nos solos coesos + 30 anéis coletados nos solos não coesos; $n = 60$ observações; $p = 7$ variáveis físico-hídricas) e outra contendo os dados brutos somente das amostras coletadas nos solos coesos ($n = 30$ observações; $p = 7$ variáveis físico-hídricas). Destas matrizes foram calculadas matrizes de correlação ($p \times p$) as quais foram finalmente submetidas à análise de componentes principais, a fim de extrair os seus respectivos autovalores e autovetores. Os autovalores foram utilizados como medida do percentual de variância extraída pelos autovetores. Valendo-se dos escores dos primeiros autovetores, diagramas foram construídos com a finalidade de verificar a distribuição das observações no plano de ordenação.

As associações entre as p variáveis originais e os eixos de ordenação foram plotados em conjunto neste mesmo diagrama. Desta forma, foi possível identificar a relação entre as p variáveis (características físico-hídricas) e as n observações (anéis contendo as amostras). Para permitir uma interpretação mais clara, os ícones representantes de cada um dos anéis (das observações, portanto) foram identificados em concordância ao tratamento (soluções percoladas) a que cada um deles foi submetido. Todos estes procedimentos foram conduzidos através do programa CANOCO for Windows 4.5 (Ter Braak e Smilauer, 2002)

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As soluções de percolação foram efetivas na extração de formas estruturais de Si, Al e Fe (FIGURA 13), possivelmente, de forma mais branda em relação aos métodos padrões desenvolvidos e aplicados na fração argila de solos (QUADRO 1). A extração desses elementos foi maior nas amostras de solos coesos. Esse resultado sugere que existe algum constituinte facilmente extraível que está presente nessas amostras, possivelmente o causador da coesão. A partir dessa observação, a apresentação e discussão dos dados serão limitadas aos solos coesos, objetivo principal do presente estudo.

Das soluções utilizadas, as de NaOH, em ambas concentrações ($0,06 \text{ mol L}^{-1}$ e $0,2 \text{ mol L}^{-1}$), foram as que extraíram mais Al, Si e Fe. A extração preferencial de Si e Al pelas soluções de NaOH já está bem estabelecido na literatura (Melo, 1998), mas a extração de maiores teores de Fe em relação à extração com DCB não era esperada. Possivelmente, os géis amorfos de Al e os aluminossilicatos amorfos apresentavam alto nível de substituição isomórfica de Al por Fe em suas estruturas. Outro fato que favoreceu essa inversão de comportamento são os reduzidos teores de óxidos de Fe pedogenéticos na fração argila dos sedimentos do Grupo Macacu (teores de Fe_2O_3 DCB variando de 43,4 a 66,9 g kg^{-1} ; capítulo 2).

Entre as duas soluções de NaOH, a solução mais concentrada extraiu menos os elementos analisados. Esse resultado é atribuído à precipitação de materiais, mesmo após diluição e homogeneização, impossibilitando a leitura real da concentração dos elementos pelo ICP-AES. Devido a esse problema analítico, as discussões sobre a extração com NaOH serão feitas apenas considerando a solução mais diluída.

Nas amostras percoladas com DCB foram constatados aumento nos atributos físicos de porosidade total, aeração, macroporosidade e água disponível, porém foi a solução de NaOH $0,06$ que extraiu mais os elementos constituintes dos minerais do solo (FIGURA 13).

Mesmo extraindo menores quantidades de Si, Al e Fe em relação à solução de NaOH $0,06 \text{ mol L}^{-1}$, o tratamento com DCB foi o único que obteve resultados que indicassem melhoria nos atributos físicos nas amostras indeformadas após o ensaio de percolação (FIGURA 13).

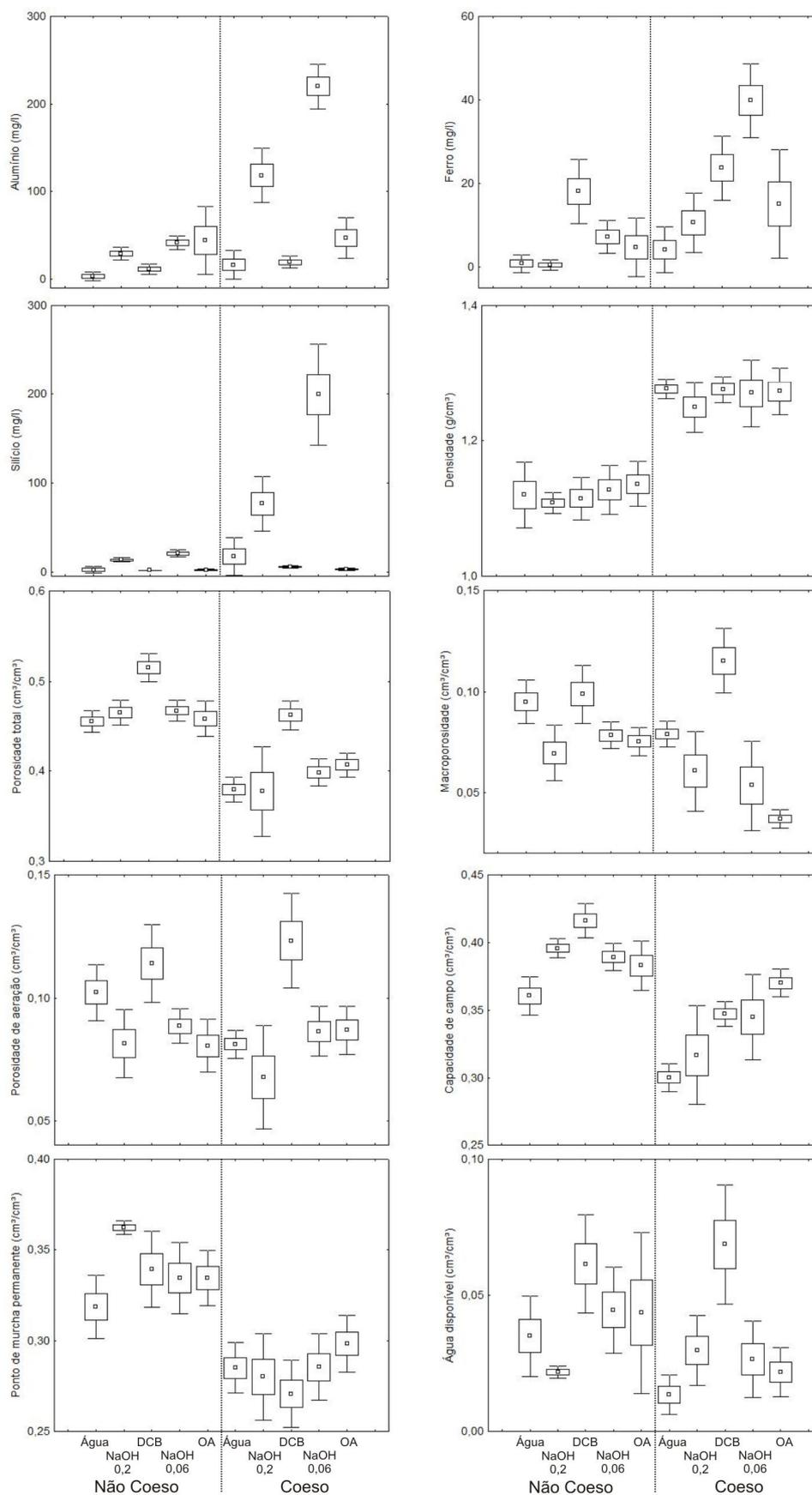


FIGURA 13 - MÉDIAS (□), ERRO PADRÃO DAS MÉDIAS (□) E DESVIOS PADRÃO (┆) COMPARANDO AS VARIÁVEIS FÍSICAS E EXTRAÇÃO DE Si, Fe E Al DOS GRUPOS DE SOLOS NÃO COESO E COESO.

Método tradicional na fração argila: Mineral extraído e principais elementos liberados (Melo, 1998)	Possíveis extrações pelo método envolvido	Método com menor poder de extração usado em amostra indeformada de solo
1) Oxalato de amônio 0,2 mol L ⁻¹ pH 3,0 (McKeque, 1978), agitador por 2 horas – fração argila: extração de óxido de ferro e alumínio amorfo, (Ferridrita).	<ul style="list-style-type: none"> i. formas solúveis e trocáveis de Si, Al e Fe; ii. óxidos de Fe e Al amorfos: iii. liberação de Fe e Al; iv. não solubiliza minerais cristalinos 	1.1) Oxalato de amônio pH 3,0; 400 mL da solução, por gotejamento a 60 °C 1.1.1) Extração de 15,2 mg L ⁻¹ de Fe; 2,9 mg L ⁻¹ de Si e 47,3 mg L ⁻¹ de Al
2) Ditionito-citrato-bicarbonato (Mehra e Jackson, 1960): banho maria 65 °C (fração argila): extração de óxido de ferro cristalino e amorfo.	<ul style="list-style-type: none"> I. formas solúveis e trocáveis de Fe, Al e Si II. remoção de ferro amorfo e cristalino (ferrihidrita, goethita e hematita) 	2.1) DCB: quatro gramas do sal de ditionito por amostra; 400 mL da solução, por gotejamento a 60°C. 2.1.1) Extração de 23,7 mg L ⁻¹ de Fe; 5,1 mg L ⁻¹ de Si e 19,5 mg L ⁻¹ de Al
3) NaOH 0,5 mol L ⁻¹ fervente – banho de areia 220 °C; (Jackson et al., 1986): extração de aluminossilicatos amorfos e gibbsita.	<ul style="list-style-type: none"> I. formas solúveis e trocáveis de Fe, Al e Si II. géis de Al: liberação de Al e Si dos aluminossilicatos III. géis de Si/Al aluminossilicatos IV. aluminossilicatos amorfos: liberação de Si e Al V. gibbsita : liberação de Al VI. caulinita de baixa cristalinidade : liberação de Si e Al 	3.1) NaOH 0,06 mol L ⁻¹ ; 400 mL da solução, por gotejamento a 60°C 3.1.1) Extração de 39,9 mg L ⁻¹ de Fe; 199,4 mg L ⁻¹ de Si e 220 mg L ⁻¹ de Si 3.2) NaOH 0,2 mol L ⁻¹ ; 400 mL da solução, por gotejamento a 60°C 3.2.1) Extração de 10,6 mg L ⁻¹ de Fe; 76,5 mg L ⁻¹ de Si e 118,5 mg L ⁻¹ de Al.
4) NaOH 5 mol L ⁻¹ (Norrish e Taylor, 1961) banho de areia a 250 °C, extração de caulinita e gibbsita.	-	-

QUADRO 1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS MINERALÓGICOS TRADICIONAIS E A METODOLOGIA PROPOSTA

A diferença básica entre esses dois métodos é a extração de óxidos de Fe apenas pelo tratamento com DCB, o que sugere ser essa a fase mineral mais importante pela expressão do caráter coeso nas amostras de horizontes BAx. Como a extração na percolação é muito mais branda que no procedimento clássico na

fração argila (QUADRO 1) esperava-se que o tratamento com DCB extraísse preferencialmente óxidos de Fe amorfos em detrimento aos óxidos cristalinos (hematita e goethita). Ao final do ensaio de percolação, no interior das amostras indeformadas apresentavam cores amareladas e brunadas. Entre os óxidos de Fe cristalinos, os solos estudados apresentaram quase que exclusivamente goethita na fração argila (capítulo 2), que de acordo com os gráficos de equilíbrios propostos por Lindsay (2001), apresenta menor solubilidade que a hematita. Em uma hipótese de escala hierárquica, os géis ou minerais amorfos de Fe (ferrihidrita) e uma parte menos cristalina da goethita impregnam os grãos de quartzo das frações areia e silte (a cor das areias dos solos coesos apresentaram coloração amarelada), cimentam partículas de caulinita ajustadas face a face e a nível morfológico, unem agregados, empacotando a matriz dos solos coesos. A co-existência de grupos de hematita e goethita com características estruturais e cristalográficas diferenciadas em um mesma amostra de argila foi demonstrado no trabalho de Kämpf et al. (2005).

Apesar dos altos valores de desvio padrão para os teores de Fe (FIGURA 13), os teores médios do elemento provenientes da extração com OA foram inferiores em relação à extração com DCB e no primeiro tratamento não houve diferenças significativas nos parâmetros físicos em relação à percolação com água (TABELA 16). Esse comportamento sugere que a extração apenas de fases mais amorfas dos óxidos de Fe extraído com OA (extração preferencial de géis de Fe em relação, por exemplo, à ferrihidrita) não foi suficiente para abrir espaços entre os constituintes do solo e melhorar suas características físicas. Uma vez que o OA extraiu mais óxidos de Al amorfos em relação ao mesmo grupo de minerais de Fe (FIGURA 13), também é possível inferir que os géis de Al não eram importantes, mesmo em maiores quantidades, na coesão dos solos; não houve variações nos atributos físicos em relação à percolação com água. Outros autores também relataram o maior poder de extração de minerais amorfos de Al em relação ao Fe pelo OA (Vitorino et al., 2003; Corrêa et al., 2008).

A solução de NaOH $0,06 \text{ mol L}^{-1}$ responsável pela maior extração dos elementos, solubilizou os géis de Si e Al e parte ou a totalidade dos minerais aluminossilicatos amorfos da fração argila. As amostras de fração argila, analisadas separadamente (capítulo 2), não apresentaram gibbsita em sua constituição, o que descarta a extração desse mineral no ensaio de percolação. Como as condições no ensaio de percolação foram muito mais brandas em relação aos métodos clássicos

de extração na fração argila (QUADRO 1) não se espera a extração de caulinita, mesmo aquelas de menor cristalinidade, com a solução de NaOH 0,06 mol L⁻¹. A remoção de maior quantidade de minerais por essa solução (maiores teores de Si, Al e Fe) não refletiu no aumento das características físicas (FIGURA 13 e TABELA 16). Contudo, não se pode concluir que não houve a minimização ou eliminação da coesão nos solos.

Para se ter uma evidência definitiva da coesão está previsto a análise do penetrógrafo de mesa nos anéis após a percolação para constatar a variação da resistência à penetração no solo em diferentes graus de umidade a partir do ponto de murcha permanente (1500 kPa).

Adicionalmente aos óxidos de Fe extraídos pelo DCB, os solos também poderiam apresentar agentes cimentantes amorfos a base de Si e Al. Nesse caso, se o poder de extração da solução de NaOH 0,06 mol L⁻¹ se limitasse apenas a agentes cimentantes de Si e Al, a exemplo da extração com DCB, deveria resultar em aumento da macroporosidade e melhoria de outros parâmetros físicos. Contudo, a solução de NaOH 0,06 mol L⁻¹ poderia ter interagido de forma mais agressiva com a matriz dos solos, rompendo os agregados, liberando constituintes e entupindo os macroporos, inicialmente abertos pela remoção dos géis de Al e Si. Assim, essa solução poderia ter solubilizado os agentes de cimentação, mas sem reflexos nos atributos físicos determinados no presente estudo. Novamente, para comprovar esse comportamento seria necessário submeter às amostras indeformadas ao final do ensaio de percolação a testes de resistência com penetrógrafo de mesa. As amostras mais suscetíveis a ruptura após os testes de percolação em relação ao tratamento com água definiria a melhor solução de extração para solubilizar os agentes cimentantes nos solos coesos.

TABELA 16 - TEORES DE Fe, Si E Al EXTRAÍDOS DAS AMOSTRAS INDEFORMADAS DECOESOS E NÃO COESOS APÓS A PERCOLAÇÃO DE SOLUÇÕES QUÍMICAS POR GOTEJAMENTO (TUKEY-5%)⁽¹⁾.

Solos	Tratamentos ⁽²⁾	Fe	Si	Al
		mg L ⁻¹		
Não coeso	Água	0,855 e	2,159 c	3,285 d
	NaOH 0,2	0,536 e	13,345 c	29,178 cd
	DCB	18,110 bc	1,441 c	11,729 cd
	NaOH 0,06	7,246 cde	20,392 c	41,597 cd
	Ox. Am.	4,721 cde	2,025 c	44,332 c
Coeso	Água	4,115 de	17,152 c	16,489 cd
	NaOH 0,2	10,618 bcde	76,552 b	118,497 b
	DCB	23,717 b	5,083 c	19,518 cd
	NaOH 0,06	39,899 a	199,441 a	220,034 a
	Ox. Am. 0,2	15,186 bcd	2,913 c	47,268 c

(1) Fe: concentração do elemento Fe na solução; Si: concentração do elemento Si na solução; Al: concentração do elemento Al na solução, todos em (mgL⁻¹)

(2) As comparações são apenas dentro das colunas, comparando os tratamentos.

4.3.1 ATRIBUTOS FÍSICOS APÓS A PERCOLAÇÃO NOS SOLOS COESOS E NÃO COESOS

Em média a densidade dos solos coesos ficou em torno de 1,24 a 1,27 Mg m⁻³ e dos não coesos em 1,10 a 1,13 Mg m⁻³ porém, os valores foram muito próximos ao do tratamento água (TABELA 17). Essa pequena variação dos valores de Ds em relação a água e entre os tratamentos indica que nas percolações com NaOH, OA e DCB não houve solubilização expressiva de componentes do solo, ao ponto de reduzir a massa sólida no interior dos anéis. Esse comportamento é desejável, pois se empregou tratamentos mais brandos para remover apenas os agentes cimentantes, sem interferir de forma expressiva na matriz dos solos.

Além do aumento na macroporosidade, a extração com DCB em relação a água promoveu aumento significativo na porosidade total, porosidade de aeração, água disponível e quantidade de água na capacidade de campo nos solos coesos (TABELA 17). De maneira geral, nos solos não coesos, os tratamentos foram indiferentes na alteração dos atributos físicos.

TABELA 17 - ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO COESOS E NÃO COESOS APÓS A PERCOLAÇÃO DE SOLUÇÕES QUÍMICAS POR GOTEJAMENTO⁽¹⁾.

Solos	Trats ⁽²⁾	Ds g dm ⁻³	cm ³ cm ⁻³					
			PT	PA	Macro	AD	PMP	CC
Não coeso	Água	1,120 a	0,456 b	0,102 ab	0,095 abc	0,035 bc	0,319 bc	0,360 bc
	NaOH 0,2	1,108 a	0,466 b	0,081 bc	0,070 cde	0,022 a	0,362 a	0,396 ab
	DCB	1,115 a	0,515 a	0,114 a	0,099 ab	0,061 ab	0,340 ab	0,416 a
	NaOH 0,06	1,128 a	0,468 b	0,089 bc	0,079 bcde	0,045 abc	0,334 ab	0,389 ab
	Ox. Am.	1,136 a	0,459 b	0,081 bc	0,076 bcde	0,044 abc	0,334 ab	0,383 ab
Coeso	Água	1,276 b	0,380 c	0,081 bc	0,079 bcd	0,014 c	0,285 d	0,300 e
	NaOH 0,2	1,249 b	0,378 c	0,068 c	0,061 def	0,030 c	0,280 d	0,317 de
	DCB	1,276 b	0,463 b	0,123 a	0,115 a	0,069 a	0,271 d	0,347 cd
	NaOH 0,06	1,270 b	0,398 c	0,086 bc	0,053ef	0,027 c	0,285 cd	0,345 cd
	Ox. Am. 0,2	1,272 b	0,407 c	0,087 bc	0,037f	0,022 c	0,300 cd	0,370 bc

⁽¹⁾ Trats: tratamentos; Ox. Am.: Oxalato de Amônio; Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; P. Aera: porosidade de aeração; Macro: macroporosidade; AD: água disponível; PMP: água no ponto de murcha permanente; CC: água na capacidade de campo. Os valores contidos na tabela, referem-se a média de 6 amostras.

⁽²⁾ As comparações são apenas dentro das colunas, comparando os tratamentos.

Com o objetivo de melhor entender e visualizar as relações e segregações dos atributos físicos e das soluções químicas extratoras nos solos coesos e não coesos foi aplicada aos dados a análise de componentes principais.

Primeiramente, foram analisados todos os parâmetros físico-hídricos investigados nos dois grupos de solos (FIGURA 14). O primeiro componente principal explicou 74 % de toda variância, enquanto que o segundo eixo explicou 15 %. O primeiro eixo segregou os grupos de solos coesos dos não coesos, estando o primeiro grupo de solos relacionado com maior densidade e o último, com maior umidade no ponto de murcha permanente e umidade na capacidade de campo. Porém essas duas primeiras variáveis (Ds e PMP) não foram modificadas após os tratamentos, ou seja, foram iguais às amostras percoladas com água.

Em contrapartida, o segundo componente foi responsável pela segregação dos tratamentos utilizados nas amostras indeformadas. É possível verificar que os solos tratados com a solução de DCB foram agrupados nos quadrantes superiores do plano de ordenação, sendo que dentre os pontos representativos, nos solos coesos este agrupamento é mais nítido, estando “as nuvens” de pontos mais próxima do segundo componente principal (eixo y) (FIGURA 14).

As variáveis físicas que apresentaram maior correlação com esse eixo foram água disponível, porosidade de aeração, macroporosidade e menos fortemente a porosidade total e foram esses os parâmetros físicos alterados principalmente pelo tratamento DCB.

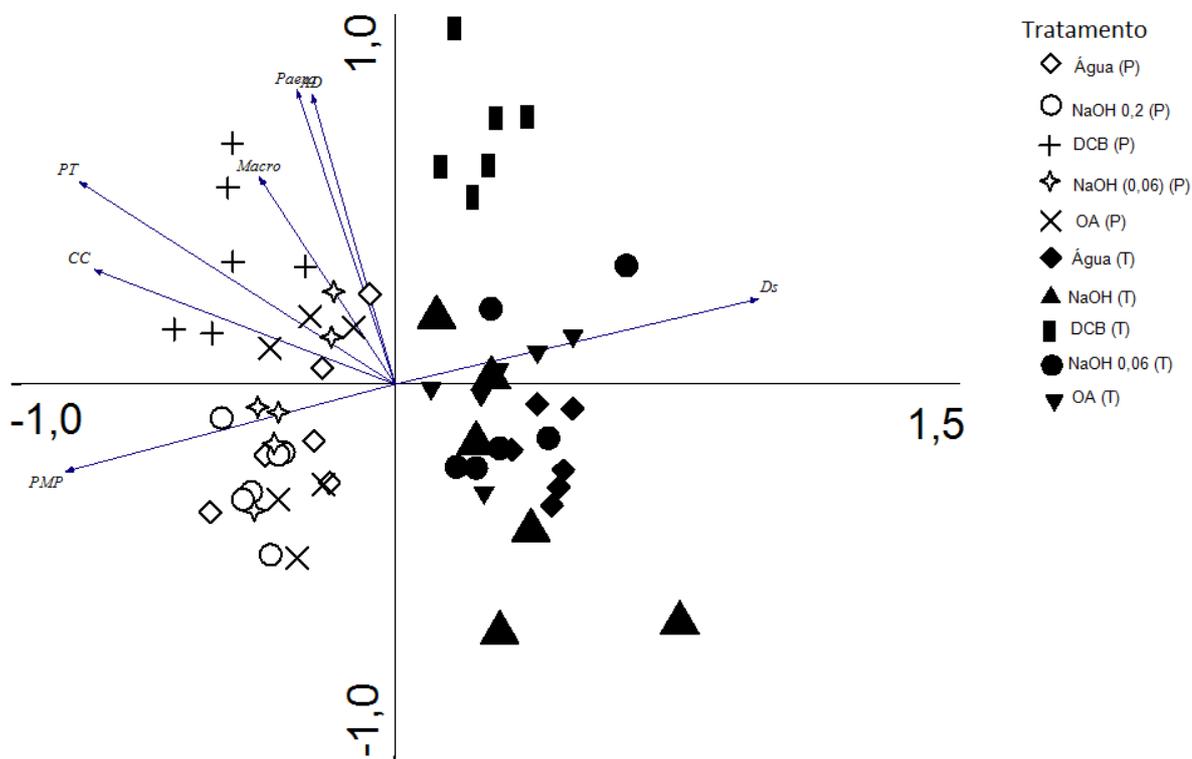


FIGURA 14 - DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS TRATAMENTOS (SOLUÇÕES EXTRATORAS) E DOS PARÂMETROS FÍSICOS DOS SOLOS NÃO COESOS (P) E COESOS (T) FEITA POR MEIO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS. EIXO 1: 74 % DA VARIÂNCIA TOTAL; EIXO 2: 15 % DA VARIÂNCIA TOTAL.

O mesmo procedimento analítico foi aplicado somente ao conjunto de dados oriundo das amostras de solos coesos, buscando compreender melhor a influência dos tratamentos na determinação das mudanças de características físicas das amostras (FIGURA 15). O primeiro eixo da ordenação respondeu por 50% da variância total dos dados, e o segundo, por 25%. Observa-se que os pontos relacionados com as amostras tratadas com a solução DCB novamente agrupam-se em apenas um dos quadrantes do plano de ordenação, estando mais fortemente relacionado com o primeiro do que com o segundo eixo. As variáveis físicas que estão segregando esses pontos no terceiro quadrante são: porosidade total, porosidade de aeração e água disponível e, menos fortemente, a macroporosidade. Confirmando o que foi verificado na FIGURA 14, as variáveis PMP e Ds apresentaram baixa correlação com o eixo que segregaram os tratamentos, estando mais fortemente associados ao segundo eixo da análise (FIGURA 15).

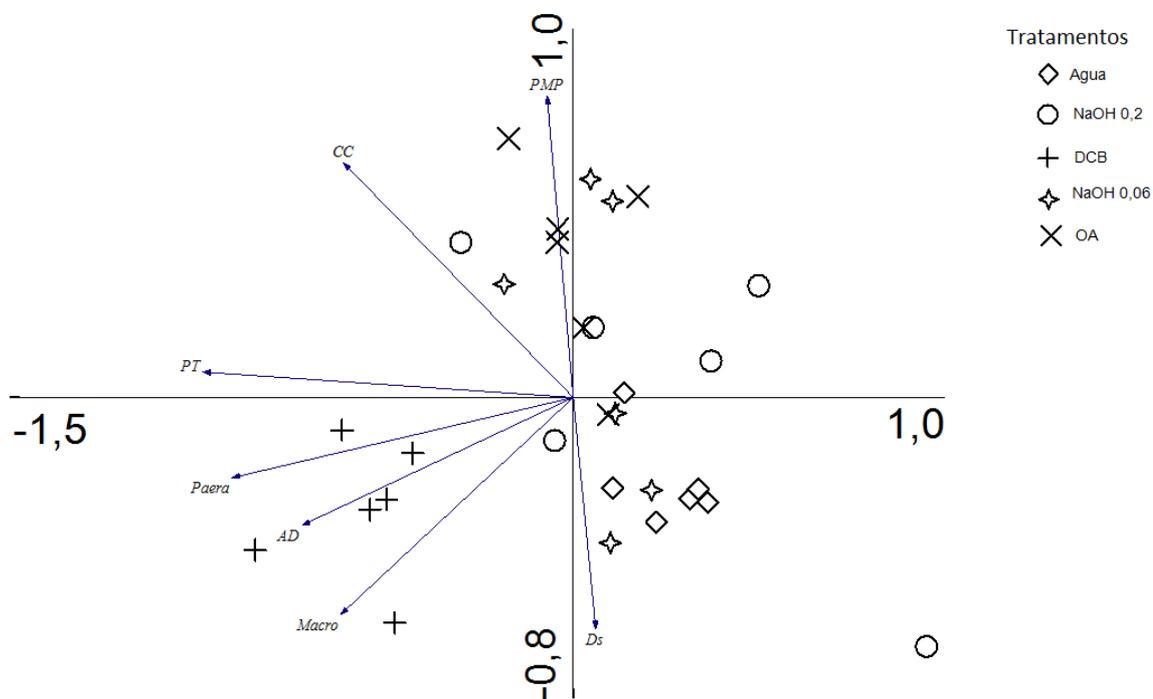


FIGURA 15 - DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS TRATAMENTOS (SOLUÇÕES EXTRATORAS) E DOS PARÂMETROS FÍSICOS DOS SOLOS COESOS FEITA POR MEIO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS. EIXO 1: 50 % DA VARIÂNCIA TOTAL; EIXO 2: 25 % DA VARIÂNCIA TOTAL.

4.4 CONCLUSÕES

Existe algum material mais facilmente extraível no solo coeso que não está presente no solo não coeso, podendo ser este o agente responsável pela coesão nesses solos.

Existe a possibilidade do Fe amorfo estar envolvido na cimentação dos horizontes coesos, porém não se descarta a presença de cimentantes amorfos de Si e Al, considerando que a solução de NaOH não foi específica apenas para esses elementos.

Protocolo metodológico foi satisfatório, pois houve extração dos elementos químicos em todos os tratamentos, principalmente do alumínio e sílica.

REFERÊNCIAS

ACHÁ-PANOSO, L. Latossolo Vermelho-Amarelo de “Tabuleiro” do Espírito Santo: formação, características e classificação. Recife, PE: UFRPE, 1976. 116p. (**Tese de Livre Docência**) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1976.

ANJOS, L. H. C. Caracterização, gênese, classificação e aptidão agrícola de uma sequência de solos do terciário na região de Campos - RJ. Itaguaí, **Dissertação de mestrado**, UFRRJ, 1985. 194p.

ARAÚJO FILHO, J. C.; CARVALHO, A.; SILVA, F. B. R. e. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. In: **WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS**, Aracaju, 2001. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.123-142.

BENNEMA, J.; CAMARGO, M. N. Some remarks on Brazilian latosols in relation to the oxisols of soil taxonomy. In: **Internation soil classification workshop**, 2. Malaysia, 1978. Proceedings. Bangkok, SSD - LDD, 1979. p. 233-235.

CORRÊA, M. M. Óxidos de ferro e tipificação de caulinitas na gênese de solos coesos do ambiente dos tabuleiros costeiros. **Tese de doutorado**, Viçosa UFV, 2005, 194p.

CORREA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F.; CURTI, N. Propriedades cristalográficas de caulinitas de solos do ambiente tabuleiros costeiros, Amazônia e Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1857-1872, 2008.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:507- 514, 1999.

FONSECA, O. O. M. Caracterização e classificação de solos latossólicos e podzólicos desenvolvidos nos sedimentos de Terciário no litoral brasileiro. **Dissertação de mestrado**, Itaguaí, RJ, UFRRJ. 1986.

FRANZMEIER, D. P.; CHARTRES, C. J.; WOOD, J. T. Hardsetting Soils in Southeast Australia: Landscape and Profile Processes. **Soil Science Society of America Journal**, 60:1178-1187, 1996.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; TORMENA, C.; SOUZA, L. S. e RIBEIRO, L. P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 239-247, 2001.

GIAROLA, N. F. B.; DE LIMA, H. V.; ROMERO, R. E.; BRINATTI, A. M. DA SILVA, A. P. Mineralogia e cristalografia da fração argila de horizontes coesos de solos nos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:33-40, 2009.

INDÁ JÚNIOR, A. V.; KÄMPF, N.; Variabilidade de goethita e hematita via dissolução redutiva em solos de região tropical e subtropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:851-866, 2005.

JACKSON, M. L.; LIM, C. H.; ZELAZNY, L. W. Oxies, hydroxides, and aluminosilicates. In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soils analysis. Parte 1: Physical and mineralogical methods*. Madison: **American Society of Agronomy**, 1986. p101-150.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New Jersey: Blackburn, 2001. 449p.

MCKEAGUE, J.A. *Manual on soil sampling and methods of analysis*. Ottawa, Can. **Society Soil Science**, 1978. 212p.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays Clay Mineralogy.**, 7:317-327, 1960.

MEIRELES, M. C. S.; RIBEIRO, L. P. Caracterização da sílica em horizontes coesos de solos de tabuleiros. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 25. Viçosa, 1995. Resumos expandidos. Viçosa, SBCS - UFV, 1995. p. 1688-1689.

MELO, V. F. Potássio e magnésio em minerais de solos e relação entre propriedades da caulinita com formas não trocáveis destes nutrientes. **Tese de doutorado**. Universidade Federal de Viçosa, 1998.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SINGH, B.; NOVAIS, R. F.; FONTES, M. P. F. Propriedades químicas e cristalográficas da caulinita e dos óxidos de ferro em sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:53-64, 2002.

MONIZ, A. C. Formation of an Oxisol-Ultisoil transition in São Paulo, Brazil. **Tese de doutorado**. North Carolina State University. Raleigh, U.S.A, 1980.

NORRISH, K. E TAYLOR, M. The isomorphous replacement of iron by aluminium in soil goethites. **Journal Soil Science**, 12:294-306, 1961.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil - guia auxiliar para seu reconhecimento**. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.

RIBEIRO, L. P. **Os Latossolos Amarelos do recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação**. Salvador, SEPLANTEC/CADCT, 1998. 99p.

RIBEIRO, M. R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros In: CINTRA, F. L. D.; ANJOS, J. L.; IVO, W. M. P. M. eds. **WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS**, Anais... Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.161-168.

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V. H. V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M.P.F. eds. **Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, SBCS/UFV, 1996. p. 16-60.

SOMBROEK, W. G. **Amazon soils**. Wageningen, Center for Agricultural Publications and Documentation, 1966. 292p. (Agricultural Research Reports, 672).

TERRBRAAK, C.J.F.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows** user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York, 2002, 500 p.

VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; DE LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DA MOTTA, P. E. F. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 38:133-141, 2003.

CAPÍTULO 5

DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS EM SOLOS COESOS E NÃO-COESOS - RIO DE JANEIRO

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento de três espécies arbóreas nativas (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. e *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms) em solos coesos, da Formação Macacu, e não coesos, da Formação São Fidélis. A área de estudo está localizada no estado do Rio de Janeiro, município de Itaboraí dentro do Complexo Petroquímico (COMPERJ-PETROBRAS). Foram consideradas como variáveis: (1) o posicionamento na encosta (terços superior, médio e inferior), (2) presença e ausência do caráter coeso (diferentes geologias) e (3) tratamentos com e sem subsolagem nos solos coesos. Para o plantio, foi utilizado espaçamento de 2 m x 1 m e, além da adubação na cova, foi feita a adubação de cobertura com ureia. Além disso, roçadas periódicas tiveram por finalidade a eliminação de plantas invasoras. As mudas foram avaliadas quanto à altura total e ao diâmetro do colo ao final de 12 meses pós plantio, tendo ocorrido a segunda medida durante o 23º mês. Ao final do período avaliado, o posicionamento na encosta não influenciou o desenvolvimento das plantas. O melhor desenvolvimento destas ocorreu nos solos não coesos e, nos coesos, apenas nas linhas subsoladas. *P. dubium* foi a espécie que apresentou maior taxa de sobrevivência, enquanto que o melhor desenvolvimento geral foi obtido por *S. parahyba* e *P. dubium*, sendo que a primeira direcionou mais energia para crescimento em diâmetro, principalmente no segundo ano. Em contrapartida, *G. integrifolia* não apresentou desenvolvimento satisfatório para plantio em área degradada na região. O uso do subsolador promoveu desenvolvimento diferenciado principalmente no primeiro período avaliado.

Palavras-chave: *Gallesia integrifolia*. *Peltophorum dubium*. Plantio. *Schizolobium parahyba*.

DEVELOPMENT OF NATIVE TREE SPECIES IN SOIL COHESIVE AND NON-COHESIVE - RIO DE JANEIRO

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the seedling increment of three tree species (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. and *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms) growing on both soil types cohesive originated from Macacu parent material, and non-cohesive one originated from São Fidelis parent material. The study area was selected at Rio de Janeiro state, at Itaboraí municipality, on Petrobras Plant (COMPERJ). The following variables were studied: (1) soil landscape position (upper, middle and lower), (2) existence or absence of soil cohesive character (different geologies), (3) subsoiling or not in cohesive soils. Tree seedlings were planted spaced 2 x 1 m, fertilized at planting time and received additional N after planting. Mowing was realized periodically to overcome weeds. Seedlings had their height and diameter measured twice at 12 months and 23 months after planting. In general terms, after measurements, it was noticed that landscape position did not influenced plant growth. Greater seedling increments occurred at non-cohesive soils, and on subsoiling rows on cohesive soils. *P. dubium* was the specie with greater survival percentage, while greater seedling growth was measured on *S. parahyba* e *P. dubium*, and the first specie presented greater diameter increments, especially at the second year. *G. integrifolia* was not suitable of growing on degraded land. Subsoiling was very important, mainly on the first period measurements.

Key-words: *Gallesia integrifolia*. planting. *Peltophorum dubium*. *Schizolobium parahyba*

5.1 INTRODUÇÃO

A cobertura original da bacia fluminense no estado do Rio de Janeiro, era composta por elementos típicos da floresta ombrófila densa (Veloso et al., 1991). Contudo, atualmente encontra-se descaracterizada pelo estabelecimento de diferentes ciclos de exploração, que vêm ocorrendo desde os primórdios da colonização do Brasil (Cabral, 2008), até os dias atuais.

O mesmo autor relata que no século XVII as exportações de madeira do RJ foram quase o dobro que o da Bahia. De acordo com Cabral e Fizon (2004) nessa mesma época, era evidente na paisagem a cota de 100 metros que funcionava como nível de base para o processo de desflorestamento, acima disso as florestas permaneciam de certa forma, salvas. Porém, em 1950 parte da baixada fluminense ficava inundada nos períodos de maré alta, favorecendo também a ocupação das porções mais elevadas.

Depois de intenso uso e principalmente pela remoção da vegetação natural, os atributos dos solos foram drasticamente alterados, havendo a necessidade de recuperação e reflorestamento dessas áreas.

Porém, além de se conhecer esta necessidade, é preciso identificar as espécies arbóreas nativas adaptadas e potencialmente aptas a se desenvolverem em condições de forte degradação. Para isso, é também necessário considerar o grupo ecológico das espécies (Agrizzi e Chamon, 1997), pois o padrão de crescimento e a velocidade de ocupação da área é requisito importante para garantir o sucesso na competição com gramíneas que, geralmente, ocupam esses ambientes degradados.

Além disso, é preciso considerar a exigência nutricional das mesmas, pois os solos da baixada fluminense possuem baixíssima fertilidade, além de compactados, sobretudo, reconhecer as distintas tolerâncias ao grau de hidromorfismo do solo. É importante ressaltar, que além dessas limitações, os solos da região apresentam o caráter coeso nos horizontes subsuperficiais, trazendo sérios problemas ao uso e manejo, pois além de causar o estrangulamento de raízes, diminui a disponibilidade de água, nutrientes e ar do solo (De Abrêu e Salviano, 2007; Souza et al., 2008).

De acordo com os mesmos autores, a produtividade de espécies cultiváveis reduz drasticamente. A mencionada restrição física é tão séria que as raízes

chegam a encontrar valores de resistência à penetração acima de 12 MPa em áreas não antropizadas (Giarola et al., 2001). Essas restrições ocasionadas pela natureza dos solos podem significar maior custo de preparo para recuperação dessas áreas.

Na literatura, a despeito da busca realizada, não foram identificados artigos que tratem da distribuição do sistema radicular em espécies arbóreas nativas. Ademais, trabalhos de recuperação que tratam do desenvolvimento de espécies nativas por tipo de solo e posição na paisagem, principalmente em solos com esse tipo de restrição são inexistente na literatura.

O objetivo desta pesquisa foi identificar a interferência da posição na paisagem, da presença do caráter coeso e da forma de preparo do solo para o plantio utilizando-se de três espécies arbóreas nativas como indicadores da coesão.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Itaboraí, no estado do Rio de Janeiro (RJ), inserida na região sedimentar da Bacia de Guanabara, constituída por sedimentos do período do Terciário, Formação Macacu - Grupo Barreiras (Meis e Amador, 1977), sobrepostos a volumes estratigráficos metamórficos de granitos-gnaisses (Curcio et al., 2009).

De acordo com IBGE, o clima da região é o tropical, quente e úmido, com um a dois meses secos, com temperatura média acima de 18 graus em todos os meses do ano. No verão, o calor e a umidade são muito expressivos com elevada precipitação. No inverno há redução significativa da umidade, temperatura e pluviometria, especialmente entre os meses de junho a agosto (Gonçalves, 2012). O mesmo autor classifica o clima da região como pertencente ao clima "Aw" de Köppen.

Os experimentos foram alocados dentro da área do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (PETROBRAS), em duas encostas distintas (FIGURA 16), porém próximas uma da outra em altitudes que variam de 15 a 50 metros.

A área é composta por planícies que são entremeadas por morros de pequena elevação, onde predominam Latossolo e Argissolo Amarelos Distróicos. Estes solos podem ser desenvolvidos a partir de duas geologias: (1) sedimentos da Formação Macacu - Terciário, cujos solos apresentam como característica mais importante o caráter coeso nos horizontes subsuperficiais, atributo do solo restritivo ao desenvolvimento das raízes principalmente nos períodos secos e (2) rochas metamórficas da Formação São Fidélis, sobre as quais se desenvolvem Argissolos Vermelho-Amarelos Distróicos, que não apresentam caráter coeso.

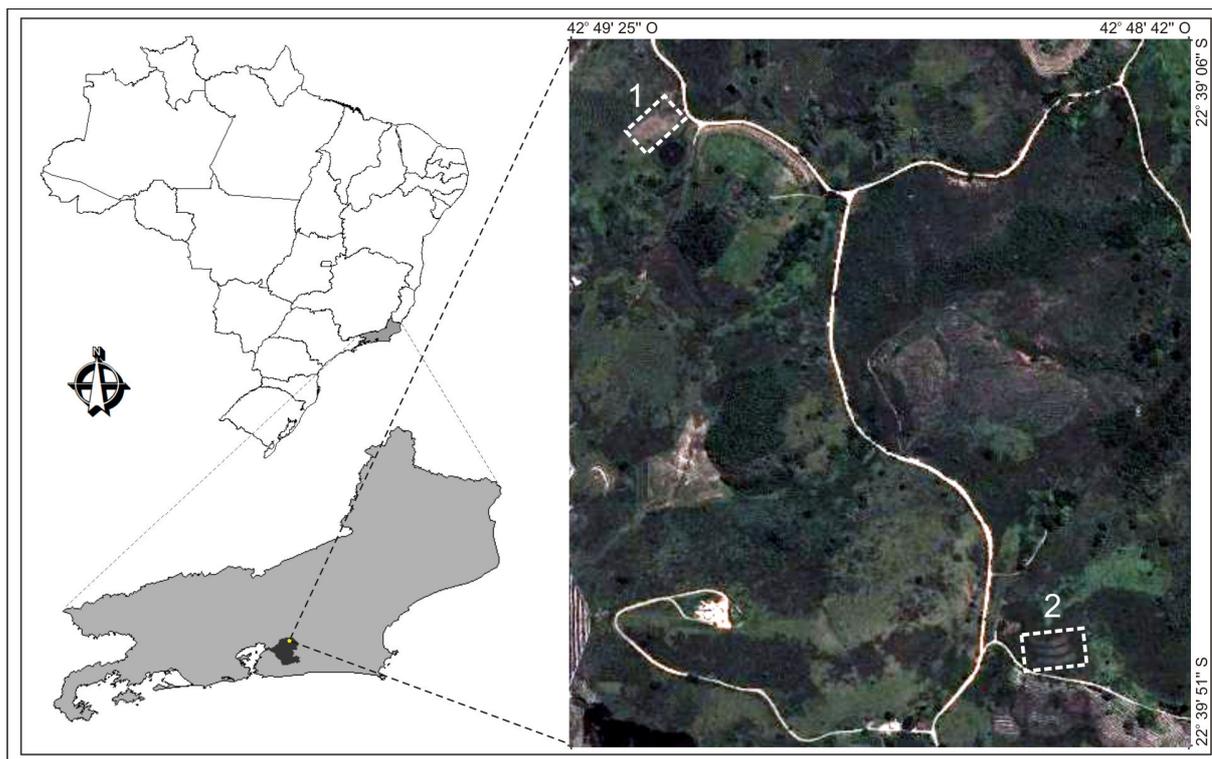


FIGURA 16 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DOS EXPERIMENTOS DENTRO DO COMPLEXO PETROQUÍMICO NO MUNICÍPIO DE ITABORAÍ/RJ.

5.2.2 PLANTIO

Os plantios foram realizados em dezembro de 2010 nas duas áreas citadas, ambas em rampas convexas-divergentes. A primeira abriga, Argissolos Amarelos Distrocoeso típico no terço superior e Latossolos Amarelos Distrocoeso argissólico no terço inferior dominadas por *Paspalum* sp.; *Scleria pterota* Prest. A segunda é composta apenas por Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico típico nos dois terços, em que dominam *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D.Webster (*Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf).

Após a roçada, os locais de plantio foram coroados e coveados (0,25 m de profundidade, e 0,20 m de diâmetro). De acordo com o indicado na FIGURA 17, apenas as linhas R2, R4 e R6 da área 1 foram subsoladas, em profundidade de 0,60 m, no espaçamento de 2 x 1 m.

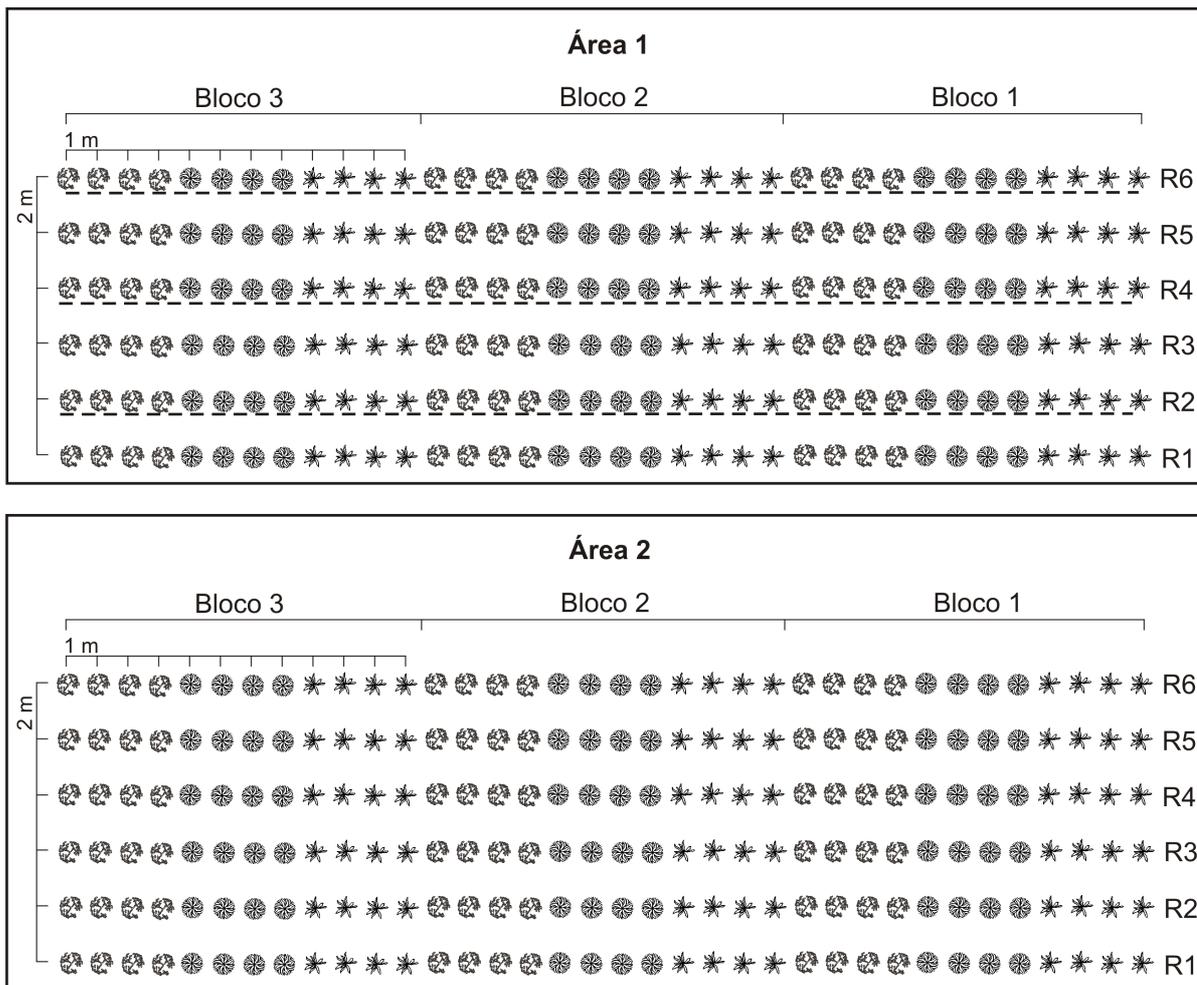


FIGURA 17 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DO PLANTIO EM UM DOS TERÇOS NAS ENCOSTAS COM SOLOS COESOS E NÃO COESOS, INDICANDO LINHAS SUBSOLADAS (TRACEJADAS), ESPAÇAMENTO, LOCALIZAÇÃO DOS BLOCOS E REPETIÇÕES. CADA SÍMBOLO REPRESENTA UMA ESPÉCIE DISTINTA.

Na cova, no momento do plantio, foi feita a adubação de base com fosfato natural (90 g) e 10 g do coquetel de micronutrientes (FTE) composto por boro (1,8%), cobre (0,8%), ferro (3%), manganês (2%), molibdênio (0,1%) e zinco (9%), totalizando 100 g por cova. Durante o primeiro ano, foram feitas 8 roçadas. Dez meses após o plantio, foi feita adubação nitrogenada de cobertura com ureia (60 g/planta).

Foram plantadas três espécies arbóreas nativas, quais sejam, *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. e *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. Como fontes de variação, foram admitidas as diferenças entre os tipos de solo coeso e não coeso, (ou seja, respectivamente, entre os solos presentes na área 1 e 2), os terços (superior, médio e inferior), além das espécies e, no caso da área 1, a subsolagem. Individualmente, por terço de ambas as áreas, foram

plantadas 72 mudas de cada espécie, sendo que, na área 1, metade dessas foram plantadas em linhas submetidas à subsolagem.

O plantio foi realizado em dezembro de 2010, e a primeira avaliação em fevereiro de 2011 (T0). A segunda avaliação foi feita em janeiro de 2012 (T1) e a última em dezembro de 2012 (T2). Foram tomadas as medidas de altura total e diâmetro do colo. Através dessas medidas foram obtidos os valores de incremento em altura e diâmetro no período 1 (T1-T0); período 2 (T2-T1), além do incremento total (T2-T0). Foram excluídos da análise do período 1 aqueles indivíduos que, durante este período, apresentaram crescimento em altura inferior a 10 cm. O mesmo critério de exclusão foi adotado para o período 2 e período total, excluindo-se, portanto, todas os indivíduos que tiveram crescimento inferior a 10 cm durante o período 2 e período total, respectivamente.

Os resultados foram submetidos à ANOVA multifatorial, na qual foram considerados como fontes de variação a presença ou ausência do caráter coeso nos solos, a posição na encosta (terços) e finalmente as três espécies plantadas, neste caso, considerando-se somente os plantios em covas. Adicionalmente, para área 1, (solos coesos) admitiu-se a subsolagem como fonte de variação. ANOVA unifatorial foi aplicada a fim de comparar os mesmos parâmetros isolando-se apenas uma das fontes de variação. O teste de Tukey foi aplicado posteriormente para verificar diferenças significativas aos pares.

5.2.3 ANÁLISES DE SOLO

Os solos das áreas foram analisados quanto a fertilidade os teores de pH CaCl_2 , V%, m%, soma de bases, carbono orgânico. Os teores de areia, silte e argila, além da determinação dos parâmetros físico hídricos de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, porosidade de aeração e condutividade hidráulica (TABELA 18). A metodologia empregada para determinação desses parâmetros está nos capítulos anteriores desta tese.

TABELA 18 – ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E GRANULOMÉTRICOS DOS SOLOS DOS TERÇOS SUPERIOR E INFERIOR NAS ÁREAS DOS PLANTIOS.

Simb	Prof. cm	areia	silte	argila	pH	C	S	T	V	m	Ds	KS	Pt	Ma	Mi	aera
		g kg ⁻¹				g dm ⁻³	cmolc dm ⁻³			%	Mg m ⁻³	cm h ⁻¹	m ³ m ⁻³			
Argissolo Amarelo Distroceso típico – terço superior																
Ap	0-18	691	109	200	3,9	20,2	1,20	8,4	14	45	1,28	37,7	0,54	0,22	0,32	0,23
BAX	18-32	600	174	225	3,6	11,5	0,45	7,6	6	80	1,78	0,8	0,40	0,06	0,34	0,09
Btx1	32-61	559	116	325	3,7	5,1	0,33	7,5	4	86	1,78	0,5	0,39	0,05	0,34	0,07
Btx2	61-75 ⁺	519	30	450	3,7	2,4	0,22	6,0	4	90	1,77	0,6	0,40	0,03	0,37	0,06
Latossolo Amarelo Distroceso Típico – terço inferior																
Ap	0-22	513	211	275	3,5	12,4	0,34	7,5	5	86	1,52	5,66	0,49	0,07	0,42	0,12
BAX	22-36	529	120	350	3,6	12,4	0,31	7,5	4	87	1,58	2,35	0,42	0,01	0,40	0,10
Bwx1	36-74	585	89	325	3,7	2,4	0,31	6,5	5	87	1,57	2,62	0,41	0,01	0,40	0,11
Bwx2	74-102 ⁺	555		350	3,7	3,3	0,31	6,5	5	87	1,52	1,66	0,47	0,02	0,44	0,15
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico – terço superior																
Ap	0-11	453	272	275	3,7	24,3	0,95	7,6	12	86	1,30	0,89	0,51	0,09	0,52	0,10
BA	11-34	338	137	525	3,8	12,4	0,33	6,5	5	85	1,42	0,71	0,47	0,08	0,37	0,10
Bt ₁	34-55	338	121	450	3,8	9,6	0,31	6,5	5	84	1,29	3,75	0,49	0,93	0,37	0,12
Bt ₂	55-98 ⁺	310	139	550	3,8	6,0	0,21	6,0	3	88	1,31	4,93	0,52	0,12	0,42	0,13
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico – terço inferior																
Ap	0-16	484	165	350	3,7	22,2	0,68	7,38	9	67	1,50	0,87	0,50	0,01	0,45	0,06
BA	16-40	304	146	550	3,7	6,0	0,32	6,12	5	85	1,46	1,62	0,48	0,06	0,38	0,07
Bt ₁	40-65	206	118	675	3,9	7,8	0,21	6,01	3	89	1,22	4,65	0,52	0,01	0,41	0,12
Bt ₂	65-113	269	55	675	3,9	9,6	0,21	5,21	4	88	1,34	5,42	0,51	0,08	0,41	0,08

(¹) Simb: simbologia dos horizontes; Ds: densidade do solo; KS: condutividade hidráulica saturada; Pt: porosidade total; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade ; aera: porosidade aeração; Ct: teor de caulinita; Gt: teor de goethita; Am: teor de minerais amorfos

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 SOBREVIVÊNCIA

A FIGURA 18 ilustra a variação das taxas de sobrevivência durante o período total de observação. Nela é possível ver que a espécie que apresentou a maior taxa de sobrevivência foi *P. dubium* (85%), seguida por *S. parahyba* (69%) e *G. integrifolia*, que registrou somente 50% de sobrevivência. O terço superior (74%) e médio (70%) foram aqueles que registraram as maiores taxas de sobrevivência das mudas. É possível que a menor taxa de sobrevivência das mudas no terço inferior (62%) seja devido ao maior desenvolvimento das gramíneas forrageiras presentes nas áreas, que se favoreceram da maior umidade do solo presente nessa posição da paisagem.

Por sua vez, as mudas de um modo geral tiveram maiores taxas de sobrevivência sobre solos não coesos (75%) do que sobre os solos coesos (67%). Este fato é coerente com a maior taxa de sobrevivência verificada, nesta área, nas linhas subsoladas (64%) em relação aos plantios feitos nas linhas coveadas (59%).

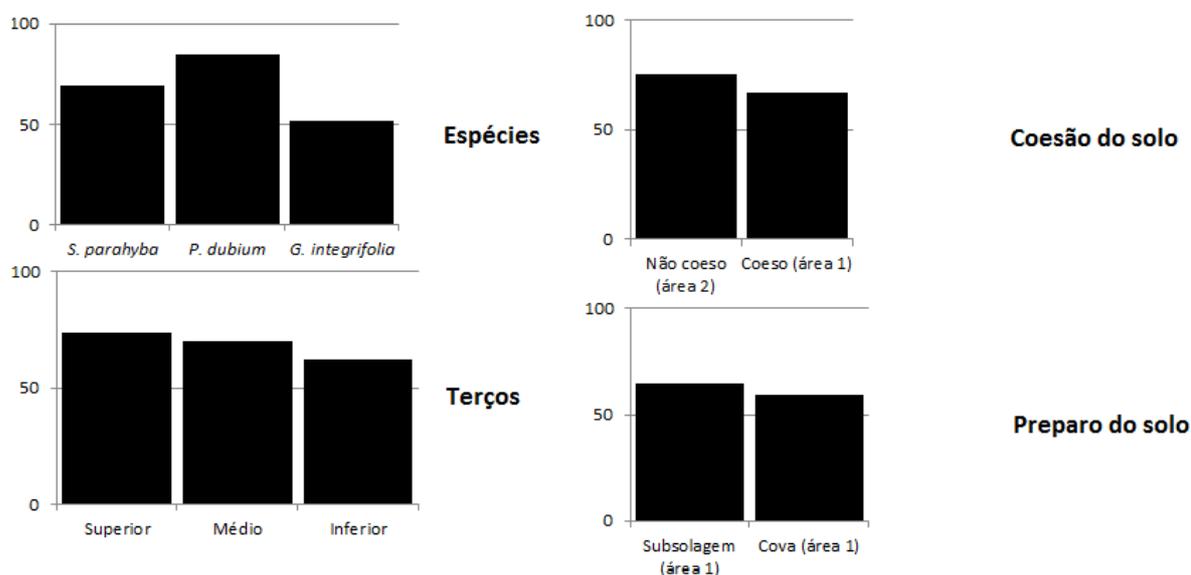


FIGURA 18 - VARIÇÃO DAS TAXAS DE SOBREVIVÊNCIA AO FINAL DO PERÍODO DE OBSERVAÇÕES, CONSIDERANDO AS ESPÉCIES, A POSIÇÃO NA ENCOSTAS (TERÇOS), A COESÃO DOS SOLOS E O PREPARO DO SOLO

5.3.2 INCREMENTO EM ALTURA E DIÂMETRO DAS PLANTAS NO PRIMEIRO ANO

Os dados apresentados na TABELA 19 indicam que, durante o primeiro ano de observações, as espécies, os tratamentos (subsolagem e covas) e a presença de caráter coeso foram importantes na determinação do incremento em altura e diâmetro das mudas. Diante destes resultados, o primeiro período se caracterizou por favorecer as mudas plantadas em solos não coesos, e/ou as que foram plantadas em linhas subsoladas (área 1). Além disso, foi nítido o maior desenvolvimento *S. parahyba* e *P. dubium* (TABELA 20).

TABELA 19 - RESULTADOS PARCIAIS DAS COMPARAÇÕES FEITAS ATRAVÉS DA ANOVA MULTIFATORIAL ⁽¹⁾.

Período		1		2		Total	
Parâmetros		Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro
Área 1 (covas + subsolagem)	Terço	ns	ns	*	*	ns	ns
	Espécie	*	*	*	*	*	*
	Tratamento	*	*	ns	ns	*	*
Área 2 (covas) + Área 1 (covas)	Terço	*	ns	*	*	ns	*
	Espécie	*	*	*	*	*	*
	Solos (coeso/não coeso)	*	*	ns	*	*	*

⁽¹⁾ As linhas representam as fontes de variação e as colunas os períodos e os parâmetros. (ns) = variação não significativa ao nível de 5%; (*) = diferença significativa ao nível de 5%.

Observada as espécies individualizadas, e em cada terço das encostas, tem-se que, no primeiro período de avaliação, a presença do caráter coeso afetou negativamente *Schizolobium parahyba* em todos os terços, assim como teve efeito no desenvolvimento em altura de *Peltophorum dubium* no terço médio (TABELA 20). Todas as demais comparações feitas não apontaram para diferenças significativas, indicando a menor influência do caráter coeso no desenvolvimento de *G. integrifolia* e *P. dubium*.

TABELA 20 - VALORES MÉDIOS DE INCREMENTO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm) NO DECORRER DO PRIMEIRO ANO CONSIDERANDO A COESÃO COMO FONTE DE VARIAÇÃO ⁽¹⁾.

Terço	Espécie	Incremento em altura (cm)		Incremento em diâmetro (mm)	
		Não coeso	coeso	Não coeso	coeso
Superior	<i>S. parahyba</i>	80,33*	40,29	15,00*	5,20
	<i>P. dubium</i>	54,96	46,47	-0,95	0,68
	<i>G. integrifolia</i>	12,54	20,38	5,51	5,80
Médio	<i>S. parahyba</i>	93,65*	41,10	17,04*	6,47
	<i>P. dubium</i>	63,88	43,90*	1,79	2,86
	<i>G. integrifolia</i>	10,14	-1,67	5,03	2,40
Inferior	<i>S. parahyba</i>	96,48*	61,70	19,60*	10,28
	<i>P. dubium</i>	64,47	54,87	0,93	1,29
	<i>G. integrifolia</i>	13,71	12,42	6,24	4,59

⁽¹⁾Diferenças significativas (nível de 5%) entre as espécies em um mesmo terço são indicadas por (*). Dentre as plantadas sobre solos coesos, foram consideradas somente aquelas plantadas em covas.

No compartimento coeso (área 1), as mudas, em média, não tiveram desenvolvimento satisfatório (TABELA 20). Há que se considerar que nesse primeiro período de avaliação as chuvas foram escassas na região (ANEXO) e, por consequência, a coesão dos solos deve ter se manifestado mais fortemente (Coelho et al., 2005), levando ao provável prejuízo no incremento das mudas. Trabalhos mostram que a falta de chuva acentua o processo de coesão, causando graves problemas às plantas. Esses horizontes restringem a infiltração da água e o desenvolvimento das raízes em profundidade, pois dispõem de menor volume de solo e, por consequência, menor disponibilidade de nutrientes (Carvalho 2001; Souza 2004; Cintra 2005; Santana et al., 2006).

De acordo com os dados contidos na TABELA 21, *S. parahyba* foi a espécie de maior crescimento, tanto em altura quanto em diâmetro em todos os terços no solo não coeso, seguida por *P. dubium*, cujas médias de incremento em diâmetro somente foram tão baixas quanto *G. integrifolia* no terço médio da área 2.

Considerando o plantio no compartimento não coeso, tem-se que *S. parahyba* teve maior desenvolvimento (altura e diâmetro) no terço inferior, e menor no superior e médio. O mesmo aconteceu para *G. integrifolia*, exceto para o incremento diamétrico. Quanto a *P. dubium*, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas no crescimento em altura e diâmetro quando comparados os terços da área 2.

TABELA 21 - VALORES MÉDIOS INCREMENTO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm) DURANTE O PRIMEIRO ANO DE TRÊS ESPÉCIES PLANTADAS EM TRÊS TERÇOS DISTINTOS DE ENCOSTA SOBRE SOLOS NÃO COESOS⁽¹⁾.

Terço	Incremento em altura (cm)			Incremento em diâmetro (mm)		
	<i>S. parahyba</i>	<i>P. dubium</i>	<i>G. integrifolia</i>	<i>S. parahyba</i>	<i>P. dubium</i>	<i>G. integrifolia</i>
Superior	80,32 (A,a)	54,96 (A,b)	12,54 (A,c)	15,00 (A,a)	-0,95 (A,b)	5,51 (A,c)
Médio	93,65 (AB,a)	63,88 (A,b)	10,14 (AB,c)	17,04 (AB,a)	1,79 (A,b)	5,04 (A,b)
Inferior	96,48 (B,a)	64,46 (A,b)	13,71 (B,c)	19,6 (B,a)	0,93 (A,b)	6,24 (A,c)

⁽¹⁾ Letras diferentes e maiúsculas denotam diferenças significativas da altura ou diâmetro médio de uma mesma espécie entre diferentes terços (colunas), enquanto letras diferentes e minúsculas denotam diferenças significativas de um dos dois parâmetros, em um mesmo terço, considerando as espécies como fonte de variação.

Talvez o menor desenvolvimento de *G. integrifolia* se deva a sua menor tolerância aos déficits hídricos impostos pela falta de chuva verificado no início do primeiro ano (ANEXO). Além disso, Demuner et al. (2004) testaram diferentes níveis de sombreamento, e verificaram que a condição de pleno sol é limitante para o crescimento desta espécie, sendo que as mesmas apresentaram crescimento negativo, em função do secamento do ápice de algumas plantas. Acrescentaram ainda, que a espécie é intolerante à radiação direta pelo menos no estágio de desenvolvimento inicial, ao contrário das outras duas espécies, que tiveram melhor desenvolvimento, sobretudo por serem menos exigentes nutricionalmente (Carvalho 2003; Carvalho, 2005).

Na literatura *P. dubium* é tida como uma planta rústica e de rápido crescimento, perfeita para plantios em áreas degradadas (Carvalho, 1994). Apesar de apresentar características de espécie secundária, a mesma apresenta comportamento de pioneira (Nicodemo et al., 2009), desenvolvendo-se a pleno sol. Por sua vez, *S. parahyba*, é espécie reconhecida pelo rápido crescimento (Reitz et al., 1978), típica de espécies heliófitas.

Contrariamente, o baixo rendimento de *G. integrifolia* deveu-se à morte do ramo principal de grande parte de suas mudas resultando em incremento negativo ou mesmo morte.

De modo geral, no compartimento coeso, não foram identificadas diferenças significativas no incremento em altura e diâmetro entre os terços para todas as espécies, tanto no tratamento com, quanto no tratamento sem subsolagem, o que está de acordo com os dados expostos na TABELA 19. As exceções podem ser vistas na TABELA 22.

Porém, quando se comparam as três espécies no mesmo terço, observa-se que *S. parahyba* e *P. dubium*, de um modo geral, se equivaleram em seu crescimento em altura e diâmetro, tanto no tratamento com subsolagem, quanto no tratamento sem subsolagem. Por outro lado, *G. integrifolia* foi a espécie que menos cresceu a campo (TABELA 22).

TABELA 22 - INCREMENTO MÉDIO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm), DURANTE O PERÍODO 1, DAS MUDAS DE TRÊS ESPÉCIES PLANTADAS EM COVAS OU EM LINHAS SUBSOLADAS SOBRE SOLO COESO ⁽¹⁾.

Tratamento	Terço	Incremento em altura (cm)			Incremento em diâmetro (mm)		
		<i>S.parahyba</i>	<i>P.dubium</i>	<i>G.integrifolia</i>	<i>S.parahyba</i>	<i>P.dubium</i>	<i>G.integrifolia</i>
Subsolagem	Superior	73,21 (A,a)*	71,94 (A,a)*	14,10 (A,b)	15,76 (A,a)*	8,33 (A,a)*	5,19 (A,a)
	Médio	66,89 (A,a)*	90,94 (B,b)*	24,54 (A,c)	14,29 (A,a)*	12,56(A,a)*	11,2 (B,a)*
	Inferior	81,82 (A,a)*	66,53 (A,a)	17,77 (A,b)	15,84 (A,a)*	7,89 (A,b)	9,35 (AB,ab)*
Cova	Superior	40,29 (A,ab)	46,47 (A,a)	20,38 (A,b)	5,20 (A,a)	0,68 (A,a)	5,8 (A,a)
	Médio	41,11 (A,a)	43,90 (A,a)	-1,67 (A,b)	6,46 (A,a)	2,86 (A,a)	2,39 (A,a)
	Inferior	61,70 (B,a)	54,87 (A,a)	12,42 (A,b)	10,28 (B,a)	1,29 (A,b)	4,6 (A,ab)

⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferentes denotam diferenças entre as médias de altura ou diâmetro, de uma mesma espécie, entre os terços em um mesmo tratamento, letras minúsculas diferentes denotam diferença de um dos parâmetros entre as espécies plantadas em um mesmo terço (asterisco denota diferença significativa entre tratamentos de uma espécie em um mesmo terço).

Quando comparadas as linhas subsoladas com as não subsoladas no mesmo terço (resultado em *), os resultados de incremento em altura e diâmetro tendem a ser maiores nas linhas subsoladas. Exceto pelo desenvolvimento em altura e diâmetro de *G. integrifolia* e de *P. dubium* no terço inferior, a subsolagem interferiu positivamente no incremento das espécies, reafirmando os dados da TABELA 19.

Esse resultado indica que o manejo do subsolador neste primeiro ano foi importante para o crescimento das espécies. Vários autores recomendam o uso do subsolador para a maioria das culturas perenes plantadas sobre solos coesos (Carvalho et al., 2001; Cintra 2005).

Infelizmente não existem trabalhos relacionados com desenvolvimento de espécies nativas em solos coesos, principalmente avaliando diâmetro e altura. No entanto, nas publicações com espécies semi-perenes arbóreas cultivadas (*Citrus* spp. mamão, café), com idades entre 10 a 15 anos, os resultados apontam que as raízes, de um modo geral, chegam a 2 metros de profundidade. Porém, a grande maioria destas concentra-se entre 0,4 a 0,6 m, e parte significativa delas sofre expansão lateral, já que não conseguem ultrapassar o horizonte coeso (Cintra et al., 1999; Souza et al., 2007; 2008). Esses resultados apontam para a necessidade de

expansão do sistema radicular das espécies, com manejo do solo para romper camadas adensadas.

5.3.3 INCREMENTO EM ALTURA E DIÂMETRO DAS PLANTAS NO SEGUNDO ANO

No segundo ano de avaliação, as espécies apresentaram desenvolvimento diferente daquele verificado no primeiro ano. Embora as espécies continuem se diferenciando, a subsolagem e a presença de coesão nos solos (ao menos para o desenvolvimento em altura) não apresentaram diferença significativa (TABELA 19). Contudo, os dados desta mesma tabela indicam haver maior incremento em altura e diâmetro nos terços inferior e médio. Esse resultado reflete o efeito temporal da subsolagem nas áreas

De acordo com o exposto, considerando a presença e ausência do caráter coeso, somente foram significativamente maiores os incrementos em altura, no terço superior, e o desenvolvimento em diâmetro, nos terços superior e inferior, de *G. integrifolia* sobre solos não coesos (TABELA 23). Resultado semelhante, somente foi verificado no maior crescimento médio diamétrico de *P. dubium* no terço superior, sobre solos não coesos. Para todas as demais comparações feitas, os testes aplicados não revelaram nenhuma diferença significativa, revelando a pequena importância deste fator na determinação do desenvolvimento das mudas plantadas em covas, durante o segundo ano.

TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DE INCREMENTO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm) NO SEGUNDO ANO CONSIDERANDO A COESÃO COMO FONTE DE VARIAÇÃO ⁽¹⁾.

Terço	Espécie	Incremento em altura (cm)		Incremento em diâmetro (mm)	
		Não coeso	coeso	Não coeso	coeso
Superior	<i>S. parahyba</i>	28,35	17,52	13,98	9,31
	<i>P. dubium</i>	38,66	35,59	11,45*	6,07
	<i>G. integrifolia</i>	21,24*	9,50	4,54*	1,28
Médio	<i>S. parahyba</i>	34,90	41,46	16,00	15,19
	<i>P. dubium</i>	68,47	63,56	17,85	11,41
	<i>G. integrifolia</i>	23,33	22,29	5,99	4,79
Inferior	<i>S. parahyba</i>	36,42	25,65	18,87	12,56
	<i>P. dubium</i>	40,70	48,86	13,47*	8,67
	<i>G. integrifolia</i>	35,41	42,00	7,43	8,07

⁽¹⁾Diferenças significativas (nível de 5%) entre as espécies em um mesmo terço são indicadas por (*). Dentre plantadas em solos coesos, foram consideradas somente aquelas plantadas em covas.

Ao se comparar os resultados de incremento em altura e diâmetro entre os terços, nos solos não coesos, ficou claro que *S. parahyba* mostrou-se absolutamente indiferente ao plantio em diferentes posições na paisagem (TABELA 24). Contudo, *P. dubium* e *G. integrifolia* obtiveram incrementos significativos no terço médio e inferior, respectivamente, o que explica o indicado pela TABELA 19 (maior incremento médio das mudas nos terços médio e inferior).

Comparadas as três espécies em um mesmo terço, fica claro o maior incremento em altura de *P. dubium*, à exceção do terço inferior. Entretanto, o crescimento em diâmetro de *S. parahyba* foi relativamente maior do que o seu desenvolvimento em altura, fazendo com que se igualasse à média de *P. dubium* (até mesmo superando esta espécie no terço inferior), superando os valores encontrados para *G. integrifolia*.

TABELA 24 - VALORES MÉDIOS INCREMENTO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm) DURANTE O PERÍODO 2 DAS MUDAS DE TRÊS ESPÉCIES PLANTADAS EM TRÊS TERÇOS DISTINTOS DE ENCOSTA SOBRE NÃO COESOS ⁽¹⁾.

Terço	Incremento em altura (cm)			Incremento em diâmetro (mm)		
	<i>S. parahyba</i>	<i>P. dubium</i>	<i>G. integrifolia</i>	<i>S. parahyba</i>	<i>P. dubium</i>	<i>G. integrifolia</i>
Superior	28,35 (Aa)	38,66 (Ab)	21,24 (Aa)	13,98 (Aa)	11,45 (Aa)	4,54 (Ab)
Médio	34,90 (Aa)	68,47 (Bb)	23,33 (Aa)	16,00 (Aa)	17,85 (Ba)	5,99 (Ab)
Inferior	36,42 (Aa)	40,70 (Aa)	35,41 (Ba)	18,87 (Aa)	13,47 (Ab)	7,43 (Bc)

⁽¹⁾ Letras diferentes e maiúsculas denotam diferenças significativas da altura ou diâmetro médio de uma mesma espécie entre diferentes terços (colunas), enquanto letras diferentes e minúsculas denotam diferenças significativas de um dos dois parâmetros, em um mesmo terço, considerando as espécies como fonte de variação.

No compartimento coeso, novamente *S. parahyba* não revelou nenhuma tendência de incremento relacionada com a posição na paisagem, ao mesmo tempo em que *P. dubium* e *G. integrifolia* apresentaram ao maior desenvolvimento nos terços inferior e médio (TABELA 25). Já a subsolagem, pouco influenciou no desenvolvimento das mudas neste período (TABELAS 19 e 25).

Seguramente, a subsolagem foi importante no primeiro ano, principalmente considerando que se tratou de um ano bastante seco, levando à maior expressão do caráter coeso. Contudo, neste segundo período, talvez pela recorrência das chuvas durante o ano, o caráter coeso e o tratamento de subsolagem teve pouca influência sobre o incremento das mudas.

TABELA 25 - COMPARAÇÕES ENTRE O INCREMENTO MÉDIO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm), DURANTE O SEGUNDO ANO, DAS MUDAS DE TRÊS ESPÉCIES PLANTADAS EM COVAS OU EM LINHAS SUBSOLADAS SOBRE SOLO COESOS⁽¹⁾.

Tratamento	Terço	Incremento em altura (cm)			Incremento em diâmetro (mm)		
		<i>S. parahyba</i>	<i>P. dubium</i>	<i>G. integrifolia</i>	<i>S. parahyba</i>	<i>P. dubium</i>	<i>G. integrifolia</i>
Subsolagem	Superior	17,52 (A,a)	35,59 (A,b)	9,50 (Aa)*	9,31 (Aa)	6,07 (Aa)	1,28 (Ab)
	Médio	41,46 (A,a)	63,56 (B,b)*	22,29 (Aa)	15,19 (Aa)	11,41 (Ab)	4,79 (Ab)
	Inferior	25,65 (A,a)	48,86 (Aa)	42,00 (Ba)	12,56 (Aa)	8,67 (Aa)	8,07 (Ba)
Cova	Superior	18,42 (A,a)	24,58 (Aa)	0,50 (Ab)	7,57 (Aa)	8,34 (Aa)	0,81 (Ab)
	Médio	30,44 (A,a)	36,85 (Aa)	33,80 (Ba)	13,07 (Aa)	7,82 (Aa)	6,89 (Ba)
	Inferior	23,18 (A,a)	66,86 (Bb)	31,68 (Ba)	12,30 (Aa)	12,78 (Aa)	7,47 (Ba)

⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferentes denotam diferenças entre as médias de altura ou diâmetro, de uma mesma espécie, entre os terços em um mesmo tratamento. Letras minúsculas diferentes denotam diferença de um dos parâmetros entre as espécies plantadas em um mesmo terço. Asterisco denota diferença significativa entre tratamentos de uma espécie em um mesmo terço.

Diante destes resultados, verificaram-se tendências opostas àquelas relatadas para o primeiro período, demonstrando claramente que *P. dubium* superou *S. parahyba* em seu incremento em altura.

S. parahyba, caracteristicamente, teve maior incremento relativo em diâmetro, do que em altura neste segundo período. É possível que isso se deva a ampliação de superfície foliar, resultando na necessidade de aumento de vasos xilemáticos, o que levaria ao crescimento do diâmetro (Grace, 1986; Gartner e Meinzer, 2005).

5.3.4 INCREMENTO TOTAL

Consideradas as diferenças de incremento entre T0 e T2, de um modo geral, as mudas tiveram maior crescimento médio no compartimento não coeso, sendo que na área 1 (solos coesos), a subsolagem afetou positivamente o crescimento das mudas, porém não de forma significativa ao ponto de indicar esse manejo em solos coesos para plantio de espécies nativas. Claramente, *P. dubium* e *S. parahyba* tiveram maiores incrementos em altura (embora o incremento em diâmetro tenha sido maior nesta última), porém a posição na encosta não foi fator importante na determinação do incremento.

Os maiores incrementos em altura e diâmetro no compartimento não coeso certamente estão associados ao crescimento de *S. parahyba* (TABELA 26), que teve seu melhor desempenho neste solo. Dentre as duas outras espécies as diferenças significativas podem ser observadas na TABELA 26.

TABELA 26 - VALORES MÉDIOS DE INCREMENTO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm) DEPOIS DE DOIS ANOS DE ACOMPANHAMENTO DAS ESPÉCIES PLANTADAS, CONSIDERANDO A COESÃO COMO FONTE DE VARIAÇÃO ⁽¹⁾.

Terço	Espécie	Incremento em altura (cm)		Incremento em diâmetro (mm)	
		Não coeso	coeso	Não coeso	coeso
Superior	<i>S. parahyba</i>	73,52*	51,06	24,87*	17,59
	<i>P. dubium</i>	72,90	77,85	6,64	7,12
	<i>G. integrifolia</i>	28,13	37,89	9,62*	1,47
Médio	<i>S. parahyba</i>	89,50*	59,11	29,21*	20,14
	<i>P. dubium</i>	102,19*	72,20	11,28	8,94
	<i>G. integrifolia</i>	15,56	11,38	9,67	9,43
Inferior	<i>S. parahyba</i>	90,63*	56,87	32,04*	20,34
	<i>P. dubium</i>	84,80	90,17	9,46	7,09
	<i>G. integrifolia</i>	36,16*	20,00	12,10*	8,54

⁽¹⁾ Diferenças significativas (nível de 5%) entre as espécies em um mesmo terço são indicadas por (*). Dentre plantadas sobre embasamento terciário, foram consideradas somente aquelas plantadas em covas.

Consideradas isoladamente, as três espécies apresentaram diferenças significativas nas médias de crescimento em altura e diâmetro, quando considerados os terços da encosta sobre solos não coesos como fonte de variação (TABELA 27). Parece haver uma tendência de maior incremento em altura e diâmetro nos terços inferior e médio, mas estes padrões não são confirmados pela análise geral dos dados apresentados na TABELA 19.

Comparadas às espécies em um mesmo terço, os resultados apontam somente para menor incremento em altura de *G. integrifolia* nos terços médio e inferior. Entretanto, *S. parahyba* teve maior incremento em diâmetro em todos os terços quando comparados as duas outras espécies.

TABELA 27 - VALORES MÉDIOS INCREMENTO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (mm) DEPOIS DE DOIS ANOS DE ACOMPANHAMENTO DAS ESPÉCIES PLANTADAS EM TRÊS TERÇOS DA ENCOSTA SOBRE SOLO NÃO COESO⁽¹⁾.

Terço	Incremento em altura (cm)			Incremento em diâmetro (mm)		
	<i>S. parahyba</i>	<i>P. dubium</i>	<i>G. integrifolia</i>	<i>S. parahyba</i>	<i>P. dubium</i>	<i>G. integrifolia</i>
Superior	73,52 (A,a)	72,90 (A,a)	28,13 (AB,a)	24,87 (A,a)	6,64 (A,b)	9,63 (A,b)
Médio	89,50 (A,a)	102,19 (B,a)	15,56 (B,b)	29,21 (A,a)	11,28 (A,b)	9,67 (A,b)
Inferior	90,63 (B,a)	84,8 (AB,a)	36,16 (A,b)	32,04 (B,a)	9,46 (A,b)	12,10 (B,b)

⁽¹⁾ Letras diferentes e maiúsculas denotam diferenças significativas da altura ou diâmetro médio de uma mesma espécie entre diferentes terços (colunas), enquanto letras diferentes e minúsculas denotam diferenças significativas de um dos dois parâmetros, em um mesmo terço, considerando as espécies como fonte de variação.

As diferenças em incremento total de altura entre os terços não foram significativas para nenhuma espécie no compartimento de solos coesos, tanto no tratamento com subsolagem, quanto no sem subsolagem (TABELA 28), concordando assim com os dados da TABELA 19.

As diferenças no incremento entre as espécies, no entanto, seguem padrões mais complexos, apesar disso parece haver uma tendência de que *P. dubium*, ao final do período observado, tenha maior desenvolvimento em altura principalmente no tratamento com subsolagem. Contudo, é evidente o maior incremento diamétrico de *S. parahyba*.

TABELA 28 - INCREMENTO MÉDIO EM ALTURA (cm) E DIÂMETRO (cm), DEPOIS DE DOIS ANOS DE ACOMPANHAMENTO DAS ESPÉCIES PLANTADAS EM COVAS E EM LINHAS SUBSOLADAS SOBRE SOLO COESO⁽¹⁾.

Tratamento	Terço	Incremento em altura (cm)			Incremento em diâmetro (cm)		
		<i>S. parahyba</i>	<i>P. dubium</i>	<i>G. integrifolia</i>	<i>S. parahyba</i>	<i>P. dubium</i>	<i>G. integrifolia</i>
Subsolagem	Superior	73,44 (A,a)	90,47 (A,a)	8,50 (A,b)	22,74 (A,a)	13,38 (A,b)	1,26 (A,b)
	Médio	61,71 (A,a)	119,14 (A,b)	38,06 (A,a)	19,99 (A,a)	17,49 (A,a)	14,57 (B,a)
	Inferior	72,54 (A,a)	107,52 (A,b)	30,13 (A,c)	25,15 (A,a)	13,25 (A,b)	13,31 (B,b)
Cova	Superior	51,06 (A,a)	77,85 (A,b)	37,89 (A,a)	17,59 (A,a)	7,12 (A,b)*	1,47 (A,b)
	Médio	59,11 (A,a)	72,2 (A,a)*	11,39 (A,b)*	20,14 (A,a)	8,94 (A,b)*	9,43 (B,b)*
	Inferior	56,87 (A,a)	90,17 (A,b)	20,00 (A,c)	20,34 (A,a)	7,10 (A,b)	8,54 (B,b)*

(1) Letras maiúsculas diferentes denotam diferenças entre as médias de altura ou diâmetro, de uma mesma espécie, entre os terços em um mesmo tratamento. Letras minúsculas diferentes denotam diferença de um dos parâmetros entre as espécies plantadas em um mesmo terço. Asterisco denota diferença significativa entre tratamentos de uma espécie em um mesmo terço.

Recorrentemente, é observado o menor desempenho de *G. integrifolia*, o que deve ter sido motivado pelos menores desenvolvimentos e mortalidades ocorridas principalmente durante o primeiro período. De fato, Nicodemo et al., (2009) atestaram o baixo potencial da espécie em questão.

Em contrapartida, Melotto et al., (2009) indicaram *P. dubium* como a espécie que obteve o melhor desempenho em plantios sob pastagem, em solos de textura média, em áreas de cerrado e Floresta Estacional. Esta espécie apresentou melhor desempenho em altura, principalmente durante o segundo período, o que praticamente a equiparou com *S. parahyba*. Trata-se de uma espécie bastante plantada no Rio Janeiro, estando incluída nas listas de plantios de reflorestamento em áreas degradadas (Portella et al., 2001).

Por sua vez, *S. parahyba* teve elevada velocidade de crescimento em altura no primeiro período e reduzida no intervalo entre T1 e T2. Contudo, ao final de dois anos *S. parahyba* alocou mais energia no crescimento diamétrico, enquanto as demais investiram mais fortemente em altura.

Além disso, ficou evidente a influência do caráter coeso no desenvolvimento das mudas ao final de dois anos, embora esta não tenha sido importante no segundo ano, contrariando as expectativas iniciais.

5.3.5 ATRIBUTOS DOS SOLOS NO DESENVOLVIMENTO DAS ESPÉCIES

No primeiro ano devido as adubações de plantio as espécies se desenvolveram sem influência de características intrínsecas de cada solo. Porém, vale ressaltar que o maior teor de argila presente nos solos não coesos (TABELA 18) pode ter influenciado positivamente na adsorção de íons. Apesar da qualidade da argila (teor de minerais e cristalinidade) ser a mesma em ambos os grupos de solos, o fator quantidade pode ter favorecido o desenvolvimento inicial delas.

Outra característica importante é a capacidade de absorção de água no solo mais argiloso (não-coeso) quando comparado com o de textura média (coeso), principalmente se considerarmos que nesse primeiro ano, a escassez de água foi marcante, principalmente nos meses de dezembro de 2010 (logo após o plantio), e posteriormente nos meses de março e abril do ano seguinte.

No capítulo 2 desta tese tem-se que, apesar de visualmente não se perceber diferenças entre a capacidade de troca catiônica, estatisticamente (tuckey 5%) o solo coeso tem a CTC maior que o solo não coeso. As demais variáveis químicas como o teor de carbono, pH, soma de bases, saturação por alumínio e por bases são similares entre os grupos de solos estudados.

Dos atributos físicos pode-se afirmar que no primeiro ano que foi caracterizado pela escassez de água, os valores de densidade, microporosidade podem ter influenciado o crescimento das espécies, ao passo que os valores de porosidade total, macroporosidade, porosidade de aeração não se distinguiram.

A densidade é muito maior no solo coeso, principalmente no horizonte transicional BA. Esse fator é incrementado com a menor umidade presente no solo devido principalmente a falta de chuva. No primeiro ano, a seca já comentada interferiu no desenvolvimento das espécies, no ano seguinte mesmo sem a forte escassez do ano anterior, as raízes já estão mais profundas, mas, ainda encontrarão limitação pelas altas densidades encontradas nos horizontes Btx e Btw (1,7; 1,5 Mg m⁻³), podendo ocorrer o estrangulamento das mesmas, afetando assim o desenvolvimento pleno delas.

Em contrapartida, o inverso acontece nos Argissolos Vermelho-Amarelo, onde a densidade é maior apenas no horizonte A (compactação quebrada pela cova), em profundidade as raízes não encontram impedimento. Porém, no segundo ano, quando as raízes já começarem a expandir em profundidade, as espécies plantadas neste compartimento não terão problemas com compactação (menor densidade 1,2; 1,3 Mg m⁻³) podendo se desenvolver plenamente.

A microporosidade é um atributo muito importante quando se pensa em armazenamento de água, pois são nestes poros que a maioria da água infiltrada fica armazenada para abastecer a plantas a medida que elas necessitam. Apesar desse mesmo parâmetro ser maior no solo coeso, foi verificado que a água retida nesses poros está em tensões tão elevadas que se tornam indisponíveis para as raízes das plantas (resultado apresentado no capítulo 1 desta tese). Desta forma, a falta de água afetaria as espécies em ambos os grupos de solos estudados. Tendo ainda um agravante que seria o menor teor de argila nos coesos.

Esses atributos discutidos respondem bem o desenvolvimento das espécies, onde a subsolagem só foi importante no primeiro ano para os solos coesos, no segundo ano não houve diferença, e no total as espécies plantadas no

compartimento não coeso, ainda tiveram melhor desenvolvimento que as plantadas no coeso.

Porém, não devemos deixar de considerar a importância do sistema radicular das duas espécies leguminosas plantadas (*P. dibrum* e *S. parahyba*) bem como a estrutura da planta (galhos, folhas, folíolos), afetando no transporte de seiva, captação de luz solar pelas folhas, etc. Vale ressaltar que não estamos considerando características filogenéticas nessas comparações, mas estrutura da planta em si na busca de recursos. Outros fatores que poderão estar influenciando o crescimento destas espécies em particular devem-se a características fisiológicas desconhecidas e os demais fatores intrínsecos foram discutidos anteriormente neste capítulo, com base em referências bibliográficas.

5.4 CONCLUSÕES

S. parahyba e *P. dubium* foram as espécies de maior incremento em altura, porém apenas *S. parahyba* direcionou mais fortemente energia para o desenvolvimento em diâmetro, especialmente, no segundo ano. Esta observação indica que ambas as espécies podem ser indicadas para reflorestamento na região.

De um modo geral, para o período de dois anos, o posicionamento na encosta não foi importante para o desenvolvimento das plantas.

De um modo geral as mudas tiveram melhor desenvolvimento nos solos não coesos.

REFERÊNCIAS

- AGRIZZI, E. J.; CHAMON, O. Proposta de metodologia para revegetação florestal em áreas degradadas por atividade agropecuária, aplicável ao Estado do Espírito Santo. **Monografia** do Curso de Especialização em Eng. de Meio Ambiente da UFES., Vitória, 1997.
- BRUNO, E. S.; RIEDEL, D. A cidade, o mar e as serras: Espírito Santo, Rio de Janeiro e Distrito Federal. São Paulo : **Cultrix**, 1959. 335 p, il.
- CURCIO, G. R.; DEDECEK, R. A.; BONNET, A. Geologia, geomorfologia e pedologia. In: BONNET, A. RESENDE, A. S.; CURCIO, G. R. **Manual de plantio de espécies nativas para o corredor ecológico do Comperj**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, Colombo: Embrapa Florestas, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 170p.
- CABRAL, D de C. Floresta, política e trabalho: a exploração das madeiras-de-lei no Recôncavo da Guanabara. **Revista Brasileira de História**, São Paulo, v.28,n.55, p. 217-241, 2008.
- CABRAL, D. de C.; FISZON, J. T. Padrão sócio-espaciais de desflorestamento e suas implicações para fragmentação florestal: estudo de caso na Bacia do Rio Macacu, RJ. **Revista Scientia Forestalis**, n.66, p.13-24, dez 2004.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v. 1.
- CARVALHO, P. E. R. Guapuruvu. **Circular Técnica. Embrapa Florestas** Colombo, PR Dezembro, 2005 ISSN 1517-5278.
- CARVALHO, P.E.R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1994.
- CINTRA, F. L. D.; LARD, P. L.; JORGE, L. A.de C. Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticaba1 - SP, v. 21, n. 3, p. 313-317, dezembro 1999.
- DE ABREU, F. L. G. E SALVIANO, A. A. C.; Sistema radicular de três espécies porta-enxertos para lima ácida "tahiti" no estado do Piauí. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.28, n.2, p. 187-194, 2007.
- DEMUNER, V. G.; HEBLING, S. A.; DAGUSTINHO, D. M. Efeito do sombreamento no crescimento inicial de *Galesia integrifolia* (Spreng.) Harms. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão** v.17, p.45-55, 2004.
- GARTNER, B. L.; MEINZER, F. C. Structure-function relationship in sapwood water transport and storage. In: Holbrook, N.M. e Zwieniecki, M.A. **Vascular transport in plants**. p.307-331, Amsterdã: Elsevier Academic Press. 2005.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; TORMENA, C.; SOUZA, L. S.; RIBEIRO, L. P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 239-247, 2001.

GONÇALVES, A. O. Caracterização climática. In: **Monitoramento da revegetação do Comperj : etapa inicial** / editores técnicos: Rachel B.; Prado, R. B.; Fidalgo, E. C. C. F.; Bonnet, A. — Brasília, DF : Embrapa, 2012, 65-82p.

GRACE, J. Plant water relations. In: Crawley, M.J. **Plant ecology**. Second Edition. Malden: Blackwell publishing, p.28-50, 1986.

ITABORAÍ. Prefeitura Municipal. Plano municipal de saneamento básico: relatório base (Maio/10 – v1). Disponível em: < <http://itaborai.rj.gov.br/home/PMSB.pdf> > Acesso em 21 jun. 2012.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA. 2006. 550p

LUCCOCK, J. **Notas sobre o Rio de Janeiro e partes meridionais do Brasil**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1975. 435p.

MEIS, M. R. M. E AMADOR, E. S. Contribuições ao estudo do Neocenoico da Baixada da Guanabara-Formação Macacu. **Revista Brasileira de Geociências**, v.7, n.2, 150-174, 1977.

MELOTTO, A.; NICODEMO, M. L.; BOCCHESI, R. A.; LAURA, V. A.; CONTIJO NETO, M. M.; SCHLEDER, D. D.; POTT, A.; DA SILVA, PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies florestais nativas do Brasil central indicado para sistemas silvipastoris. **Revista Árvore**, v. 33, n.3, p. 425-432, 2009.

NICODEMO, M. L. F.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; SANTOS, P. M.; VINHOLIS, M.de M. B.; DE FREITAS, A. R.; CAPUTTI, G. Desenvolvimento inicial de espécies florestais em sistemas silvipastoris na região Sudeste. Nota científica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, 60:89-92, 2009. Ed.especial.

PORTELA, R. C. Q.; SILVA, I. L.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchildiana* Howard e *Peltophorum Dubium* (Spreng) Taub em diferentes condições de sombreamento. **Revista Ciência Florestal**, 11:163-170, 2001.

REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A. **Projeto Madeira de Santa Catarina**. *Sellowia* 28:1-320. 1978.

SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. de Q. P.; RODRIGUES, A. C. V.; RIBEIRO, L. da S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:503-513, 2008.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. da S.; LEDO, C. A. da S. Sistema radicular dos citrus em Neossolos Quartzarênicos dos Tabuleiros Costeiros sob irrigação e sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42:1373-1381, 2007.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; COELHO FILHO, M. A.; Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizada em tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 27:175-178. 2005.

SANTANA, M. B.; SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D.; FONTES, L. E .F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:1-12, 2006.

CINTRA, L.D.F. Reflexões sobre o efeito dos horizontes coesos no movimento de água no solo e na distribuição do sistema radicular. **Papaya Brasil**; p103-107; 2005.

SOUZA, D. L.; SOBRINHO, A. P. da C.; RIBEIRO, L. da S.; SOUZA, L. S.; LEDO, C. A. DA S. Avaliação de plantas cítricas, em diferentes profundidades de plantio, em Latossolo amarelo dos tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, 26:241-244, 2004.

CARVALHO, J. E. B.; JORGE, L. A. C.; RAMOS, W. F.; ARAÚJO, A. M. A. Manejo de cobertura do solo e desenvolvimento do sistema radicular da combinação laranja 'pêra'/ limão 'cravo' na Bahia e em Sergipe. **Revista Laranja**, Cordeirópolis, 22:259-269, 2001

ANEXO 1 - GRÁFICOS DE BALANÇO HÍDRICO NO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO – ITABORAÍ/RJ.

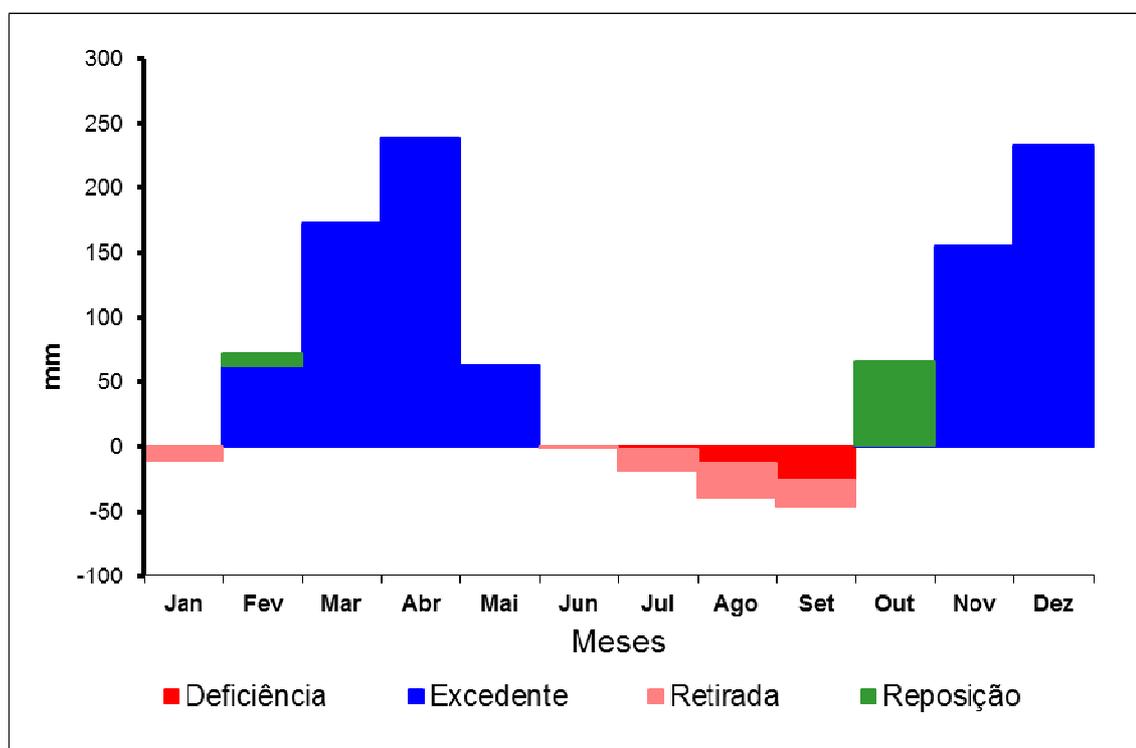


FIGURA 19 - BALANÇO HÍDRICO DO ANO DE 2010 NO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO – ITABORAÍ/RJ.

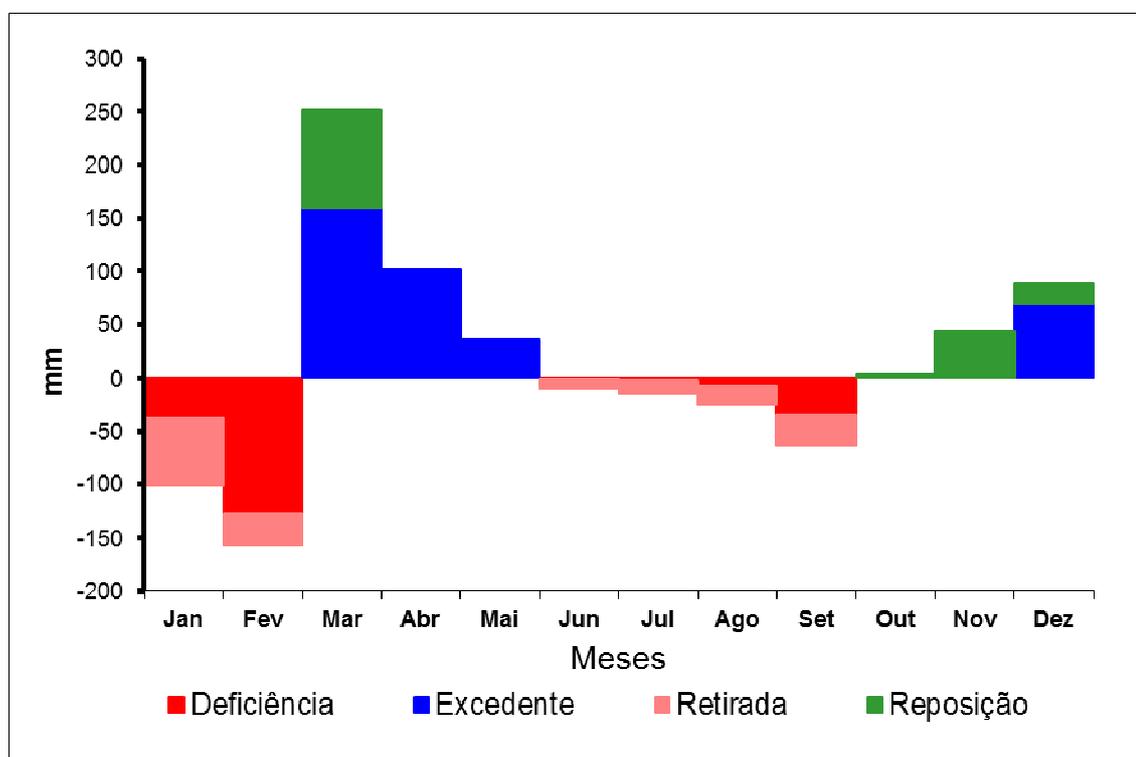


FIGURA 20 - BALANÇO HÍDRICO DO ANO DE 2011 NO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO – ITABORAÍ/RJ.

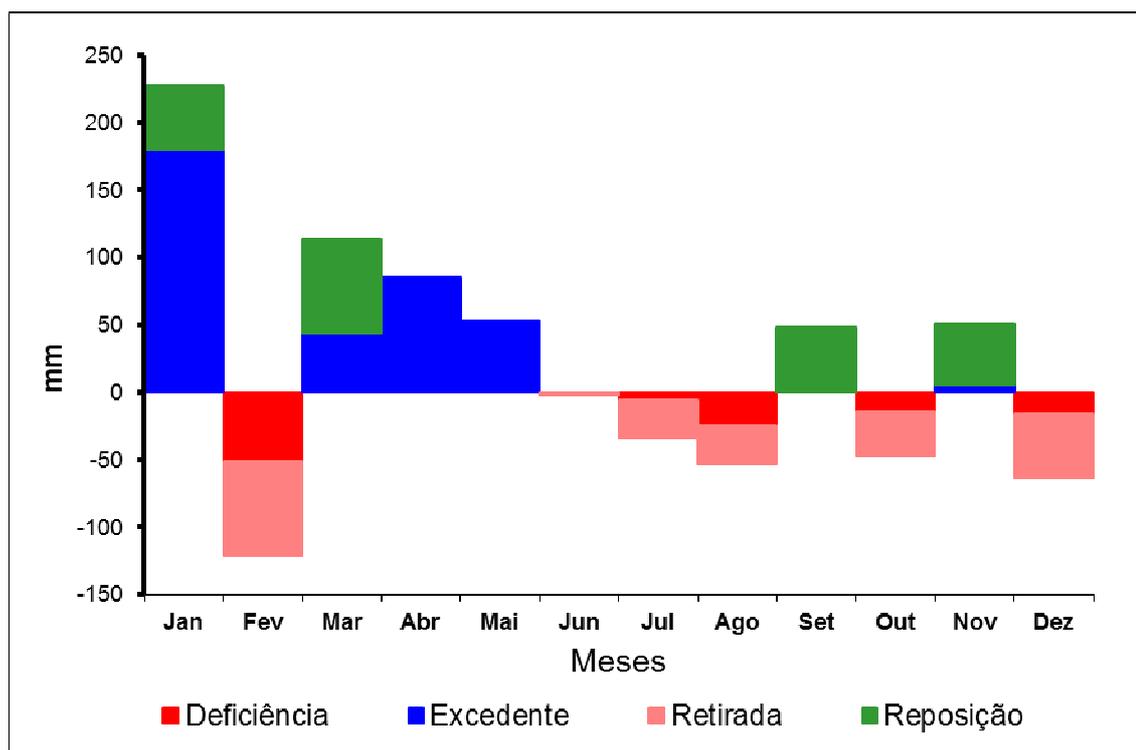


FIGURA 21 - BALANÇO HÍDRICO DO ANO DE 2012 NO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO – ITABORAÍ /RJ.