



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

Carolina da Silva Ribeiro

**ESTUDO PETROGRÁFICO DA FORMAÇÃO RIO DOCE, NA
PORÇÃO EMERSA DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho Final de Curso (Geologia)

**UFRJ
Rio de Janeiro
2008**



UFRJ

Carolina da Silva Ribeiro

**ESTUDO PETROGRÁFICO DA FORMAÇÃO RIO DOCE, NA
PORÇÃO EMERSA DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário para obtenção do grau em Geologia.

Orientador:

Prof. Dr. Claudio Limeira Mello

Co-orientador:

Prof. Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2008

Ribeiro, Carolina da Silva

Estudo petrográfico da Formação Rio Doce, na porção emersa da bacia do Espírito Santo / Carolina da Silva Ribeiro. – Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Geociências, 2008.

49 p. : il.

Orientador: Claudio Limeira Mello; Co-orientador: Renato Rodriguez Cabral Ramos.

Trabalho Final de Curso: Graduação em Geologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia.

1. Petrografia sedimentar 2. Diagênese. I. Título. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CDD 552.5

Carolina da Silva Ribeiro

ESTUDO PETROGRÁFICO DA FORMAÇÃO RIO DOCE, NA
PORÇÃO EMERSA DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia, Instituto de Geociências, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
como requisito necessário para obtenção do
grau em Geologia.

Orientador:
Prof. Dr. Claudio Limeira Mello

Co-orientador:
Prof. Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos

Aprovada em: 25.02.2008

Por:



Orientador: Prof. Dr. Claudio Limeira Mello, IGEO/UFRJ



Co-orientador: Prof. Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos, MN/UFRJ



Prof. Dr. Júlio Cezar Mendes, IGEO/UFRJ



Prof. Dr. Ismar de Souza Carvalho, IGEO/UFRJ

Dedico esse trabalho à **minha família:** Hélio e
Maria, Anamaria e Cássio, Letícia e Gabriela ...
pela imensa saudade em troca da realização deste
projeto... e a três grandes mulheres:
Maria das Dores, Leonil e Ilda
(*in memoriam*)

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores **Claudio Limeira Mello** e **Renato Rodriguez Cabral Ramos**, pelos ensinamentos, atenção e amizade que foram essenciais desde o princípio da minha graduação até a finalização deste trabalho.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq** junto a **Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa** da **UFRJ** pela concessão da bolsa de pesquisa através do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC) no período de 2004 à presente data, que possibilitaram o desenvolvimento das minhas atividades acadêmicas durante todo este período.

À geóloga **Rute Maria Oliveira de Moraes** (PETROBRAS/E&P-EXP/IABS/PS) por me permitir acompanhá-la durante seus trabalhos de campo que resultaram no início deste trabalho; pela concessão dos materiais, discussões, sugestões e, principalmente, por ser tão atenciosa.

Aos professores do Departamento de Geologia da UFRJ: **Aristóteles de Moraes Rios-Netto**, **André Ribeiro**, **Julio Cezar Mendes** e **Fernando Roberto Mendes Pires**, pela disposição dos microscópios ópticos e lupa binocular. A professora **Helena Polivanov** e seus orientandos: **Lucas Balsini**, **Vitor Hugo Gomes da Silva**, **Leandro Victor dos Santos**, **Renata de Carvalho Jimenez Alamino** e **Filipe de Brito Fratte Modesto**, pela disposição do Laboratório de Raios-X e apoio durante todas as etapas de análise de mineralogia das argilas. Ao meu orientador acadêmico - Prof. **Carlos Jorge Abreu**, do Departamento de Geologia da UFRJ, por confiar a mim grande volume de seu “acervo geológico”, essenciais na elaboração deste trabalho.

Aos técnicos do Departamento de Geologia da UFRJ: Srs. **Luís Sampaio Ferro** (*in memoriam*) e **Roberto Gomes da Silva** do Laboratório de Sedimentologia, e ao Sr. **Tarcísio Raimundo da Silva** do Laboratório de Laminação.

Aos motoristas da UFRJ **Sidnei da Conceição Belarmino** e **Paulo Roberto Machado Burity**, pelo apoio durante as atividades de campo.

A **todos os alunos** que integram o grupo de pesquisa coordenado pelo prof. Dr. Claudio Limeira Mello, com os quais o tempo de convivência acrescentou para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço ao geólogo **Diogo Miranda** pelas discussões, sugestões e acompanhamento em trabalhos de campo.

Resumo

RIBEIRO, Carolina da Silva. Estudo petrográfico da Formação Rio Doce, na porção emersa da bacia do Espírito Santo. Rio de Janeiro, 2008. 49 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) - Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Os depósitos da Formação Rio Doce, que ocorrem na região norte e leste do estado do Espírito Santo, na porção emersa da bacia do Espírito Santo, são, em geral, compostos por camadas tabulares de arenitos e conglomerados, intercaladas com lentes de argilitos, sendo associados a um ambiente fluvial de rios entrelaçados. Nesta região, esta unidade vem sendo apontada como potencial aquífero e também cogitada como potencial reservatório de hidrocarbonetos. Neste estudo, foram efetuadas análises petrográficas de depósitos aflorantes próximos às localidades de Pedro Canário, Nova Venécia e Boa Esperança, com o objetivo de identificar características em microescala que evidenciem a sua capacidade permo-porosa, além de contribuir para discussões acerca da sua sedimentação. Como resultado, pôde-se reconhecer que são compostos essencialmente de arenitos, com características petrográficas que apontam para atuação de processos diagenéticos superficiais e pedogenéticos modificadores de sua textura e composição original. Em síntese, os arenitos são quartzosos e arcoseanos, cuja fonte está associada a rochas de composição granítica a metamórficas de alto grau. Quanto às características texturais, possuem valores moderados de porosidade secundária e de argila autigênica de composição caulínica, cuja recristalização foi responsável pela incipiente litificação dos depósitos. Os processos que atuaram durante a eodiagênese foram: infiltração de argila detrítica, dissolução dos grãos do arcabouço e formação de cimento filossilicático, e compactação, responsáveis, ao lado de atividades de organismos (bioturbação), pela perda de estruturas internas dos sedimentos, redução significativa da porosidade primária e posterior surgimento de poros secundários. A porosidade secundária, formada principalmente pela contração/encolhimento do material intersticial, pode estar correlacionada à boa capacidade permo-porosa destes depósitos superficiais, contribuindo assim para seu potencial como aquíferos granulares.

Palavras-chave: bacia do Espírito Santo, Formação Rio Doce, petrografia

Abstract

RIBEIRO, Carolina da Silva. *Petrographic study of the Rio Doce Formation, in the emerge area of Espírito Santo basin*. Rio de Janeiro, 2008. 49 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) - Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

The deposits of the Rio Doce Formation (Eocene-Miocene) occur at the northern and eastern areas of Espírito Santo State, in the land portion of Espírito Santo Basin. They are usually composed by tabular layers of sandstones and conglomerates, interbedded with mudstone lenses, being associated to braided rivers. This unit constitutes a potential aquifer and is considered potential hydrocarbon reservoir. The present study involves petrographic analyses of Rio Doce Formation deposits outcropping near the cities of Pedro Canário, Nova Venécia and Boa Esperança. These analyses aim to identify textural and compositional micro-scale features in order to discuss permo-porous capacity and provenance. The deposits are essentially composed by sandstones, which present petrographic characteristics related to superficial diagenetic and pedogenetic processes that modify their texture and original composition. Quartzose and arkosic composition points to granitic and high-grade metamorphic sources. Concerning textural aspects, the analyses recorded moderate concentration of secondary porosity and caulinitic phyllosilicate cement, whose recrystallization was responsible for the incipient litification. The processes associated with eodiagenesis (infiltration, grain dissolution and clayey cement development, and compaction), besides bioturbation were responsible for the loss of the internal structures of the sediments, significant reduction of the primary porosity and subsequent development of secondary pores. The secondary porosity was formed mainly by the shrinkage of the interstitial material, and can be related to the well permo-porous capacity of these deposits, thus contributing for their potential as granular aquifers.

Key-Words: Espírito Santo basin, Rio Doce Formation, petrography

Lista de figuras

| | | |
|-----------------|--|-----------|
| Figura 1 | Mapa do estado do Espírito Santo com a localização das três localidades estudadas: Pedro Canário (I e II) , Córrego Tapuio e Fazenda Japira, e suas principais vias de acessos (modificado de Viaje aqui, 2007). | 5 |
| Figura 2 | Mapa tectônico do Orógeno Araçuaí (Heilbron <i>et al.</i> , 2004), com destaque no retângulo que abrange a área estudada. 1- Suíte G5, tipo I (520-490 Ma). 2- Suíte G4, tipo S (520-500 Ma). 3- Formação Salinas (570-520 Ma). 4- Suítes G2 (585-565 Ma) e G3, ambas tipo S. 5- Suíte G1, tipo I (630-585 Ma). 6- Complexo paragnáissico. 7- Grupo Macaúbas proximal. 8- Grupo Macaúbas distal. 9- Formação Ribeirão da Folha e Grupo Dom Silvério. 10- Grupo Rio Doce. 11- Granito Salto da Divisa (880 Ma). 12- Complexo Juíz de Fora (2,2-2,0 Ga). 13- Arqueano a Mesoproterozóico retrabalhado na Orogenia Brasileira (Supergrupo Espinhaço em amarelo): complexos Gu-Guanhães, It-Itabuna, Ma-Mantiqueira, P-Pocrane e Po-Porteirinha. 14- Limite Cratônico. 15- Zona de sutura neoproterozóica. 16- transporte tectônico. 17- polaridade metamórfica. | 6 |
| Figura 3 | Mapa das unidades geológicas (modificado de Bizzi <i>et al.</i> , 2003), no estado do Espírito Santo e a localização das seções estudadas. A identificação das unidades foi baseada no mapa de Pedrosa-Soares <i>et al.</i> (2001) e a Formação Rio Doce foi incluída no domínio da Formação Barreiras. | 8 |
| Figura 4 | a) Mapa das bacias sedimentares brasileiras, com destaque para a bacia do Espírito Santo no conjunto de bacias da margem atlântica, cuja gênese está associada à abertura do Oceano Atlântico (Souza-Lima <i>et al.</i> , 2003). b) Seção esquemática da bacia do Espírito Santo, mostrando a distribuição do arcabouço estrutural e estratigráfico. O intervalo estratigráfico da Formação Rio Doce está inserido no domínio dos depósitos terciários que ocorrem na porção terrestre e marinha da bacia (modificado de Bizzi <i>et al.</i> , 2003). | 10 |
| Figura 5 | Coluna estratigráfica da bacia do Espírito Santo, segundo Vieira <i>et al.</i> (1994). | 11 |
| Figura 6 | Perfil litológico da seção da Fazenda São Pedro (São Mateus-ES), descrito por Bandeira Jr. <i>et al.</i> (1975), representativo da Formação Rio Doce em superfície. | 13 |
| Figura 7 | Seção Pedro Canário I: fotomosaico, reconstituição estratigráfica e perfil faciológico (modificado de Moraes, 2007). | 24 |
| Figura 8 | Seção Pedro Canário II: fotomosaico, reconstituição estratigráfica e perfil faciológico (modificado de Moraes, 2007). | 25 |
| Figura 9 | Dados petrográficos da seção Pedro Canário I: histogramas e curvas de frequência acumulada; diagramas de barras da relação cascalho:areia:lama; diagramas triangulares de classificação de rochas sedimentares com cascalho (A), sem cascalho (B), e da composição mineralógica (C), segundo Folk (1980); difratogramas de raios-X das análises da mineralogia das argilas. | 26 |

| | | |
|------------------|--|-----------|
| Figura 10 | Dados petrográficos da seção Pedro Canário II: histogramas e curvas de frequência acumulada; diagramas de barras da relação cascalho:areia:lama; diagramas triangulares de classificação de rochas sedimentares com cascalho (A), sem cascalho (B), e da composição mineralógica (C), segundo Folk (1980); difratogramas de raios-X das análises da mineralogia das argilas. | 27 |
| Figura 11 | Diagramas de barras da porcentagem de minerais pesados identificados em amostras das seções Pedro Canário. | 28 |
| Figura 12 | Seção Córrego Tapuio: fotomosaico, reconstituição estratigráfica e perfil faciológico (modificado de Moraes, 2007). | 29 |
| Figura 13 | Dados petrográficos da seção Córrego Tapuio: histogramas e curvas de frequência acumulada; diagramas de barras da relação cascalho:areia:lama; diagramas triangulares de classificação de rochas sedimentares com cascalho (A), sem cascalho (B), e da composição mineralógica (C), segundo Folk (1980); difratogramas de raios-X das análises da mineralogia das argilas. | 31 |
| Figura 14 | Diagramas de barras da porcentagem de minerais pesados identificados em amostras da seção Córrego Tapuio. | 31 |
| Figura 15 | Seção Fazenda Japira: fotomosaico, reconstituição estratigráfica e perfil faciológico (modificado de Moraes, 2007). | 34 |
| Figura 16 | Dados petrográficos da seção Fazenda Japira: histogramas e curvas de frequência acumulada; diagramas de barras da relação cascalho:areia:lama; diagramas triangulares de classificação de rochas sedimentares com cascalho (A), sem cascalho (B), e da composição mineralógica (C), segundo Folk (1980); difratogramas de raios-X das análises da mineralogia das argilas. | 35 |
| Figura 17 | Fotografia de detalhe de camada da litofácies Aca e fotomicrografias da amostra nº 45, na seção Fazenda Japira, com acamamento granulométrico dado pela distribuição bimodal dos grãos detríticos, indicada pela linha vermelha (Lentes polarizadas cruzadas e descruzadas, aumento de 4x, 100µm). | 36 |
| Figura 18 | Diagramas de barras da porcentagem de minerais pesados identificados em amostras da seção Fazenda Japira. | 36 |
| Figura 19 | Fotomicrografias de estruturas que evidenciam a atuação de organismos - cavidade (1) e tubo preenchido (2); e pedogênese - <i>argillans</i> (3), cavidade com revestimentos de crescimento concêntrico (4), (5) e (6); cutículas envolvendo grãos (7) e (8); NX – lentes polarizadas cruzadas, ND – lentes polarizadas descruzadas. | 39 |
| Figura 20 | Fotografia de feição tubular (destacada pelo contorno em vermelho) encontrada na seção Córrego Tapuio, semelhante ao icnogênero <i>Palaeophycus</i> , segundo Moraes (2007). | 40 |
| Figura 21 | Feições tubulares preenchidas por conglomerados, nos lamitos da base da seção Pedro Canário I, originadas por processos de elutriação. | 40 |

- Figura 22** Fotomicrografias de grãos de biotita (B) em diferentes estágios de alteração, desde o grão preservado, deformado, até quase completamente alterado. **41**
- Figura 23** Ilustrações de (A) a (E) de Moore & Scruton (1957) da seqüência progressiva da alteração de sedimentos por atuação de organismos, resultando na perda das estruturas internas primárias. Fotografias de detalhes de camadas de arenitos com estratificação cruzada ainda preservada (esquerda) e arenito maciço sem estruturas primárias aparentes (direita), ambas da seção Córrego Tapuio. **42**
- Figura 24** Diagrama triangular para análise de proveniência de rochas sedimentares - identificação do tipo de rocha fonte, segundo Basu *et al.*(1975). **43**

Lista de quadros

- Quadro 1** Fácies sedimentares descritas por Morais (2007) para os sistemas fluviais terciários na área emersa da bacia do Espírito Santo (formações Rio Doce e Barreiras). Em destaque, as fácies reconhecidas nos depósitos da Formação Rio Doce diretamente relacionadas ao presente estudado. **14**
- Quadro 2** Relação das amostras coletadas, identificando as seções estudadas (PCI e PCII: Pedro Canário, CT: Córrego Tapuio, e FJ: Fazenda Japira), fácies sedimentares, posição das amostras nos perfis faciográficos elaborados por Morais (2007), e análises executadas. **16**

Sumário

| | |
|---|------|
| Agradecimentos _____ | vi |
| Resumo _____ | vii |
| <i>Abstract</i> _____ | viii |
| Lista de figuras _____ | ix |
| Lista de quadros _____ | xi |
| 1 INTRODUÇÃO _____ | 1 |
| 2 OBJETIVO _____ | 3 |
| 3 ÁREA DE ESTUDO _____ | 4 |
| 3.1 Localização _____ | 4 |
| 3.2 Geologia Regional _____ | 4 |
| 3.2.1 Embasamento pré-cambriano _____ | 6 |
| 3.2.1.1 Complexo Paraíba do Sul _____ | 7 |
| 3.2.1.2 Suíte G-2 tipo-S _____ | 7 |
| 3.2.1.3 Suíte G-5 tipo-I _____ | 9 |
| 3.2.2 Bacia do Espírito Santo _____ | 9 |
| 3.2.2.1 Formação Rio Doce _____ | 12 |
| 3.2.2.2 Formação Barreiras _____ | 13 |
| 3.2.3 Sedimentação Quaternária _____ | 14 |
| 4 MÉTODOS E TÉCNICAS _____ | 16 |
| 4.1 Análise granulométrica _____ | 17 |
| 4.2 Análise petrográfica _____ | 17 |
| 4.3 Mineralogia das argilas _____ | 19 |
| 4.4 Mineralogia de pesados _____ | 20 |
| 5 RESULTADOS _____ | 22 |
| 5.1 Características petrográficas _____ | 22 |
| 5.1.1 Seções Pedro Canário I e II _____ | 23 |

| | |
|---|----|
| 5.1.2 Seção Córrego Tapuio _____ | 28 |
| 5.1.3 Seção Fazenda Japira _____ | 32 |
| 5.2 Características diagenéticas _____ | 37 |
| 5.3 Proveniência _____ | 42 |
| 6 CONCLUSÕES _____ | 44 |
| Referências bibliográficas _____ | 46 |
| Apêndice A – Dados petrográficos recalculados para percentuais de rocha total (composição mineralógica, porosidade, matriz e cimento). _____ | 49 |

1 INTRODUÇÃO

A Formação Rio Doce, inserida no Grupo Espírito Santo da bacia sedimentar homônima, é caracterizada, de maneira geral, por sedimentos predominantemente arenosos, relacionados a um sistema de leques costeiros, sendo datada do Eoceno final ao Mioceno (Vieira *et al.*, 1994). Distribui-se pela porção terrestre e marinha da bacia do Espírito Santo, aflorando na metade norte do estado do Espírito Santo, desde próximo à cidade de Vitória até a divisa com o estado da Bahia.

É importante destacar que a unidade não é identificada nas principais bases cartográficas disponíveis (como Silva *et al.*, 1987 e Bizzi *et al.*, 2003), sendo genericamente englobada no domínio da Formação Barreiras. A relação entre os depósitos das formações Rio Doce e Barreiras é ainda tema controverso, e poucos estudos têm sido desenvolvidos com relação a esta sedimentação cenozóica da bacia do Espírito Santo, principalmente com ênfase na Formação Rio Doce e no seu potencial como reservatório.

Asmus *et al.* (1971), pioneiros na caracterização estratigráfica da bacia do Espírito Santo, definiram a Formação Rio Doce através de estudos de subsuperfície, subdividindo-a em três subunidades informais: membros Piraúna (folhelhos intercalados por arenitos e, subordinadamente, calcários), Pirapitanga (arenitos com intercalações de folhelhos e calcários), e Piranha (arenitos intercalados por calcários). Os registros de nanofósseis e foraminíferos levaram os autores a situar a Formação Rio Doce desde o Paleoceno até o Mioceno inicial. Contudo, para o intervalo superior, estéril em fósseis, estenderam o limite até o Plioceno. Por fim, manifestaram que a associação de folhelho-arenito desta unidade é propícia a formar um sistema petrolífero rocha geradora/reservatório. Vieira *et al.* (1994), definiram a idade da Formação Rio Doce do Eoceno até o final do Mioceno, com base na presença de palinomorfs e foraminíferos bentônicos.

Piazza & Araújo (1972 *apud* Bandeira Jr. *et al.*, 1975) foram os primeiros a reconhecerem a ocorrência da unidade em superfície, nas margens do rio São Mateus, durante atividades de campo do Projeto Rio Doce. Estes autores descreveram uma seção de aproximadamente 60 metros, composta por intercalações de arenitos feldspáticos e argilitos esverdeados, sobrepostos pelos depósitos da Formação Barreiras.

Amador & Dias (1978) e Amador (1982) discutiram a caracterização estratigráfica e paleoambiental da seqüência continental cenozóica no estado do Espírito Santo, e propuseram a denominação de Formação Pedro Canário para depósitos predominantemente constituídos

de arenitos arcoseanos silicificados, atribuídos a um sistema de rios entrelaçados sob condições de clima seco, de idade Mioceno final-Plioceno. Esta unidade foi posicionada por estes autores como a unidade basal do, assim chamado, Grupo Barreiras, sendo correlacionada ao Membro Piranha (membro superior da Formação Rio Doce), descrito anteriormente por Asmus *et al.* (1971).

Recentemente, Morais (2007) retomou os estudos estratigráficos e sedimentológicos acerca da sedimentação continental terciária no estado do Espírito Santo. Esta autora discutiu a relação estratigráfica entre as formações Rio Doce e Barreiras, que individualizou em unidades distintas, e descreveu faciologicamente tais unidades, identificando importantes similaridades faciológicas, atribuídas a uma sedimentação em rios entrelaçados arenosos, perenes e profundos. Destacou, no entanto, que a Formação Rio Doce é litologicamente distinta, com o predomínio de camadas tabulares de arenitos conglomeráticos, brancos, altamente feldspáticos, intercalados por intervalos lutíticos pouco expressivos, constituídos por argilitos arenosos, esverdeados ou mosqueados. O trabalho de Morais (2007) contribuiu diretamente para o presente estudo, e foi utilizado como referência para as discussões acerca do conteúdo faciológico da Formação Rio Doce, como exposto adiante.

Mourão *et al.* (2002) definiram para a região norte do estado do Espírito Santo dois sistemas de aquíferos: os aquíferos fraturados (representados pelas rochas cristalinas do embasamento); e os aquíferos granulares (formados por sedimentos cenozóicos). Os aquíferos granulares representados pelas formações Barreiras e/ou Rio Doce apresentaram potencial de produtividade hidrogeológica considerável.

A potencialidade dos depósitos da Formação Rio Doce como reservatórios, principalmente de água, constitui a principal motivação do presente estudo, que busca apresentar dados de caracterização petrográfica, discussões de proveniência e aspectos diagenéticos, concentrando seu foco nos depósitos aflorantes. Considera-se que os parâmetros petrográficos discutidos no presente trabalho podem ter repercussão para estudos de construção de modelos mais acurados de reservatórios (análogos), principalmente de águas subterrâneas.

2. OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo a identificação e descrição de heterogeneidades sedimentares em microescala nos depósitos aflorantes da Formação Rio Doce na região norte do estado do Espírito Santo, a fim de contribuir com dados básicos para estudos de análogos de reservatórios, bem como para os estudos sobre a sedimentação cenozóica do Sudeste do Brasil.

Os estudos realizados no presente trabalho envolvem:

- a caracterização petrográfica, através da descrição de lâminas delgadas e ensaios granulométricos, com objetivo de melhor caracterizar os parâmetros texturais da Formação Rio Doce;
- a análise da porosidade das amostras areníticas e rudíticas desta unidade, para futuras discussões sobre potencial reservatório;
- a determinação da mineralogia das argilas que constituem o material intersticial das rochas, a fim de contribuir para as discussões da evolução diagenética;
- a identificação de minerais pesados, como indicadores diretos da natureza da(s) área(s)-fonte(s) destes depósitos, contribuindo, assim, para o refinamento dos modelos deposicionais.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

A área de estudo está localizada no extremo norte do estado do Espírito Santo, na porção terrestre da bacia homônima, entre os paralelos 18° e 19° sul.

Foram utilizados quatro afloramentos anteriormente descritos por Moraes (2007) – seções Pedro Canário I e II, Fazenda Japira e Córrego Tapuio (Figura 1). A escolha destas seções teve como principal critério a expressiva espessura dos depósitos.

As seções Pedro Canário I e Pedro Canário II (SAD-69 zona 24, S 399215, W 7974968) constituem partes de um afloramento situado próximo à cidade de Pedro Canário, no km 18 da rodovia BR-101, sentido norte-sul. No total, abrangem cerca de 200 m de comprimento, com altura de aproximadamente 20 metros. A seção Fazenda Japira (SAD-69 zona 24 S 365496, W 7944350) está localizada entre as cidades de Nova Venécia e Boa Esperança, na rodovia ES-130, a cerca de 22 km de Nova Venécia. A seção Córrego Tapuio (SAD-69 zona 24, S 364575, W 7929648) situa-se em corte da rodovia ES-381, entre as cidades de São Mateus e Nova Venécia, a 17 km de Nova Venécia. Estas duas últimas apresentam comprimento de aproximadamente 40 m e altura de 15 m.

3.2 Geologia Regional

A área estudada está inserida no domínio externo da “Faixa de Dobramentos Araçuaí” (Almeida, 1977 *apud* Pedrosa-Soares *et al.*, 2007), no segmento setentrional da província geotectônica Mantiqueira, a sudeste do Cráton do São Francisco, atualmente denominada de Orógeno Araçuaí (Pedrosa-Soares *et al.*, 2007) – Figura 2.

Três domínios geológicos principais podem ser reconhecidos no estado do Espírito Santo: i) embasamento pré-cambriano, com suítes ígneas e complexos metamórficos que se distribuem na porção centro-oeste do orógeno, ao longo de todo o estado, atingindo também a faixa costeira a sul da cidade de Vitória; ii) depósitos sedimentares terciários, representados pelas formações Barreiras e Rio Doce, de ocorrência no extremo norte e faixa costeira do estado, até a porção centro-oeste, no limite com as rochas pré-cambrianas do embasamento; e iii) depósitos sedimentares quaternários, representados pela sedimentação marinha e continental recente, na faixa costeira e ao longo da calha do rio Doce.

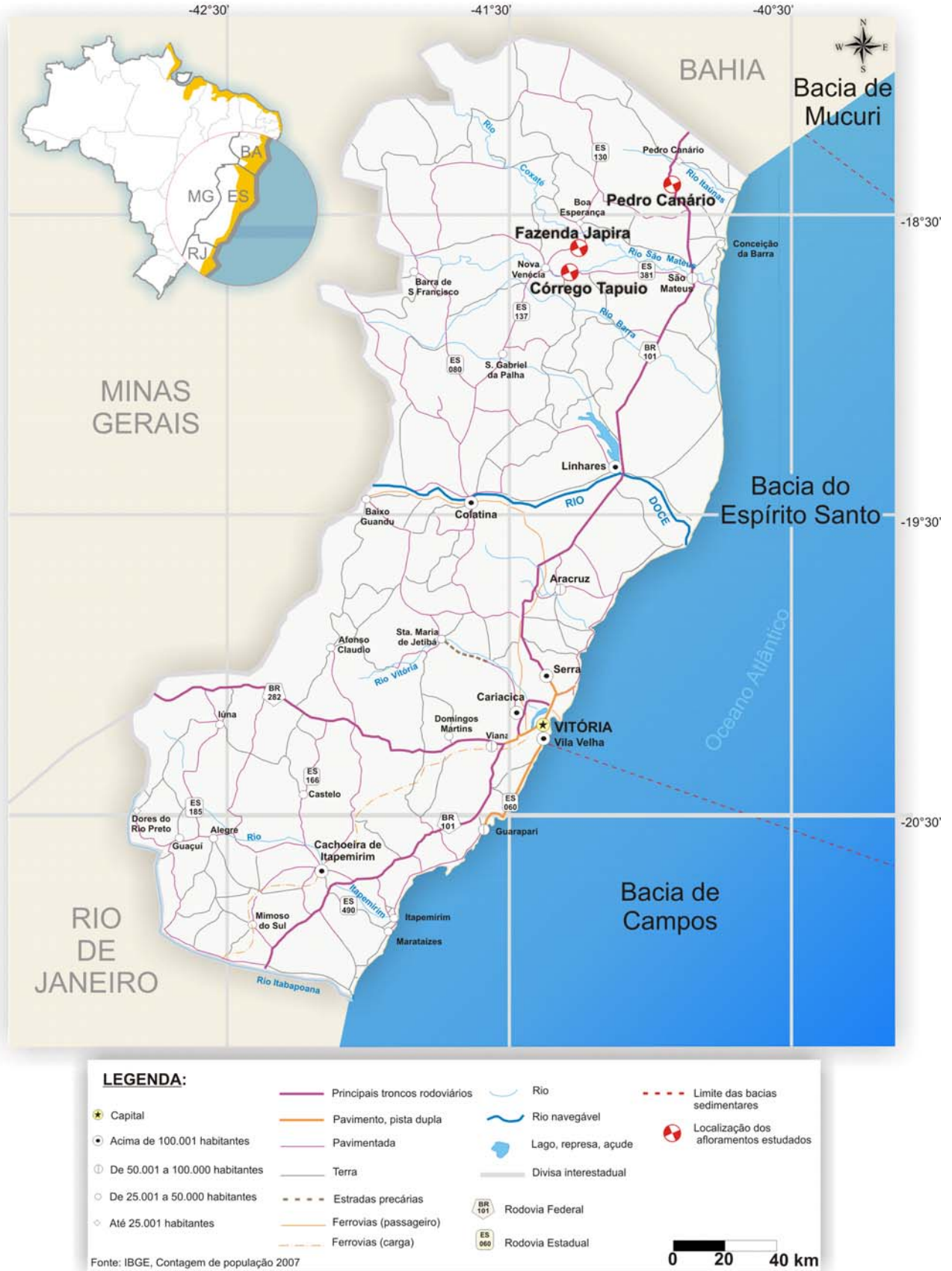


Figura 1 – Mapa do estado do Espírito Santo com a posição das três localidades estudadas: Pedro Canário (I e II), Córrego Tapuio e Fazenda Japira, e suas principais vias de acessos (modificado de Viaje aqui, 2007).

3.2.1 Embasamento pré-cambriano

O embasamento pré-cambriano do Orógeno Araçuai, segundo Heilbron *et al.* (2004), é constituído por associações de complexos metamórficos e suítes TTG (tonalito, trondhjemito e granodiorito) arqueanas, com remanescentes de *greenstone-belts*, subdivididas em dois domínios tectônicos principais - externo e interno. O domínio externo é constituído por faixas de dobramentos e empurrões de complexos metamórficos de baixo grau e suítes intrusivas paleo a neoproterozóicas (Figura 2, item 13). O domínio interno é formado pelo núcleo metamórfico-anatético (Figura 2, itens 1 a 5), com espetacular quantidade de rochas graníticas (tipos I e S) originadas em estágios diversos da Orogênese Brasileira, incluindo também a zona de sutura (Figura 2, item 15), com remanescentes oceânicos e o arco magmático (Figura 2, item 12). Todas estas unidades foram afetadas na Orogênese Brasileira (650-550 Ma).

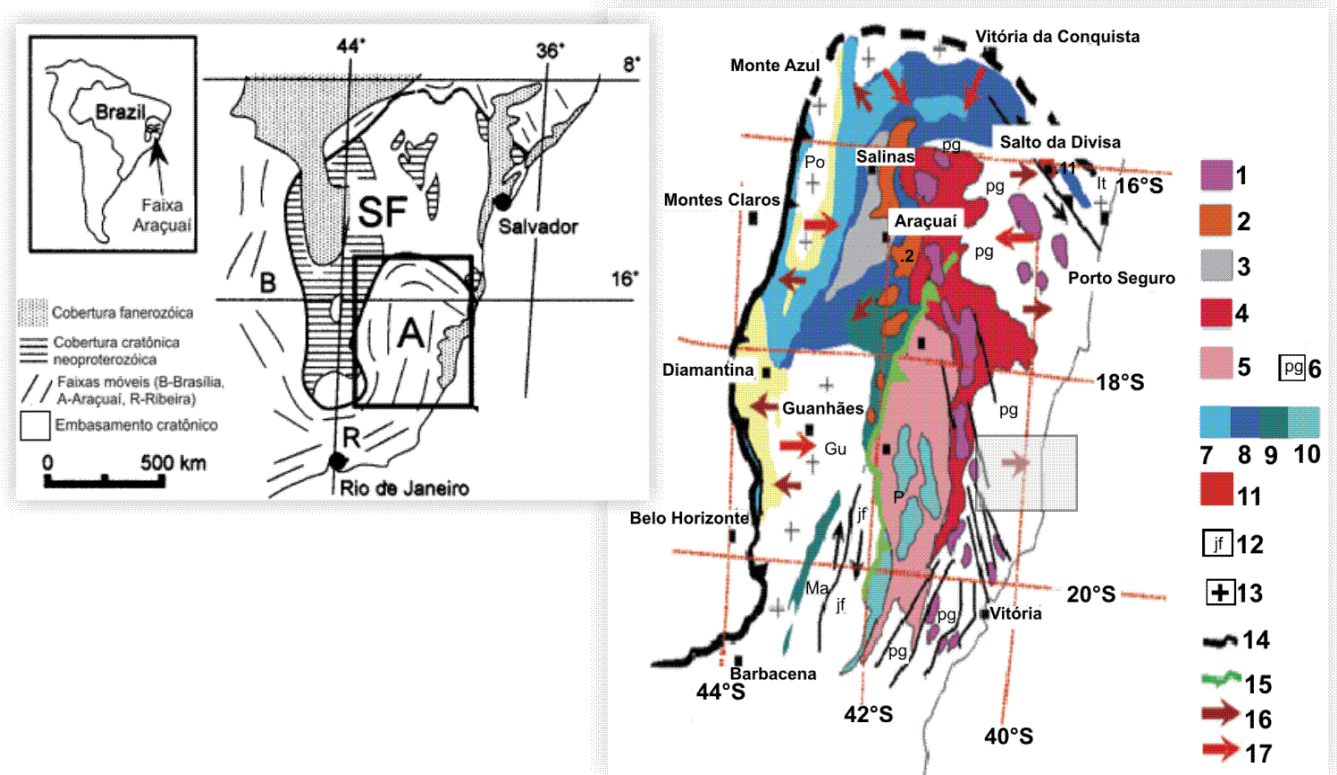


Figura 2 – Mapa tectônico do Orógeno Araçuai (Heilbron *et al.*, 2004), com destaque no retângulo que abrange a área estudada. 1– Suíte G5, tipo I (520-490 Ma). 2- Suíte G4, tipo S (520-500 Ma). 3- Formação Salinas (570-520 Ma). 4- Suítes G2 (585-565 Ma) e G3, ambas tipo S. 5- Suíte G1, tipo I (630-585 Ma). 6- Complexo paragnáissico. 7- Grupo Macaúbas proximal. 8- Grupo Macaúbas distal. 9- Formação Ribeirão da Folha - Grupo Dom Silvério. 10- Grupo Rio Doce. 11- Granito Salto da Divisa (880 Ma). 12- Complexo Juíz de Fora (2,2-2,0 Ga). 13- Arqueano a Mesoproterozóico retrabalhado na Orogenia Brasileira (Supergrupo Espinhaço em amarelo): complexos Gu-Guanhães, It-Itabuna, Ma-Mantiqueira, P-Pocrane e Po-Porteirinha. 14- Limite Cratônico. 15- Zona de sutura neoproterozóica. 16- transporte tectônico. 17- polaridade metamórfica.

Segundo Pedrosa-Soares *et al.* (2001), a porção leste do Orógeno Araçuaí, na região que engloba a área estudada no presente trabalho, é formada por um complexo paragnáissico associado a suítes intrusivas sin- a tardi-tectônicas, neoproterozóicas e cambrianas (Figura 3): o Complexo Paraíba do Sul; suíte intrusiva G-2 tipo-S (incluindo alguns corpos da Suíte G-3); e suíte G-5 tipo-I.

3.2.1.1 Complexo Paraíba do Sul

O Complexo Paraíba do Sul é resultado do metamorfismo da seqüência sedimentar marinha (fase de margem passiva do continente paleoproterozóico, formado antes de 790 Ma), durante a Orogênese Brasileira (Heilbron *et al.*, 2004). A unidade é subdividida em dois subdomínios litológicos arqueano-paleoproterozóicos: i) fácies anfíbolito alto, composta por biotita-gnaïsse, kinzigito, mármore, quartzito, leptinito e anfíbolito; e ii) fácies granulito, composta por granulito charno-enderbítico, gnaïsse granulítico e leptinito.

Esta unidade aflora por toda a porção central do Orógeno Araçuaí, estendendo-se para a faixa costeira, no sul do estado do Espírito Santo.

Na região próxima à cidade de Nova Venécia, norte do Espírito Santo, o complexo paragnáissico Paraíba do Sul é correlacionado ao Complexo Nova Venécia (Figura 3), e vem sendo recentemente mais detalhado (Pedrosa-Soares *et al.*, 2006). Este complexo é constituído por variedades migmatizadas de paragnáisse peraluminoso (kinzigítico), composto por proporções diversas de biotita, cordierita, granada e sillimanita, além de quartzo e feldspatos.

3.2.1.2 Suíte G-2 tipo-S

A Suíte G2 tipo-S (fusão parcial, protólito mais sedimentar, pré a sincolisional) é composta por batólitos subalcalinos a cálcio-alcalinos, granada-biotita granitos peraluminosos remanescentes de paragnáisse e migmatitos, e marcam o pico da fase de anatexia do Orógeno Araçuaí (575 Ma, segundo Pedrosa-Soares *et al.*, 2001). Localmente, é denominada de Buranhém, Montanha, Nanuque, São Paulinho e Urucum.

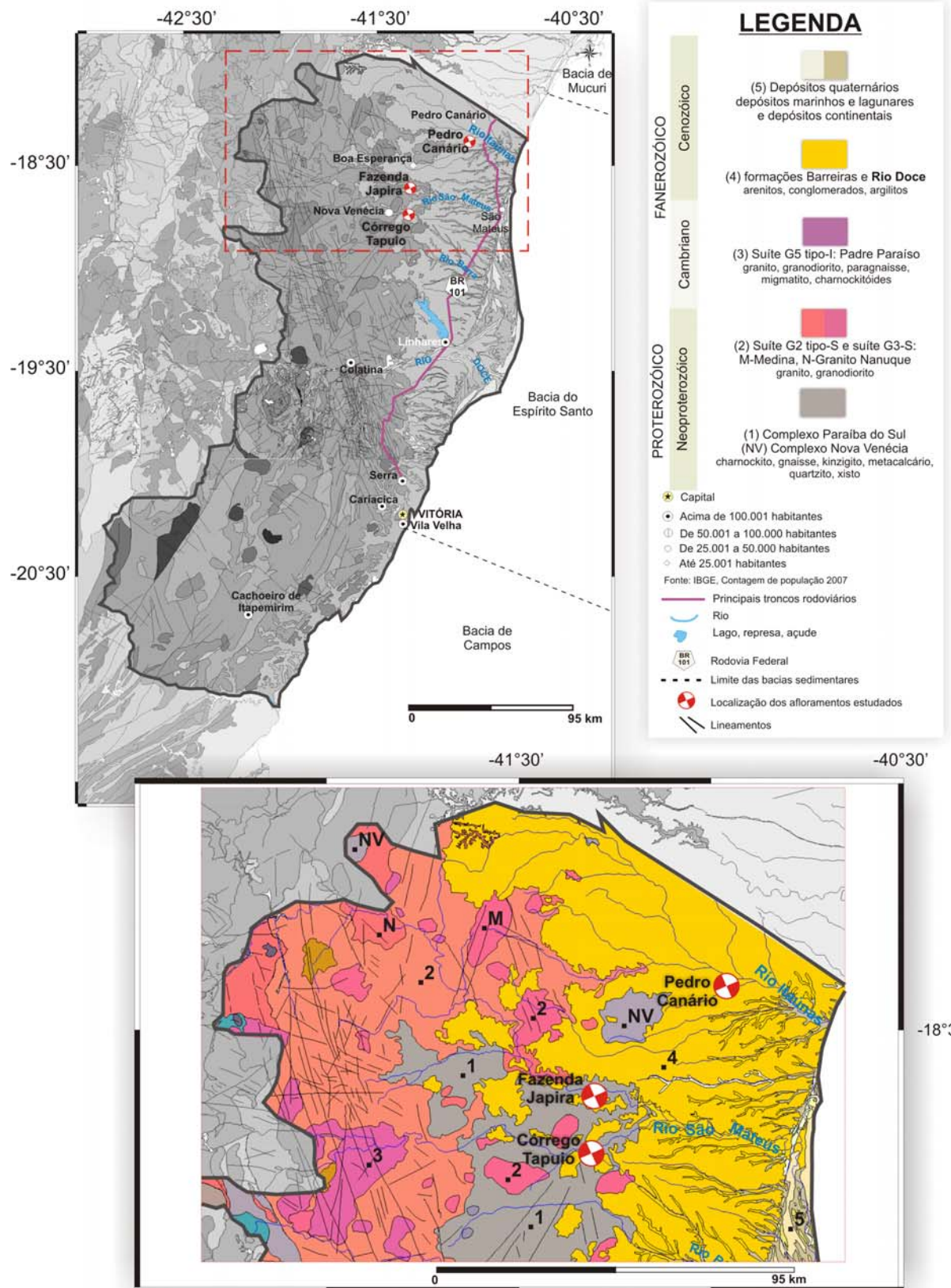


Figura 3 – Mapa das unidades geológicas (modificado de Bizzi *et al.*, 2003), no estado do Espírito Santo e a localização das seções estudadas. A identificação das unidades foi baseada no mapa de Pedrosa-Soares *et al.* (2001) e a Formação Rio Doce foi incluída no domínio da Formação Barreiras.

A Suíte Nanuque (Figura 3) constitui um dos elementos deste conjunto de granitóides sin a tardi-tectônicos da Suíte G-2. Estes tipos de granitóides peraluminosos estão bem representados no orógeno brasileiro no extremo sul da Bahia, onde eles ocorrem como intrusões leucograníticas. O Maciço de Nanuque é um dos maiores corpos plutônicos (~100 km²) e apresenta tanto enclaves magmáticos quanto metamórficos peraluminosos a cordierita, ocorrendo no extremo sul da Bahia.

O Complexo Medina (Figura 3) ou Suíte Medina (580 Ma, segundo Silva *et al.*, 1987) corresponde à Suíte G-3 que ocorre incluída na Suíte G-2. É constituído por litotipos de composição granítica, com presença de granitos porfiróides e granitos granulares. Os corpos graníticos apresentam feições tanto autóctones como alóctones e representam eventos sin a tarditectônicos em relação ao Ciclo Brasileiro (Silva *et al.*, 1987). A Suíte Medina aflora, principalmente, no extremo norte do estado do Espírito Santo (Figura 3).

3.2.1.3 Suíte G5 tipo-I

A suíte intrusiva G-5 tipo-I (fusão total, protólito mais ígneo, póscolisional) é caracterizada por diápiros com composição variando de gabros a granitos, associados à fase final do colapso do Orógeno Araçuaí, datados de 490-520 Ma.

A principal unidade que aflora no estado do Espírito Santo é representada pelos charnockitóides Padre Paraíso, encaixados na Suíte Intrusiva Aimorés (Figura 3). Os Charnockitos Padre Paraíso são compostos por corpos de charnockito e granitóides com orto- e clinopiroxênio (granitos hiperstênio), datados do Cambro-Ordoviciano (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001). Eles ocorrem com maior frequência na região do vale do Rio Doce, entre as cidades de Governador Valadares (MG) e Colatina (ES). A Suíte Aimorés, inicialmente denominada por Silva *et al.* (1987 *apud* Pedrosa-Soares *et al.*, 2006), é constituída por biotita granito, charnockito e norito.

3.2.2 Bacia do Espírito Santo

A bacia do Espírito Santo inclui-se no conjunto de bacias cretácico-terciárias da margem passiva leste brasileira (Figura 4), originadas da ruptura do continente Gondwana a partir do final do Jurássico, com pronunciadas semelhanças estruturais e estratigráficas (Asmus *et al.*, 1971). Está situada entre os paralelos 18° e 20° de latitude sul, sendo limitada a

norte pelo paleocânion de Mucuri, com a bacia de Mucuri, e a sul, com a bacia de Campos, pelo alto de Vitória.

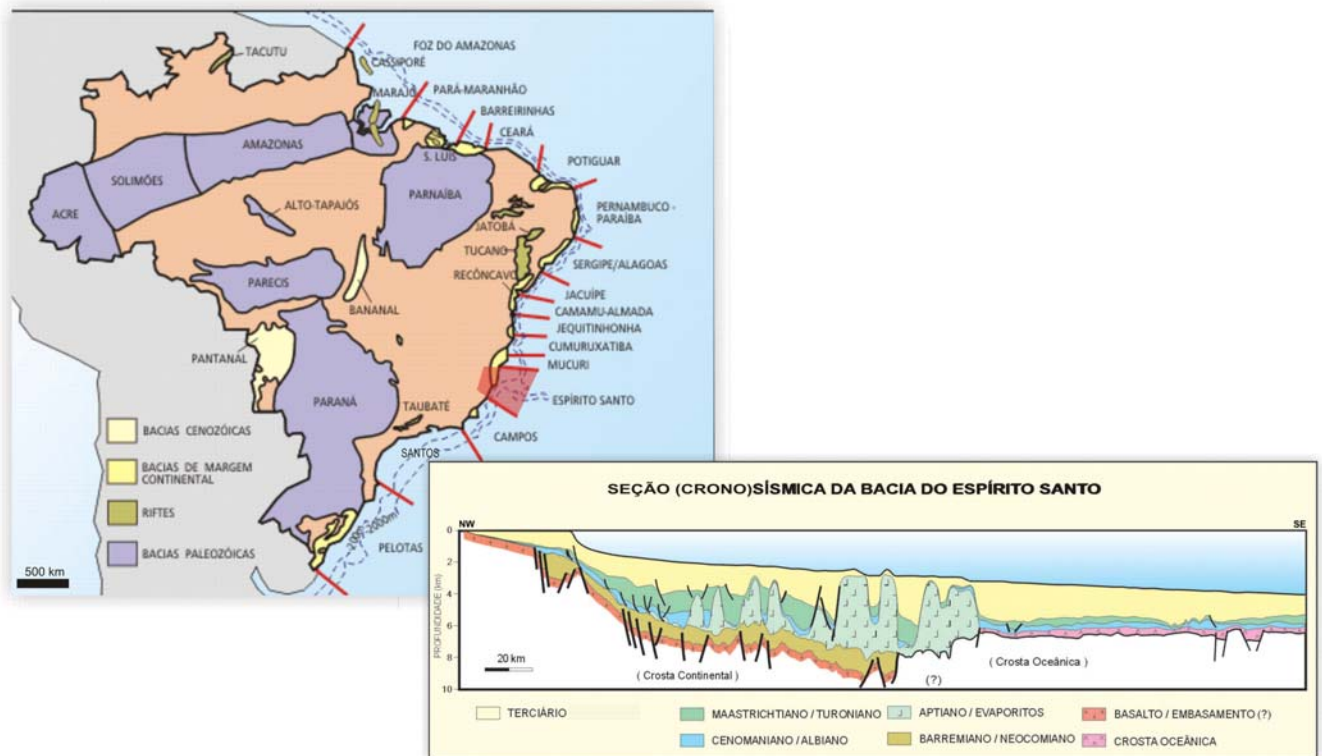


Figura 4 – a) Mapa das bacias sedimentares brasileiras, com destaque para a bacia do Espírito Santo no conjunto de bacias da margem atlântica, cuja gênese está associada à abertura do Oceano Atlântico (Souza-Lima *et al.*, 2003). b) Seção esquemática da bacia do Espírito Santo, mostrando a distribuição do arcabouço estrutural e estratigráfico. O intervalo estratigráfico da Formação Rio Doce está inserido no domínio dos depósitos terciários que ocorrem na porção terrestre e marinha da bacia (modificado de Bizzi *et al.*, 2003).

A coluna estratigráfica da bacia foi inicialmente proposta por Asmus *et al.* (1971) e sua última revisão foi apresentada por Vieira *et al.* (1994), definindo a evolução tectono-sedimentar através de três fases principais: rifte, transicional e marinha (Figura 5).

A fase rifte, de idade Neocomiano-Aptiano, é registrada pela sedimentação flúvio-lacustre e de leques aluviais correspondente à Formação Cricaré, unidade inferior do Grupo Nativo. Este intervalo é composto essencialmente por conglomerados polimíticos, arenitos, folhelhos e siltitos. A Formação Cricaré ocorre associada às rochas vulcânicas da Formação Cabiúnas, compostas por basalto toleítico, cinza-escuro, afanítico, com amígdalas preenchidas por calcita e clorita, associado à tafrogênese, datado entre 118 e 136 Ma (Vieira *et al.*, 1994).

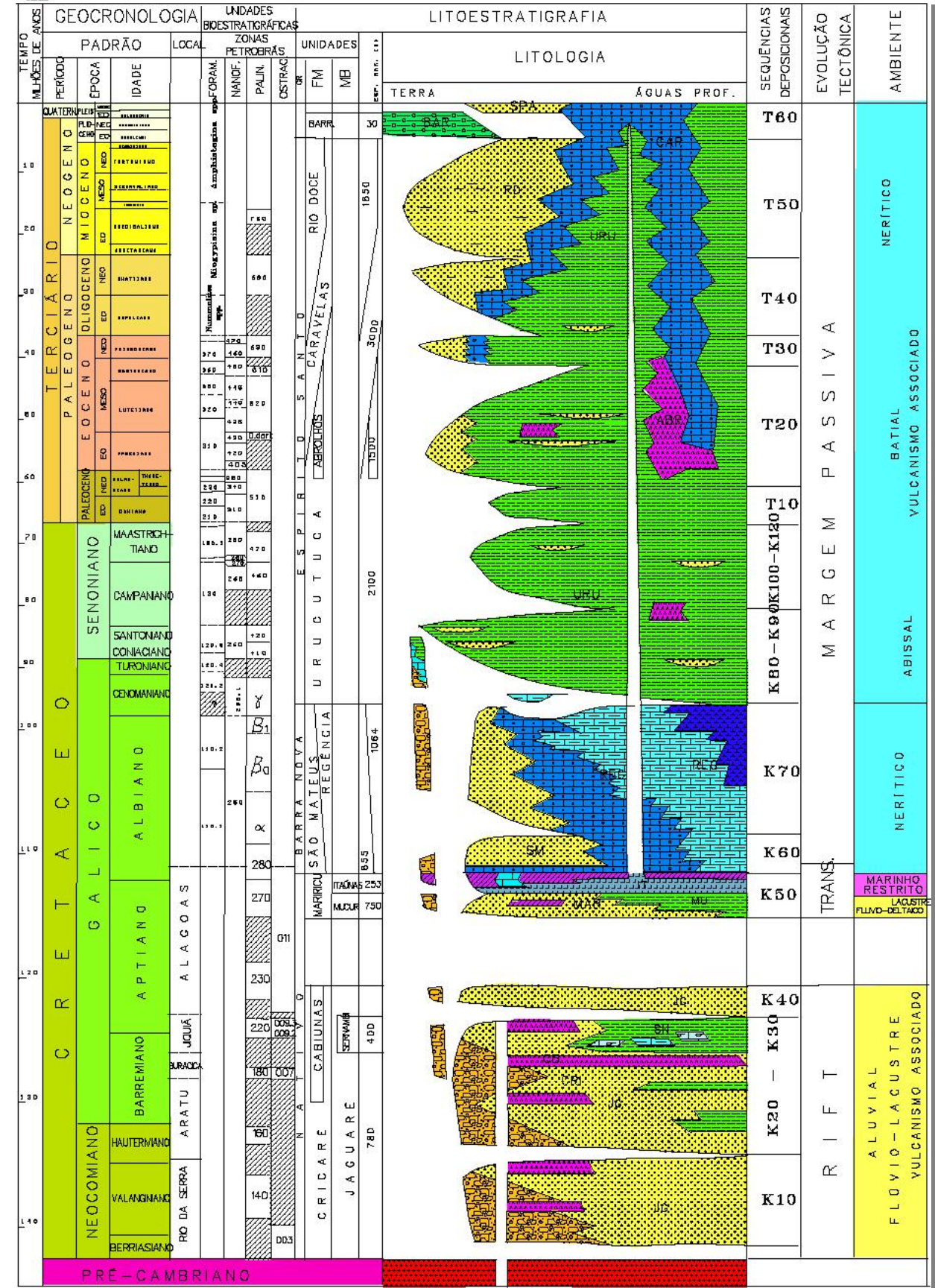


Figura 5 – Coluna estratigráfica da bacia do Espírito Santo, segundo Vieira *et al.* (1994).

A fase transicional, de idade aptiana, é representada pela Formação Mariricu, unidade superior do Grupo Nativo. É constituída, inicialmente, por arenitos arcoseanos grossos a médios, folhelhos e siltitos, depositados por sistemas fluviais entrelaçados e deltaicos, passando à sedimentação de *sabkhas* e sub-bacias restritas, caracterizada por rochas carbonáticas e evaporíticas.

A fase marinha (margem passiva), do Albiano ao Quaternário, é marcada pela sedimentação marinha em fases transgressivas e regressivas. O Grupo Barra Nova inicia esta sedimentação, com a presença de espessos pacotes de arcóseo médio a grosso, depositado em leques aluviais e costeiros, em ambiente marinho, atribuídos à Formação São Mateus. Encerra-se o grupo com espessas camadas carbonáticas de calcarenito e calcilutito de água rasa, da Formação Regência.

O Grupo Espírito Santo, a seguir, é formado por uma expressiva unidade pelítica, denominada de Formação Urucutuca, composta por folhelho intercalado com conglomerado, calcário e arenito de ambiente de talude, e a Formação Caravelas, associada à sedimentação em plataforma carbonática, constituída predominantemente por calcarenito e calcilutito. Por fim, a Formação Rio Doce (ainda no Grupo Espírito Santo) e a Formação Barreiras encerram a sedimentação da bacia, relacionando-se à sedimentação em leques aluviais e sedimentos fluviais entrelaçados.

3.2.2.1 Formação Rio Doce

Vieira *et al.* (1994) classificaram a Formação Rio Doce como constituída predominantemente por arenitos arcoseanos médios a muito grossos, intercalados por folhelhos cinza-escuros a pretos e argilitos cinza-esverdeados, atribuindo sua origem a atuação de “leques costeiros em ambiente marinho”, sendo datada do Eoceno final ao Mioceno. O contato com os folhelhos da Formação Urucutuca faz-se concordante e gradacional, e seu contato superior com a Formação Barreiras (Plioceno) é discordante.

Bandeira Jr. *et al.* (1975) consideraram uma seção encontrada na Fazenda São Pedro (33 km a oeste da cidade de São Mateus-ES) como a mais completa exposição da unidade, caracterizada pela intercalação de camadas de arenitos finos a grossos, conglomeráticos, brancos a avermelhados, altamente feldspáticos, e argilitos arenosos, esverdeados, ou mosqueados quando intemperizados (Figura 6).

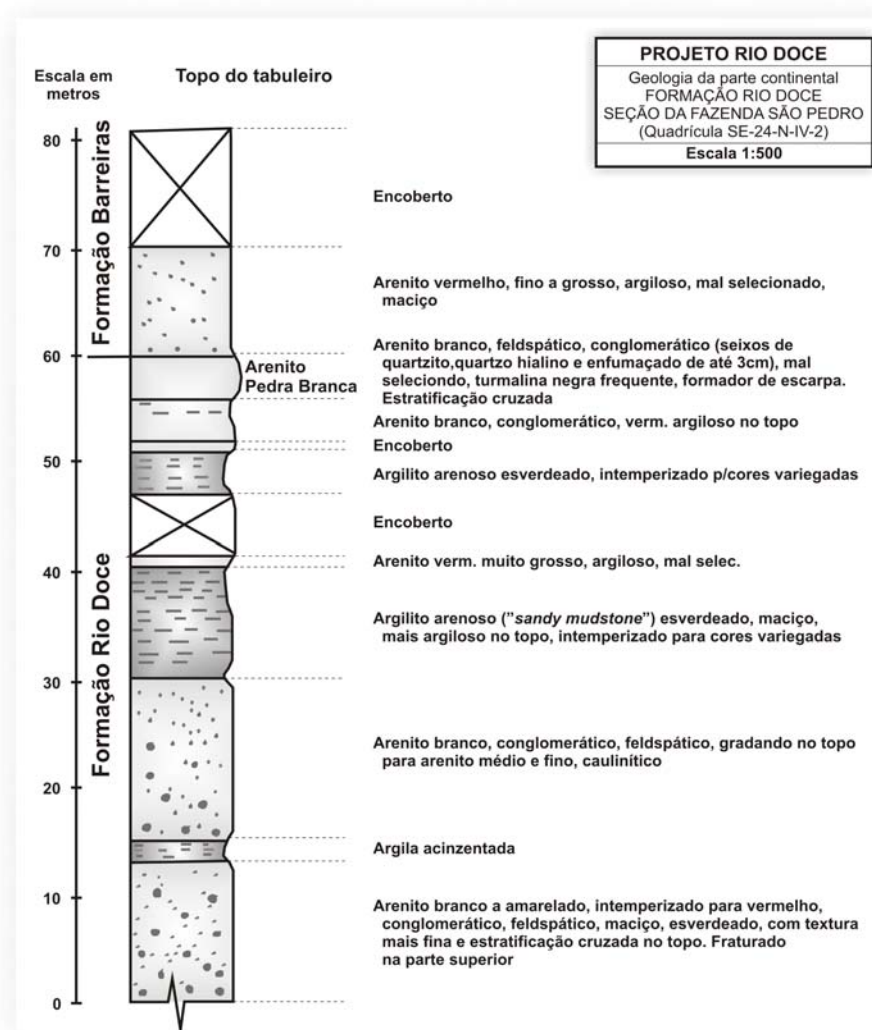


Figura 6 – Perfil litológico da seção da Fazenda São Pedro (São Mateus-ES), descrito por Bandeira Jr. *et al.* (1975), representativo da Formação Rio Doce em superfície.

Segundo Moraes (2007), a Formação Rio Doce, em superfície, é caracterizada por um conjunto de cinco litofácies: duas rudíticas (Cca e Ccm), duas areníticas (Aca e Am1), e uma lutítica (La) – Quadro 1. Estas litofácies foram reconhecidas em camadas tabulares areníticas e rudíticas, na base, intercaladas por camadas lutíticas de geometria lenticular, dispendo-se em um padrão do tipo “caixote”.

3.2.2.2 Formação Barreiras

A Formação Barreiras é mapeada, na região Sudeste do Brasil, desde o litoral norte do estado do Rio de Janeiro até o norte do estado do Espírito Santo. Associa-se a feições geomorfológicas de tabuleiros e falésias (ativas e inativas) e ocorre também mais para o interior.

Na bacia do Espírito Santo, a Formação Barreiras corresponde à unidade pliocênica de sedimentos estritamente continentais que encerram o ciclo deposicional da bacia.

Segundo Morais (2007), os depósitos da Formação Barreiras no Espírito Santo são correlacionados a três associações de fácies compostas essencialmente por pacotes areníticos e conglomeráticos, pouco litificados, intercalados com pacotes lutíticos pouco significativos. As fácies areníticas, principalmente as mais lamosas, apresentam cores avermelhadas a ocre, associadas a níveis de crostas ferruginosas. A origem dos depósitos foi relacionada a ambientes fluviais, com restrita participação de depósitos por fluxos de detritos.

Quadro 1 – Fácies sedimentares descritas por Morais (2007) para os sistemas fluviais terciários na área emersa da bacia do Espírito Santo (formações Rio Doce e Barreiras). Em destaque, as fácies reconhecidas nos depósitos da Formação Rio Doce diretamente relacionadas ao presente estudado.

| CÓDIGO | DIAGNOSE | INTERPRETAÇÃO |
|--------------|--|---|
| Cmm | conglomerado sustentado pela matriz, maciço | fluxos de detritos |
| Ccm | conglomerados sustentados pelos clastos, maciço ou com estratificação horizontal pouco definida e clastos imbricados | depósitos residuais; barras longitudinais |
| Cca | conglomerado sustentado pelos clastos, com estratificação cruzada acanalada | migração de cascalhos sob a ação de fluxos trativos unidirecionais, preenchendo canais |
| Aca | arenito com estratificação cruzada acanalada | migração de <i>megaripples</i> de crista sinuosa sob processos trativos unidirecionais, em regime de fluxo inferior |
| Acp | arenito com estratificação cruzada planar | migração de <i>megaripples</i> de crista reta sob processos trativos unidirecionais, em regime de fluxo inferior |
| Ah | arenito com estratificação horizontal | migração de formas de leito plano sob processos trativos unidirecionais, em regime de fluxo superior |
| Am1 | arenito maciço ou sem estrutura aparente | modificações pós-deposicionais (pedogênese, bioturbação, fluidização) de depósitos por fluxos trativos |
| Am2 | arenito maciço ou sem estrutura aparente, com grânulos e seixos dispersos e matriz argilosa | depósitos de fluxos gravitacionais de sedimentos (<i>debris flows</i>) |
| Amb | arenito maciço ou sem estrutura aparente, bioturbado | mesma gênese da fácies Am, com intensa atuação de organismos |
| Sargm | siltito, siltito argiloso, argilito siltico; maciço | decantação de material em suspensão em planície de inundação |
| Sargb | siltito, siltito argiloso, argilito siltico; bioturbado | mesma gênese da fácies Sargm, porém com intensa atuação de organismos |
| La | lamito argiloso, lamito arenoso; maciço | decantação de finos em planície de inundação |

3.2.3 Sedimentação Quaternária

A sedimentação quaternária na área de estudo, segundo Martin *et al.* (1997), é constituída por depósitos marinhos e lagunares e um conjunto de depósitos continentais (Figura 3).

Os depósitos marinhos estão dispostos em terraços de idade pleistocênica e holocênica. Os terraços pleistocênicos são constituídos por sedimentos arenosos superficialmente brancos,

comumente castanhos em profundidade, com estratificações cruzadas de baixo ângulo e do tipo espinha-de-peixe. Os terraços marinhos holocênicos, situados externamente em relação aos terraços pleistocênicos, são bem desenvolvidos na planície costeira da desembocadura do rio Doce, sobretudo entre as cidades de São Mateus e Linhares, em forma de cristas praias (Martin *et al.*, 1997). Depósitos lagunares holocênicos separam os terraços arenosos pleistocênicos e holocênicos. São compostos por sedimentos sílticos e/ou areno-argilosos, ricos em matéria orgânica e conchas de moluscos. Foram formados pela invasão do mar durante a última transgressão (máximo em 5.100 anos AP).

Os depósitos continentais são formados por sedimentos fluviais arenosos e argilo-arenosos, holocênicos, preenchendo paleocanais e cursos inferiores de alguns rios, como o São Mateus, entre outros, e também na desembocadura do rio Doce. Martin *et al.* (1997) classificaram como depósitos aluviais e coluviais indiferenciados aqueles encontrados nos vales acima do limite atingido pela penúltima transgressão (123.000 anos AP).

4 MÉTODOS E TÉCNICAS

Foram selecionadas, para o presente estudo, 23 (vinte e três) amostras representativas das sucessões de estratos identificados nas seções Pedro Canário I e II, Córrego Tapuio e Fazenda Japira. A amostragem foi baseada nos perfis faciográficos confeccionados por Moraes (2007) e a coleta foi realizada buscando abranger as diferentes litofácies caracterizadas, com limitações para algumas amostras mais friáveis e muito finas (relacionadas às fácies rudíticas e lutíticas, respectivamente), que não ofereceram condições necessárias, principalmente, para a confecção de lâminas petrográficas.

Foram coletadas 11 (onze) amostras das seções Pedro Canário I e II, 9 (nove) da seção Córrego Tapuio, e 3 (três) da seção Fazenda Japira (Quadro 2), e efetuadas análises sedimentológicas e petrográficas.

Quadro 2 – Relação das amostras coletadas, identificando as seções estudadas (PCI e PCII: Pedro Canário, CT: Córrego Tapuio, e FJ: Fazenda Japira), fácies sedimentares, posição das amostras nos perfis faciográficos elaborados por Moraes (2007), e análises executadas.

| | Nº das amostras | Seção | Fácies de Moraes (2007) | Altura da coleta a partir da base do perfil (cm) | Tipos de análises | | | |
|--------------------------|-----------------|-------|-------------------------|--|-------------------|---------------|-------------|--------------|
| | | | | | Granulo-métrica | Petro-gráfica | Min. Argila | Min. Pesados |
| 1 | 29 | PCI | <i>Cca</i> | 170 | X | X | | |
| 2 | 58 | PCI | <i>Aca</i> | 370 | X | X | | |
| 3 | 30 | PCI | <i>Am1</i> | 740 | X | X | | X |
| 4 | 57 | PCI | <i>Am1</i> | 430 | X | X | | X |
| 5 | 59 | PCI | <i>Am1</i> | 860 | X | X | X | |
| 6 | 60 | PCI | <i>Am1</i> | 940 | X | X | | X |
| 7 | 28 | PCI | <i>La</i> | 60 | X | X | X | |
| 8 | 42 | PCII | <i>Aca</i> | 430 | X | X | | X |
| 9 | 61 | PCII | <i>Am1</i> | 20 | X | X | X | X |
| 10 | 62 | PCII | <i>Am1</i> | 370 | X | X | X | |
| 11 | 31 | PCII | <i>La</i> | 620 | X | | | |
| 12 | 24 | CT | <i>Cca</i> | 380 | X | X | | X |
| 13 | 54 | CT | <i>Cca</i> | 780 | X | X | | |
| 14 | 53 | CT | <i>Aca</i> | 40 | X | X | | X |
| 15 | 23 | CT | <i>Am1</i> | 480 | X | X | | |
| 16 | 39 | CT | <i>Am1</i> | 710 | X | X | | X |
| 17 | 40 | CT | <i>Am1</i> | 265 | | X | | |
| 18 | 55 | CT | <i>Am1</i> | 680 | X | X | X | |
| 19 | 56 | CT | <i>Am1</i> | 640 | X | X | | |
| 20 | 25 | CT | <i>La</i> | 290 | X | X | | |
| 21 | 43 | FJ | <i>Aca</i> | 450 | X | X | X | X |
| 22 | 44 | FJ | <i>Aca</i> | 790 | X | X | | |
| 23 | 45 | FJ | <i>Aca</i> | 870 | X | X | | X |
| Total de análises | | | | | 22 | 22 | 6 | 10 |

4.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi efetuada em 22 (vinte e duas) amostras (Quadro 2) que possuíam volume necessário para a realização deste ensaio e teve como principal objetivo revelar a distribuição granulométrica e, assim, proporcionar uma melhor caracterização e classificação sedimentológica dos depósitos estudados.

Os ensaios foram efetuados no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia/UFRJ, e o procedimento foi desenvolvido em duas etapas, seguindo metodologia apresentada por Suguio (1973) e Folk (1980): i) a primeira etapa correspondeu ao tratamento dos sedimentos grossos (maiores de 0,062 mm) através de peneiramento, utilizando um conjunto de peneiras cujos intervalos de malha correspondem aos limites da escala granulométrica de Wentworth (1922): 4,00 mm (seixo) - 2,00 mm (grânulos) - 1,00 mm (areia muito grossa) - 0,50 mm (areia grossa) - 0,25 mm (areia média) - 0,125 mm (areia fina) - 0,062 mm (areia muito fina); e ii) a segunda etapa consistiu no tratamento dos sedimentos finos (menores de 0,062 mm) através do método da pipetagem.

Cada fração de sedimento peneirado ou coletado na pipetagem, correspondentes às classes granulométricas específicas, foi pesada. Posteriormente, os dados foram utilizados nos cálculos de frequência simples e acumulada, para confecção de diagramas tipo histograma e curvas de frequência acumulada, com objetivo de representar a distribuição granulométrica das amostras.

As porcentagens calculadas de cascalho (acima de 2,00 mm), areia (entre 2,00 e 0,062 mm) e lama (menores de 0,062 mm) foram plotadas em diagramas triangulares de classificação de rochas sedimentares propostos por Folk (1980).

4.2 Análise petrográfica

Foram analisadas 22 (vinte e duas) lâminas delgadas (Quadro 2). A etapa de confecção foi desenvolvida no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia/UFRJ e, posteriormente, as lâminas foram observadas por meio de microscópios de luz transmitida das marcas Olympus modelo BX-41 (nos laboratórios de Petrografia e de Fluorescência de Raios-X e Difração de Raios-X, do Departamento de Geologia/UFRJ) e *Carl ZEISS* modelo AXIOPLAN 2 *Imaging* (do Laboratório de Bioestratigrafia, Paleoecologia e Paleoclima, do Departamento de Geologia/UFRJ), este dotado de câmera para captura de imagens digitais.

Para a confecção das lâminas delgadas, foi aplicada a técnica de impregnação com resina líquida com catalizador e corante de cor azul, para auxiliar na identificação dos espaços porosos.

Os parâmetros petrográficos analisados foram: composição textural, composição mineralógica e porosidade, com base nas nomenclaturas e tabelas disponíveis na literatura.

A identificação das classes granulométricas em seções delgadas foi efetuada através do reconhecimento visual das dimensões dos grãos, com base nos limites de Wentworth (1922): 4,00 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; 0,50 mm; 0,25 mm; 0,125 mm; 0,062 mm; e abaixo de 0,062 mm (classificado como matriz).

A determinação dos demais aspectos texturais foi efetuada com base na estimativa por comparação com as tabelas de Beard & Weyl (1973), para seleção e de Krumbein & Sloss (1963), para o grau de arredondamento e esfericidade.

Análises quantitativas foram efetuadas para os exames dos componentes detríticos (mineralogia) e texturais (matriz, cimento e poros), através da técnica de contagem de pontos (300 pontos), segundo metodologia de Gazzi-Dickinson (Zuffa, 1984). Os componentes detríticos discriminados foram: quartzo monocristalino e policristalino, com suas variações (quartzo ondulante, quartzo com dois ou três grãos, e quartzo com mais de três grãos), K-feldspato, plagioclásio, fragmentos de rochas e minerais secundários. Já os componentes texturais discriminados foram: matriz, cimento, porosidade (intragranular em feldspato, por fratura, intra-matriz e intergranular móldica).

Posteriormente, os valores obtidos com a contagem de pontos foram recalculados para percentuais e aqueles relacionados à composição mineralógica (quartzo:feldspato:fragmentos de rocha) foram plotados no diagrama triangular de classificação de rochas sedimentares, segundo Folk (1980). Com relação à composição mineralógica, a identificação e a quantificação de grãos de quartzo foram utilizadas na indicação de proveniência, com base no diagrama triangular de Basu *et al.* (1975). Este diagrama propõe para a identificação mineralógica a distinção entre quartzo mono- e policristalino, e quartzo com extinção ondulante. Segundo Basu *et al.* (1975), rochas com mais de 54% de quartzo com extinção ondulante sugerem fontes de baixo grau metamórfico; entre 23% a 54%, fontes de grau metamórfico médio e alta, e abaixo de 23% de quartzo com extinção ondulante, são típicos de rochas plutônicas. Estas informações foram projetadas no diagrama triangular, com base na relação quartzo policristalino total (entre dois e três grãos)/quartzo não ondulante/quartzo ondulante.

A caracterização da porosidade foi baseada nos aspectos genéticos (primária – originada na fase final da deposição e secundária – originada após a deposição) e textural dos poros (grãos parcialmente dissolvidos, bordas de grãos corroídas, grãos fraturados, poros intramatriz, poros agigantados e/ou alongados, empacotamento heterogêneo e encolhimento da matriz), segundo Schmidt & McDonald (1979) e Shanmugam (1984).

A determinação da matriz e cimento foi baseada nos critérios de classificação de Dickinson (1970) e Moraes *et al.* (1988). Os diferentes tipos de matriz e suas principais características são: protomatriz – matriz original/sindeposicional; ortomatriz – resultado da recristalização da matriz original, sendo ainda possível reconhecer a textura clástica relícta; epimatriz – resultado da alteração diagenética de grãos do arcabouço com infiltração e preenchimento dos poros por material argiloso; pseudomatriz – grãos deformados e esmagados (fragmentos líticos pelíticos) entre os grãos mais competentes (como quartzo). Quanto ao cimento, deve-se destacar o de composição filossilicática (composição monomineralógica restrita, suturas no material intersticial e cores de interferência (à semelhança dos tectossilicatos) e que, segundo Dickinson (1970), pode ser confundido com a matriz; além do cimento composto por precipitados químicos como, por exemplo, sílica e óxidos/hidróxidos de ferro.

4.3 Mineralogia das argilas

Para a análise de mineralogia das argilas, foram selecionadas amostras contendo pelo menos um exemplar de cada seção estudada (Quadro 2), que apresentassem porcentagem da classe argila (< 0,004mm) acima de 15%, nas análises granulométricas e na porcentagem de material intersticial das análises em lâmina delgada. Foi enfatizada a análise dos arenitos maciços, buscando obter dados que auxiliassem nas discussões sobre a gênese destes depósitos. Para esta etapa, só foi possível finalizar as análises em 6 (seis) do total de amostras que apresentaram elevados índices de argila, devido a problemas nos equipamentos necessários para este procedimento.

Foi utilizado o método da difração de raios-X, sendo a preparação das amostras e confecção das lâminas para as análises desenvolvidas no Laboratório de Raios-X do Departamento de Geologia/UFRJ. As lâminas foram analisadas no difratômetro de raios-X da marca Rigaku Geigerflex, no mesmo laboratório.

O procedimento de preparação das amostras consistiu da separação da fração fina (menor que 0,062 mm) segundo metodologia já descrita anteriormente na análise

granulométrica (item 4.1). Após a separação do material, este foi tratado com ácido clorídrico, segundo metodologia de Jackson (1975), e posteriormente a fração argilosa ($< 0,004\text{mm}$) foi separada por meio de centrifugação. Uma pequena fração do material obtido foi espalhada como uma fina película sobre uma lâmina de vidro e, após secagem, foi levada para leitura no difratômetro de raios-X.

A identificação dos argilominerais foi feita através da leitura dos diferentes picos registrados nos gráficos emitidos pelo difratômetro, por comparação com tabelas disponíveis em Thorez (1975) e Santos (1975).

Devido a impossibilidades operacionais, só foi possível nesta etapa efetuar leituras com lâminas em condições normais (leitura após secagem e sem tratamento). Com isto, as demais leituras, em lâmina tratada com etileno-glicol e lâmina aquecida em mufla, não puderam ser concluídas. Contudo, a técnica empregada forneceu dados favoráveis às discussões propostas para este estudo.

4.4 Mineralogia de pesados

No intuito de contribuir para as discussões sobre a proveniência dos sedimentos, o levantamento de assembléias mineralógicas por meio da observação de minerais pesados foi integrado às análises petrográficas.

Para a análise de minerais pesados, foram selecionadas 10 (dez) amostras, sendo 5 (cinco) das seções Pedro Canário I e II, 3 (três) da seção Córrego Tapuio, e 2 (duas) da seção Fazenda Japira (Quadro 2). Foi utilizada a fração areia fina, por apresentar elevado índice de peso e devido à facilidade de visualização dos minerais e de suas propriedades nessa fração granulométrica.

Para o procedimento de separação, foi utilizado o líquido denso bromofórmio (densidade 2,89). Após esta etapa, os minerais pesados foram submetidos à separação magnética com auxílio de imã de mão, para a retirada dos minerais que possuíam propriedades paramagnéticas. Devido ao pouco volume de material, optou-se por não submeter as amostras ao separador magnético isodinâmico Frantz, recomendado para auxiliar na identificação de minerais com diferentes graus de susceptibilidade magnética, segundo metodologia de Parfenoff *et al.* (1970) e Pereira *et al.* (2005).

As diferentes frações obtidas (minerais pesados magnéticos e minerais pesados não magnéticos) foram estudadas com auxílio de lupa binocular da marca Zeiss Germany STEMI SV 11 lupa PLAN S 1,0x, da Sala de Microscopia do Departamento de Geologia/UFRJ,

através do reconhecimento das seguintes características mineralógicas: cor, brilho, forma cristalina, clivagem e fratura. A identificação dos minerais foi confirmada com base em manuais de mineralogia (Dana, 1984; Parfenoff *et al.*, 1970 e Pereira *et al.*, 2005).

Após a identificação dos minerais, foi estimada visualmente a participação daqueles principais, com base em diagramas de estimativas disponíveis na literatura (Pereira *et al.*, 2005). A metodologia mais apurada de estudo de minerais pesados não foi aplicada devido à uniformidade mineralógica das amostras e por não ser o foco principal do estudo realizado.

5 RESULTADOS

Os resultados advindos das análises efetuadas (granulometria, petrografia, minerais pesados e mineralogia de argilas) são apresentados a seguir, sendo enfatizadas as interpretações sobre a evolução diagenética dos sedimentos e a sua proveniência.

5.1 Características Petrográficas

Nas seções estudadas, as litofácies areníticas predominam em relação às rudíticas e lutíticas. Em geral, mesmo os depósitos rudíticos e lutíticos apresentam elevada participação de frações arenosas. Os dados apresentados a seguir, para cada seção, foram extraídos da tabela de dados petrográficos de cada amostra analisada (Apêndice A). Através da observação destes dados, foi identificada, em geral, importante distinção entre as litofácies que apresentam estrutura sedimentar (litofácies Aca e Cca) e as litofácies sem estrutura (litofácies Am1 e La). Desta maneira, os resultados serão descritos enfocando estas diferenças e os dados corresponderão a uma aproximação média dos valores apresentados nas tabelas para cada um destes pares de litofácies, a fim de facilitar as discussões adiante.

As litofácies areníticas e rudíticas foram classificadas, de modo geral, como arcóseos e subarcóseos, lamosos a conglomeráticos; quando maciças (litofácies Am1), também se classificam como quartzarenitos lamosos a ligeiramente conglomeráticos. A grande dificuldade na etapa de classificação deveu-se ao fato de as amostras apresentarem composições mineralógicas e texturais distintas daquela do estágio deposicional, devido a modificações químicas e mecânicas. Um dos grandes problemas da alteração ocorre com os grãos de feldspato. O processo de caolinização do feldspato para argila autigênica é muito comum (McBride, 1984), e resulta na redução do índice de feldspato junto a superestimação da matriz, distorcendo assim a classificação das rochas e a interpretação da proveniência (Helmold, 1984). Segundo estes autores, nos estudos petrográficos é necessário inferir uma reconstituição da composição deposicional com base nas análises efetuadas nas rochas. Com isto, após a quantificação dos componentes mineralógicos e a classificação das rochas com base nestes componentes, foram discutidas ao longo dos resultados deste estudo as propostas de reconstituição da composição deposicional.

Quanto à matriz, presente em valores pouco significativos nas amostras areníticas e rudíticas, foram reconhecidas características que indicam sua origem secundária, de tipo

pseudomatriz e epimatriz, todas tipicamente compostas por argilas intersticiais de origem pós-deposicional e diagenética.

Quanto ao cimento, foi caracterizada a ocorrência significativa de cimento filossilicático, composto predominantemente por caulinita autigênica, conforme indicado nos difratogramas de raios-X, que ocorre preenchendo quase que totalmente os poros (*pore filling*). As litofácies maciças apresentam, em geral, maiores índices deste tipo de cimento em relação às litofácies com estratificação cruzada. Ocorrem também precipitados de óxidos/hidróxidos de ferro na forma de nódulos e microagregados dentro dos interstícios, ou impregnando o material intersticial e revestindo cavidades.

A porosidade foi classificada como do tipo secundária, diretamente relacionada ao contexto pós-deposicional. Foram identificadas duas categorias de poros secundários: intragranulares e intergranulares. Os poros intragranulares podem ser dos tipos: intragranular no feldspato (gerado principalmente pela dissolução do grão) e fraturamento dos grãos. Os poros intergranulares, do tipo intra-matriz, são representados, principalmente, pelas estruturas de encolhimento do material intersticial e, secundariamente, por moldes de grãos, quando da perda do grão por desagregação ou dissolução completa do grão.

5.1.1 Seções Pedro Canário I e II

Nas duas seções analisadas na localidade Pedro Canário (Figuras 7 e 8), destaca-se a pouca presença das litofácies lutítica e rudíticas em relação às areníticas, com maior representatividade da litofácies Am1.

As amostras da litofácies Am1 são classificadas como arenitos lamosos, podendo ser ligeiramente conglomeráticos. Com relação à composição mineralógica, são em geral quartzosas, classificando-se como quartzarenito (Figuras 9 e 10, apêndice A).

As amostras das litofácies Aca e Cca foram classificadas como arenitos conglomeráticos lamosos. São predominantemente subarcóseo (Figuras 9 e 10, apêndice A).

As amostras da fácies La classificam-se, com base nas análises granulométricas, como lamitos arenosos a ligeiramente conglomeráticos. Apenas a amostra 28 foi analisada em lâmina delgada, sendo classificada como subarcóseos (Figuras 9 e 10, apêndice A). Estas classificações conflitantes devem-se às diferentes técnicas empregadas.

Os grãos detríticos presentes nas rochas destas seções, quando observados ao microscópio, têm comumente circularidade moderada, são subangulosos a subarredondados, com seleção moderada a baixa (Estampa A). Os contatos dos grãos são do tipo tangencial e

pontual (Estampa A), em resposta à baixa compactação e à presença de material intersticial isolando os clastos. Quanto à maturidade textural, as amostras analisadas são geralmente submaturas, e a maturidade mineralógica com relação à razão quartzo/feldspato é alta (Apêndice A).

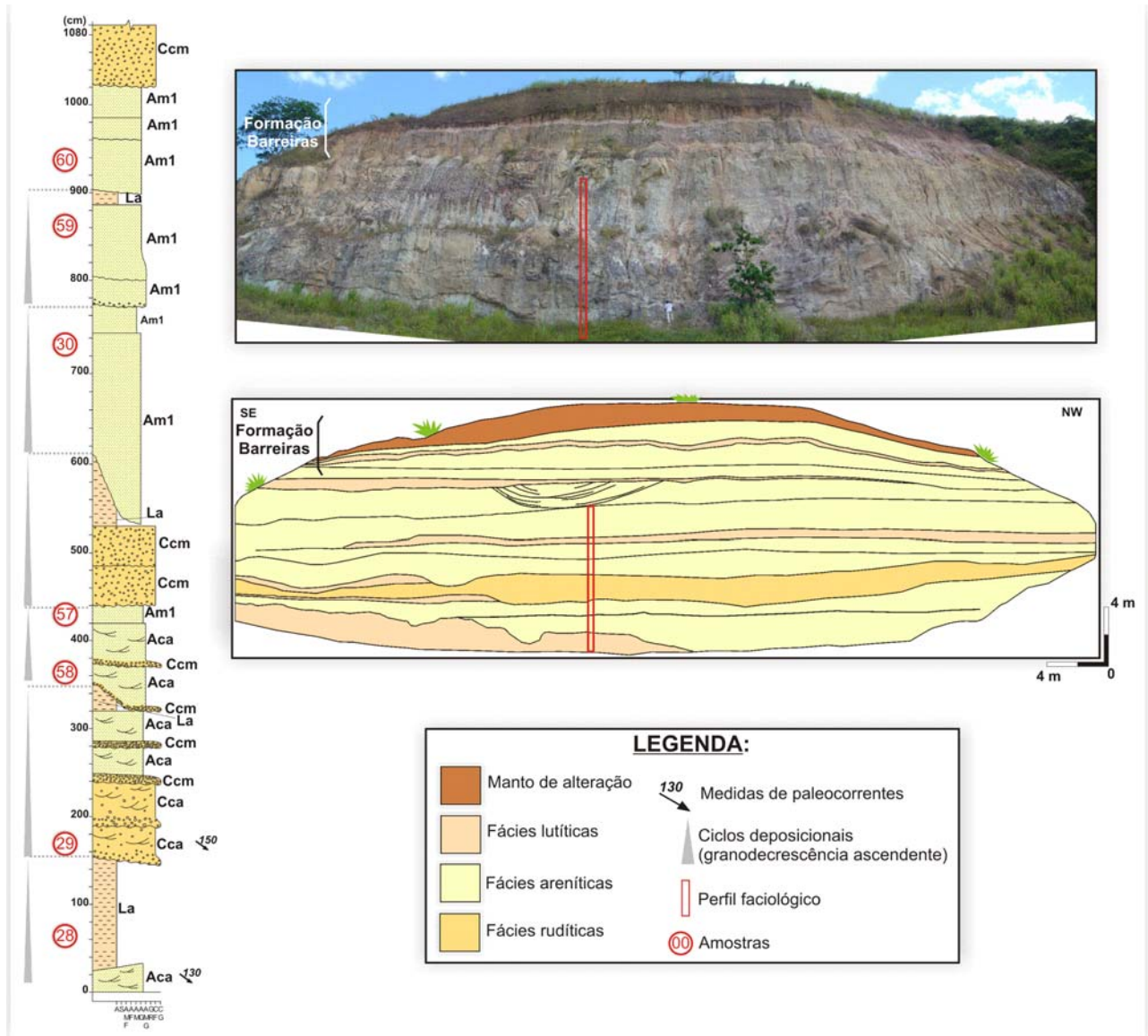


Figura 7 – Seção Pedro Canário I: fotomosaico, reconstituição estratigráfica e perfil faciológico (modificado de Moraes, 2007).

Os grãos de feldspato estão em moderado estágio de alteração (Estampa A) e sua alteração está associada à geração da porosidade secundária do tipo intragranular.

As amostras são compostas por reduzida quantidade de fragmentos de rocha, em geral constituídos de intraclastos de argila, e minerais secundários (zircão, mica e minerais opacos)- Apêndice A. Entre os minerais acessórios, foram identificados somente para a litofácies Am1

(amostras 30, 57 e 60), em lupa binocular: magnetita, ilmenita, turmalina, leucoxênio, monazita, zircão, sillimanita, muscovita, espessartita e estauroлита (Figura 11). Turmalina e zircão também foram descritos em lâmina delgada.

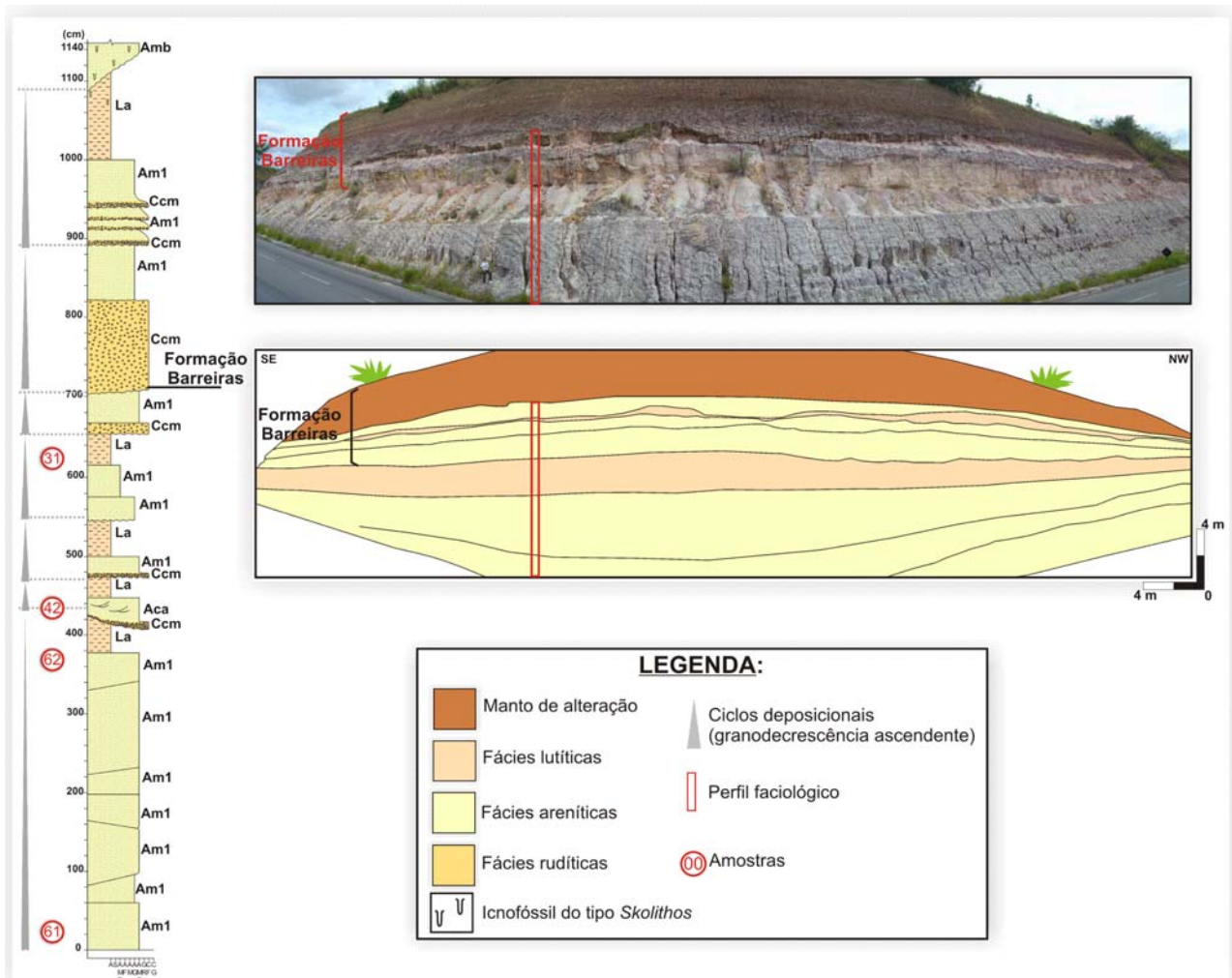


Figura 8 – Seção Pedro Canário II: fotomosaico, reconstituição estratigráfica e perfil faciológico (modificado de Morais, 2007).

As litofácies apresentam, em geral, baixas porcentagens de matriz (Apêndice A) reconhecidas em lâmina delgada por intraclastos compactados entre os grãos do arcabouço, (pseudomatriz) e decorrente da decomposição de grãos de feldspato alterados (epimatriz) - Estampa A. Contudo, as amostras possuem elevados índices de cimento filossilicático, de composição predominantemente caulínica, sendo identificadas quantidades subordinadas de ilita, conforme apresentado nos difratogramas (Figuras 9 e 10). Nas análises em lâmina delgada, pode-se observar cor de interferência semelhante a de tectossilicatos, característica de recristalização (Estampa A). Já os precipitados de óxidos/hidróxidos de ferro, ocorrem

como nódulos e micro-agregados obstruindo os poros intra-matriz, e como revestimento das bordas destes poros, e também preenchendo os poros intragranulares dos feldspatos.

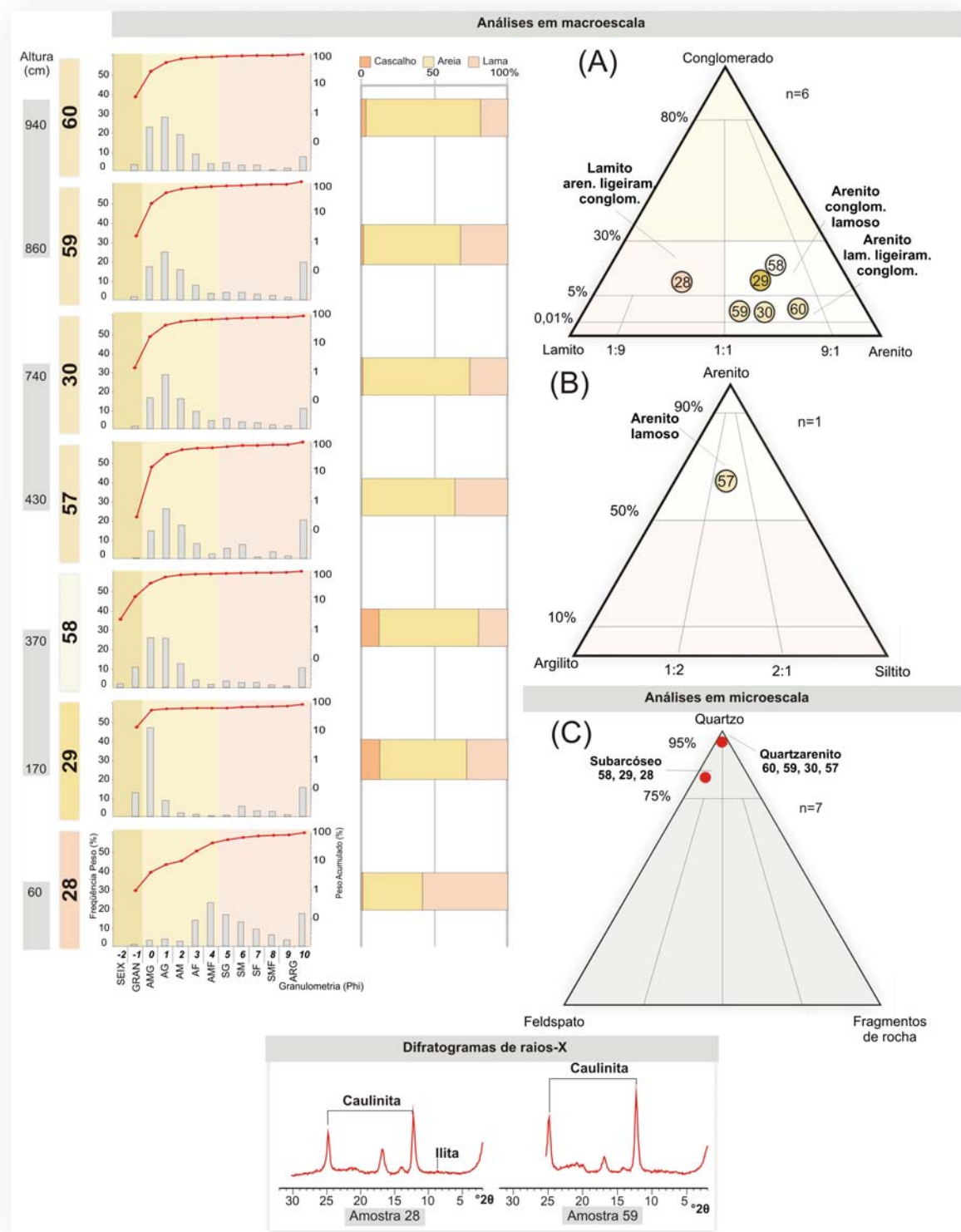


Figura 9 – Dados petrográficos da seção Pedro Canário I: histogramas e curvas de freqüência acumulada; diagramas de barras da relação cascalho:areia:lama; diagramas triangulares de classificação de rochas sedimentares com cascalho (A), sem cascalho (B), e da composição mineralógica (C), segundo Folk (1980); difratogramas de raios-X das análises da mineralogia das argilas.

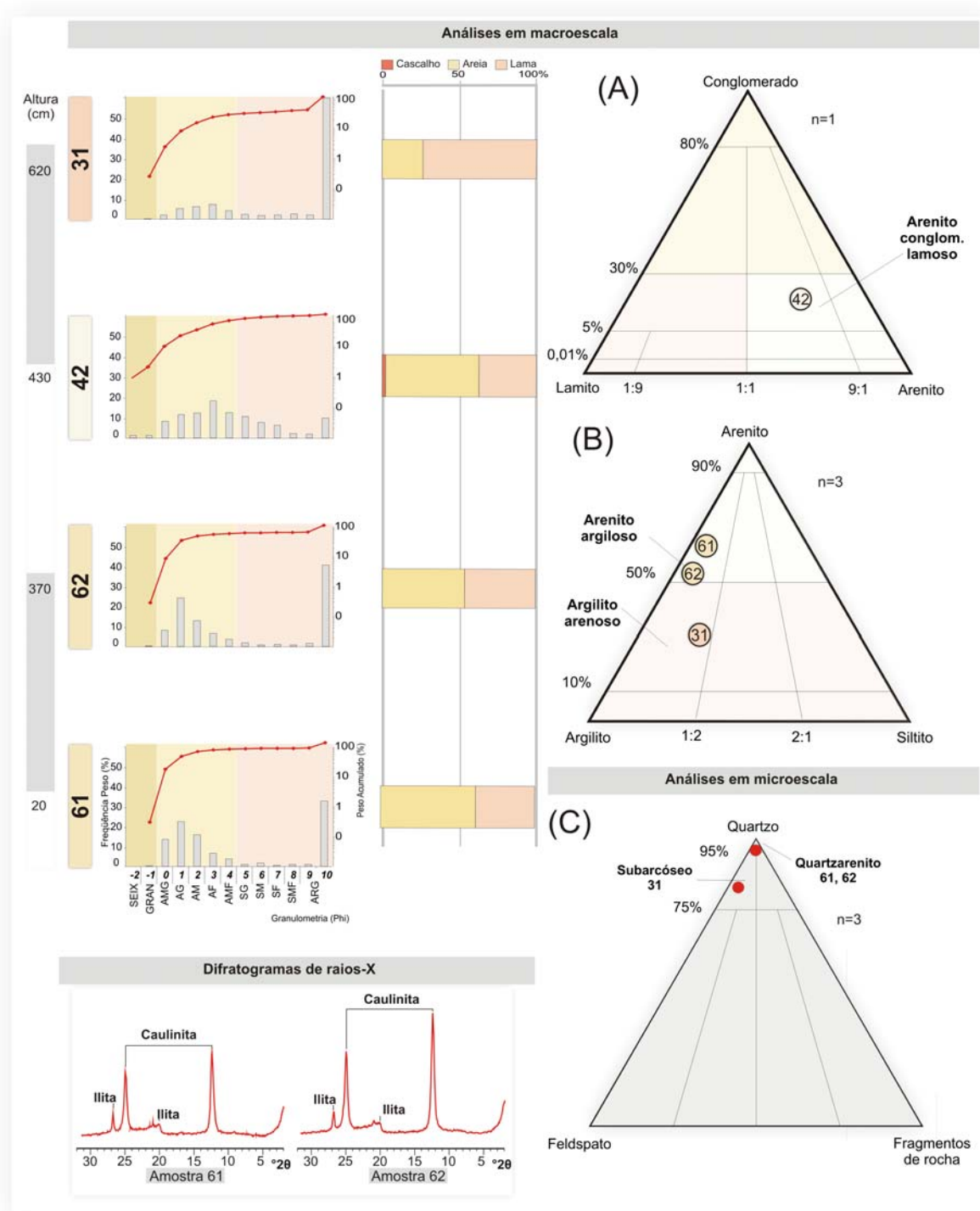


Figura 10 – Dados petrográficos da seção Pedro Canário II: histogramas e curvas de frequência acumulada; diagramas de barras da relação cascalho:areia:lama; diagramas triangulares de classificação de rochas sedimentares com cascalho (A), sem cascalho (B), e da composição mineralógica (C), segundo Folk (1980); difratogramas de raios-X das análises da mineralogia das argilas.

Quanto à porosidade, as litofácies Aca e Cca apresentam maiores porcentagens com relação à do tipo intragranular no feldspato, enquanto que as litofácies Am1 e La apresentam predomínio de porosidades do tipo intra-matriz (Estampa A, apêndice A).

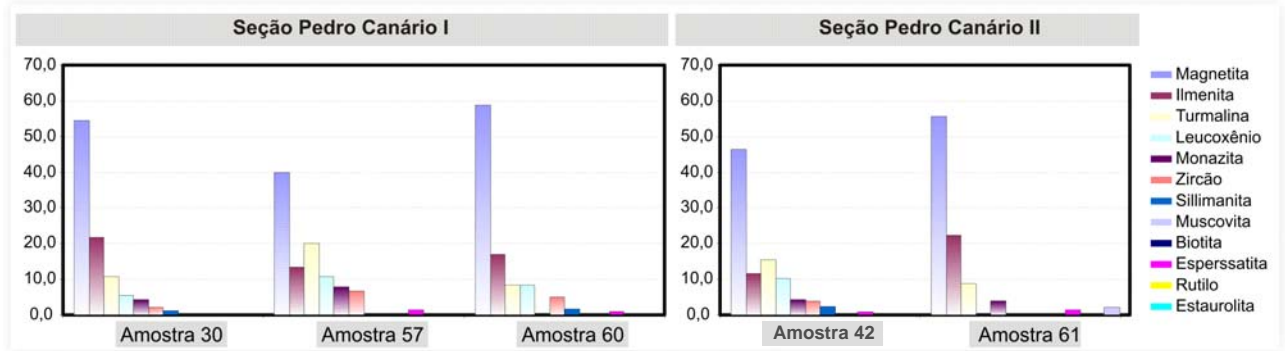


Figura 11 – Diagramas de barras da porcentagem de minerais pesados identificados em amostras das seções Pedro Canário.

5.1.2 Seção Córrego Tapuio

A seção Córrego Tapuio (Figura 12) exibe padrão sedimentológico muito semelhante às seções analisadas na localidade Pedro Canário, com predominância das litofácies areníticas especialmente da litofácies Am1. No entanto, a litofácies rudítica está mais presente nesta seção, enquanto a participação da litofácies La é igualmente inexpressiva.

As litofácies areníticas correspondem a arenitos lamosos e arenitos lamosos ligeiramente conglomeráticos. Os depósitos rudíticos foram classificados como arenitos conglomeráticos lamosos. A litofácies lutítica, de acordo com as análises granulométrica, foi classificada como argilito arenoso (Figura 13, apêndice A). Nas análises em lâmina delgada, as litofácies foram classificadas como arcóseos e subarcóseos (Figura 13, apêndice A).

ESTAMPA A

Fotomicrografia 01 - Amostra nº 30, seção Pedro Canário I: grãos detríticos com circularidade moderada, subangulosos – subarredondados, seleção moderada a baixa, bordas corroídas e composição quartzosa. Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 4x, 200µm.

Fotomicrografia 02 - Amostra nº 60, seção Pedro Canário I: contatos pontuais entre os grãos de quartzo (indicados pelas setas vermelhas). Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 4x, 200µm.

Fotomicrografia 03 - Amostra nº 30, seção Pedro Canário I, grão de feldspato (F) alterado. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 100µm.

Fotomicrografia 04 - Amostra nº 29, seção Pedro Canário I, grãos de feldspato (F) quase totalmente alterados, dando origem ao cimento filossilicático. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 100µm.

Fotomicrografia 05 - Amostra nº 30, seção Pedro Canário I, intraclastos de argila compactados (setas vermelhas) - matriz. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 200µm.

Fotomicrografia 06 - Amostra nº 29, seção Pedro Canário I, intraclasto de argila compactado (setas vermelhas) - matriz. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 200µm.

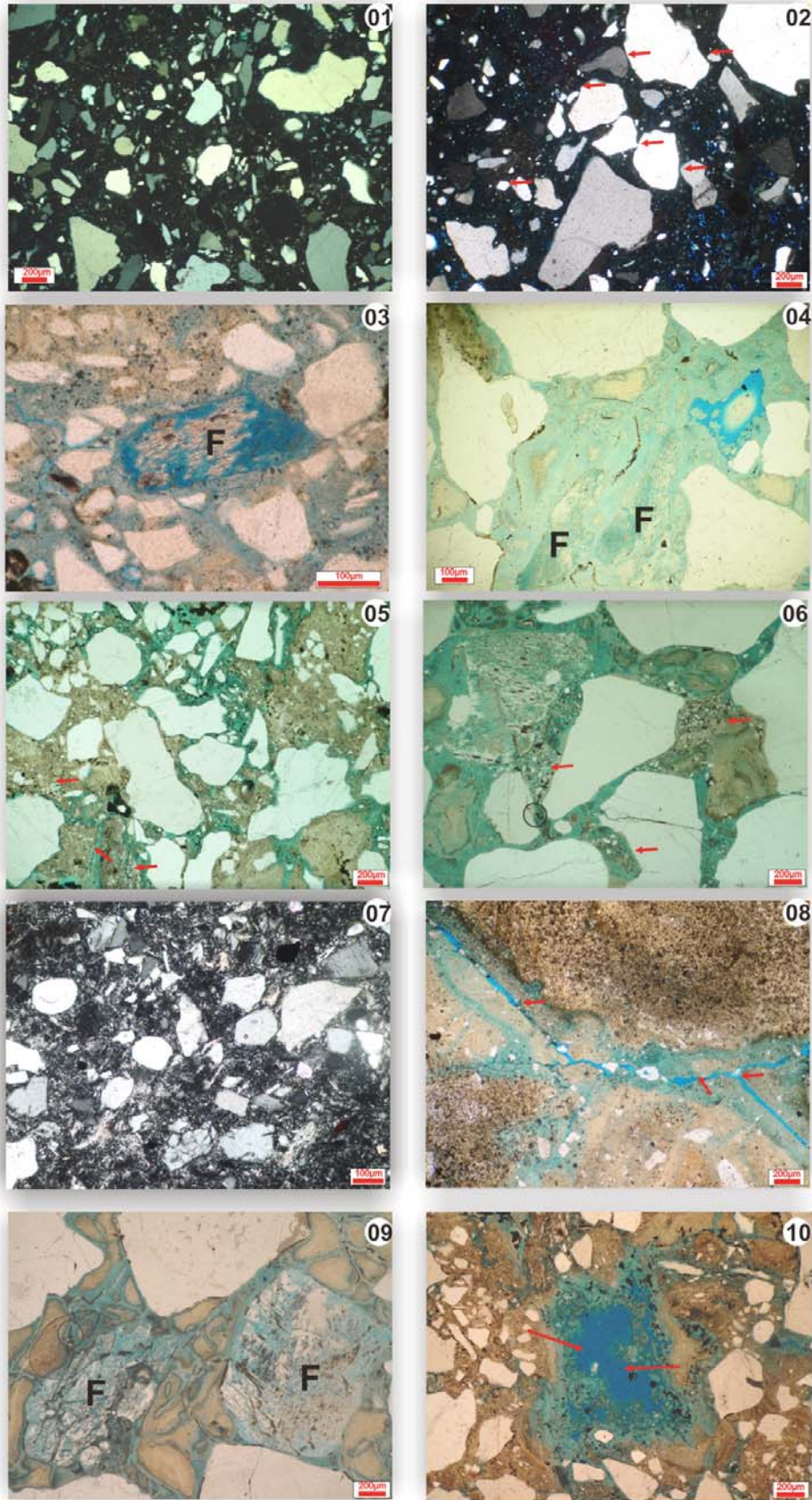
Fotomicrografia 07 - Amostra nº 42, seção Pedro Canário II, cor de interferência do cimento filossilicático, à semelhança dos tectossilicatos. Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 4x, 100µm.

Fotomicrografia 08 - Amostra nº 30, seção Pedro Canário I, porosidade intra-matriz (setas vermelhas). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 200µm.

Fotomicrografia 09 - Amostra nº 29, seção Pedro Canário I, intergranular no feldspato (F). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 200µm.

Fotomicrografia 10 - Amostra nº 57, seção Pedro Canário I, detalhe da porosidade intra-matriz por encolhimento (setas vermelhas). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 200µm.

ESTAMPA A



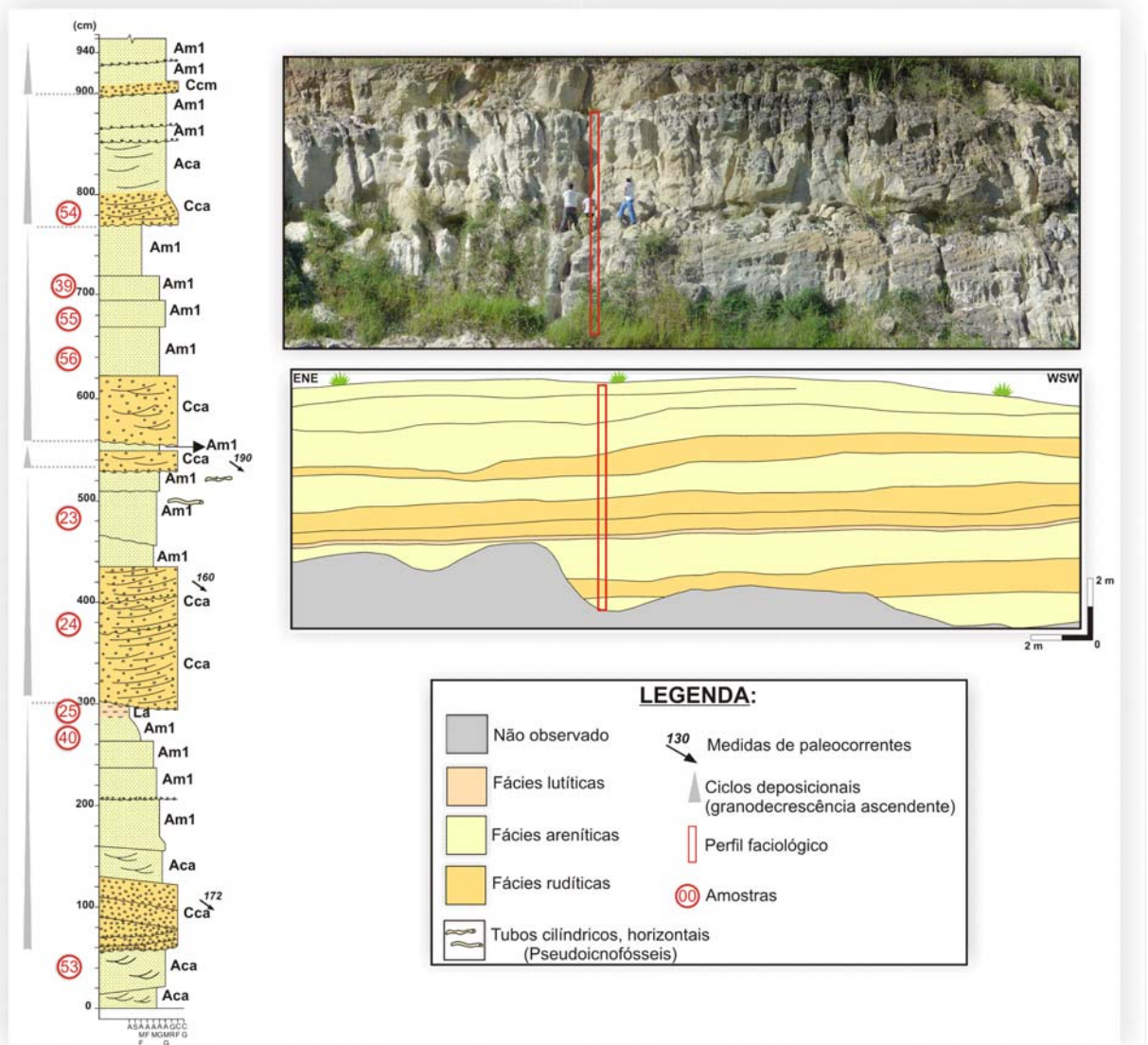


Figura 12 – Seção Córrego Tapuio: fotomosaico, reconstituição estratigráfica e perfil faciológico (modificado de Morais, 2007).

Os clastos possuem circularidade moderada, são subangulosos a subarredondados, e pobremente selecionados (Estampa B), com exceção para o intervalo que abrange as amostras 39, 55 e 56 que apresentam grãos com circularidade e seleção mais elevadas. Em geral, são submaturados e apresentam moderada a alta razão quartzo/feldspato (Apêndice A).

As características mineralógicas das amostras desta seção são semelhantes às observadas e discutidas para as seções na localidade Pedro Canário, como também a relação dos minerais acessórios: magnetita, ilmenita, turmalina, leucóxênio, monazita, zircão, sillimanita, biotita, espessartita, rutilo e estauroлита (Figura 14). Turmalina e zircão também foram observados em lâmina delgada.

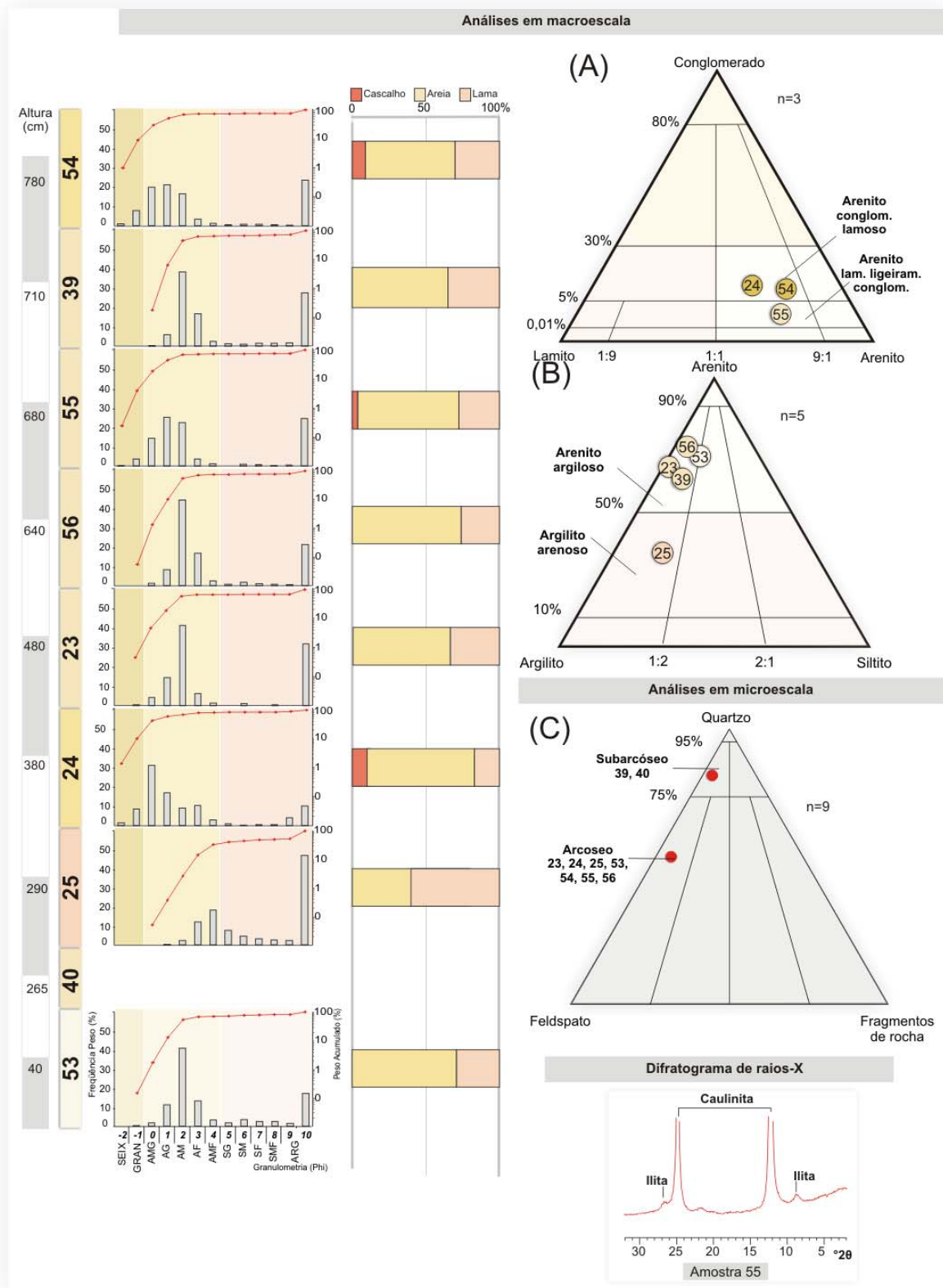


Figura 13 – Dados petrográficos da seção Córrego Tapuio: histogramas e curvas de frequência acumulada; diagramas de barras da relação cascalho:areia:lama; diagramas triangulares de classificação de rochas sedimentares com cascalho (A), sem cascalho (B), e da composição mineralógica (C), segundo Folk (1980); difratogramas de raios-X das análises da mineralogia das argilas.

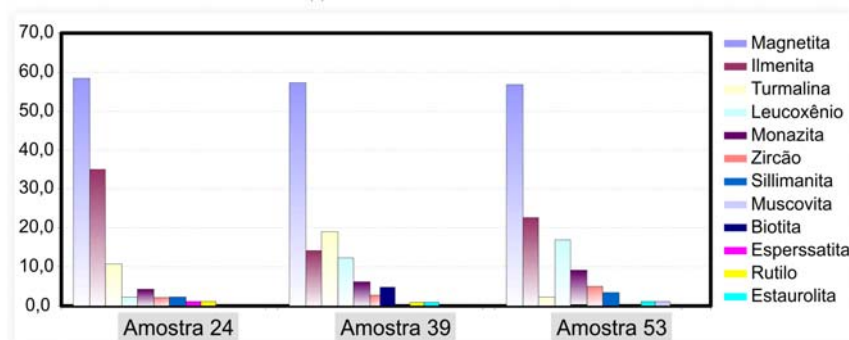


Figura 14 – Diagramas de barras da porcentagem de minerais pesados identificados em amostras da seção Córrego Tapuio.

Quanto à matriz e ao cimento filossilicático, ambos apresentam porcentagens semelhantes a da localidade de Pedro Canário, contudo com valores um pouco menores de cimento. Foram reconhecidas, em lâmina delgada, intraclastos compactados e grãos de feldspato alterados que denotam, respectivamente, a formação de pseudomatriz e epimatriz. Com relação ao cimento filossilicático, a composição é predominantemente caulínica, conforme observado nos difratogramas (Figura 13). Pode-se observar, em lâmina delgada, a presença de grãos de feldspato alterados e as cores de interferência do material intersticial, semelhantes a de tectossilicatos (Estampa B). Quanto ao cimento de óxido/hidróxidos de ferro, os valores são moderados a baixos, com exceção para a amostra 24 (litofácies Cca) cujo material intersticial está totalmente impregnado por este cimento.

A porosidade é, em geral, do tipo intragranular no feldspato, sendo este tipo de porosidade mais importante nas litofácies Aca e Cca. A porosidade do tipo intra-matriz é particularmente significativa na litofácies Am1 (Apêndice A).

5.1.3 Seção Fazenda Japira

As amostras analisadas na seção Fazenda Japira correspondem unicamente à litofácies Aca, que, ao lado da litofácies Cca, caracteriza o registro deposicional nesta localidade (Figura 15).

Correspondem a arenitos lamosos a arenitos lamosos ligeiramente conglomeráticos. São classificados como arcóseo rico em líticos e quartzarenito (Figuras 16, apêndice A).

ESTAMPA B

Fotomicrografia 01 - Amostra nº 54, seção Córrego Tapuio,: grãos detríticos com circularidade moderada, subangulosos – subarredondados, seleção baixa. Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 4x, 200µm

Fotomicrografia 02 - Amostra nº 39, seção Córrego Tapuio,: grãos detríticos com circularidade e seleção elevada. Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 4x, 200µm

Fotomicrografia 03 - Amostra nº 55, seção Córrego Tapuio: contatos pontuais (setas vermelhas) entre os grãos de quartzo. Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 4x, 200µm.

Fotomicrografia 04 - Amostra nº 55, seção Córrego Tapuio, intraclasto de argila compactado –matriz (setas vermelhas). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento 10x, 100µm.

Fotomicrografia 05- Amostra nº 55, seção Córrego Tapuio, intraclasto de argila compactado –matriz. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 200µm

Fotomicrografia 06 - Amostra nº 55, seção Córrego Tapuio, cor de interferência do cimento filossilicático, à semelhança dos tectossilicatos (setas vermelhas). Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 4x, 200µm

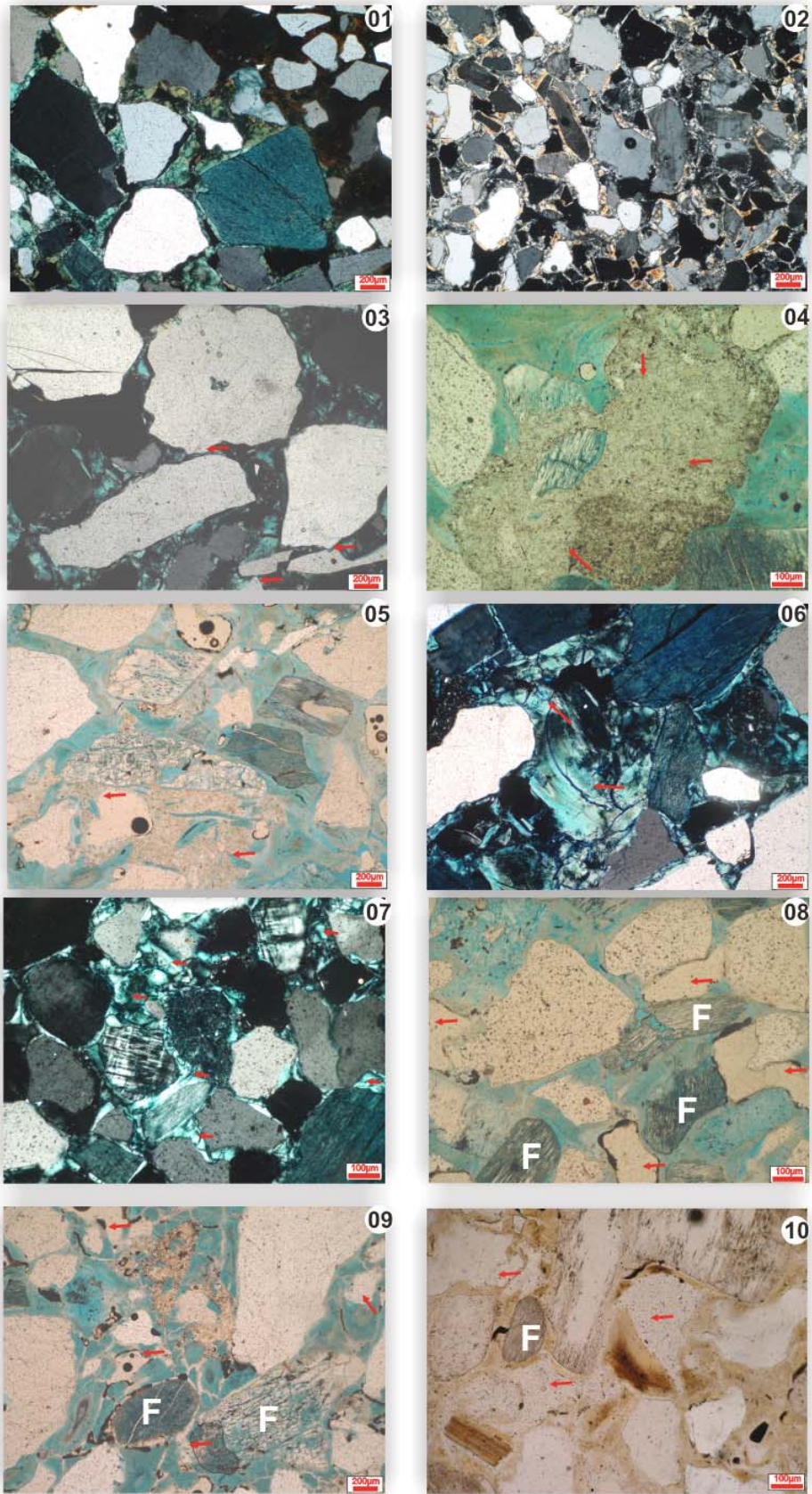
Fotomicrografia 07 - Amostra nº 56, seção Córrego Tapuio, cor de interferência do cimento filossilicático, à semelhança dos tectossilicatos (setas vermelhas). Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 4x, 100µm

Fotomicrografia 08 - Amostra nº 56, seção Córrego Tapuio, porosidade intragranular no feldspato (F) e intra-matriz (setas vermelhas). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 100µm

Fotomicrografia 09 - Amostra nº 55, seção Córrego Tapuio, porosidade intragranular no feldspato (F) e intra-matriz (setas vermelhas). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 200µm

Fotomicrografia 10 - Amostra nº 39, seção Córrego Tapuio, porosidade intragranular no feldspato (F) e intra-matriz (setas vermelhas). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 100µm

ESTAMPA B



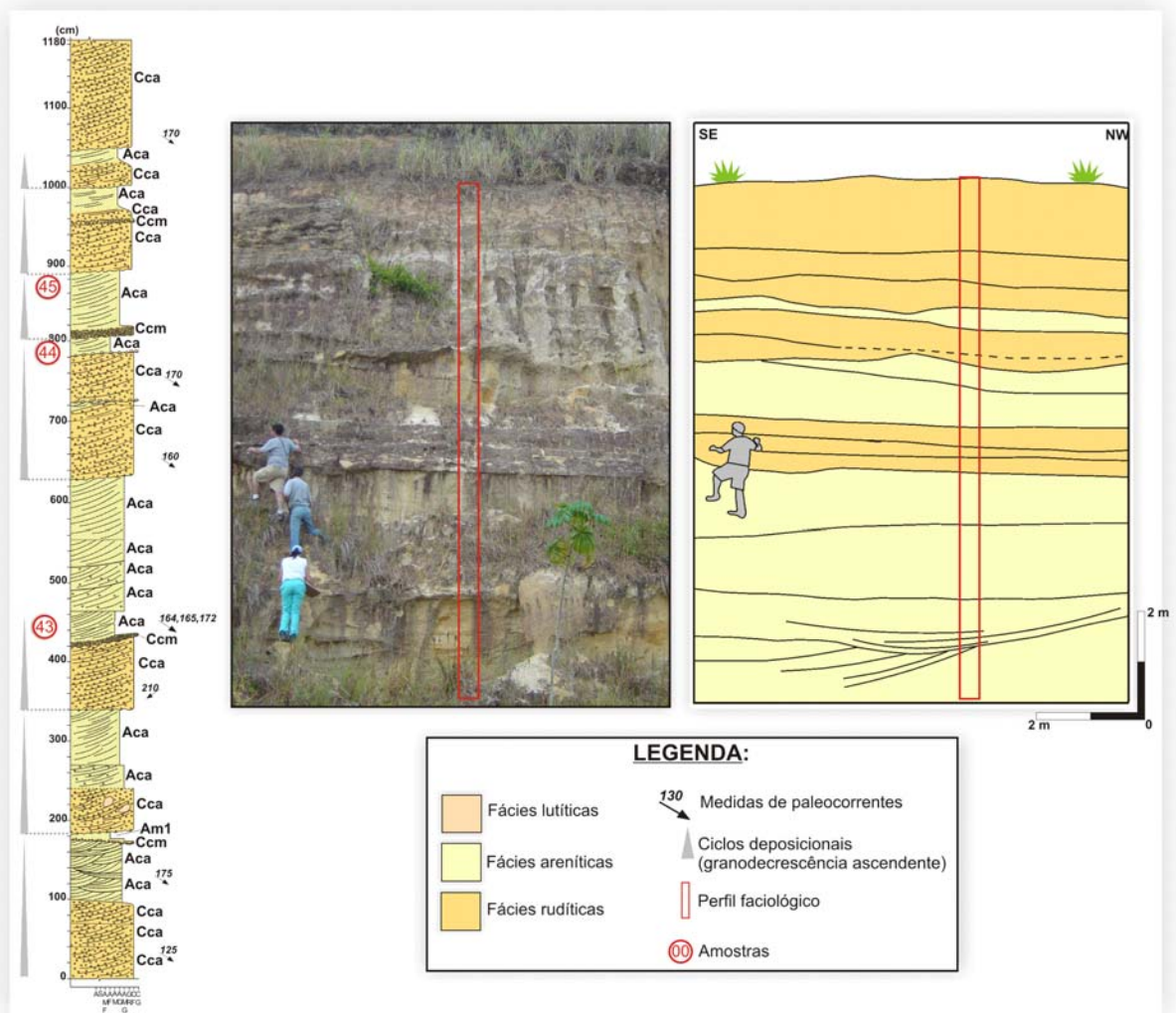


Figura 15 – Seção Fazenda Japira: fotomosaico, reconstituição estratigráfica e perfil faciológico (modificado de Morais, 2007).

Os grãos têm circularidade moderada, são subangulosos a subarredondados, e apresentam contatos pontuais incipientes. Estão pouco fraturados, principalmente os grãos de quartzo e as margens são pouco corroídas e difusas no contato com o material intersticial, o que pode ser resultado da alteração diagenética deste material (Estampa C). A seleção é moderada a pobre e, textural e mineralogicamente, são submaturados (Estampa C). A estrutura sedimentar da litofácies Aca a Cca, observada em afloramento, foi também reconhecida em escala de lâmina, por meio da orientação de grãos e da segregação bimodal do arcabouço (Figura 17).

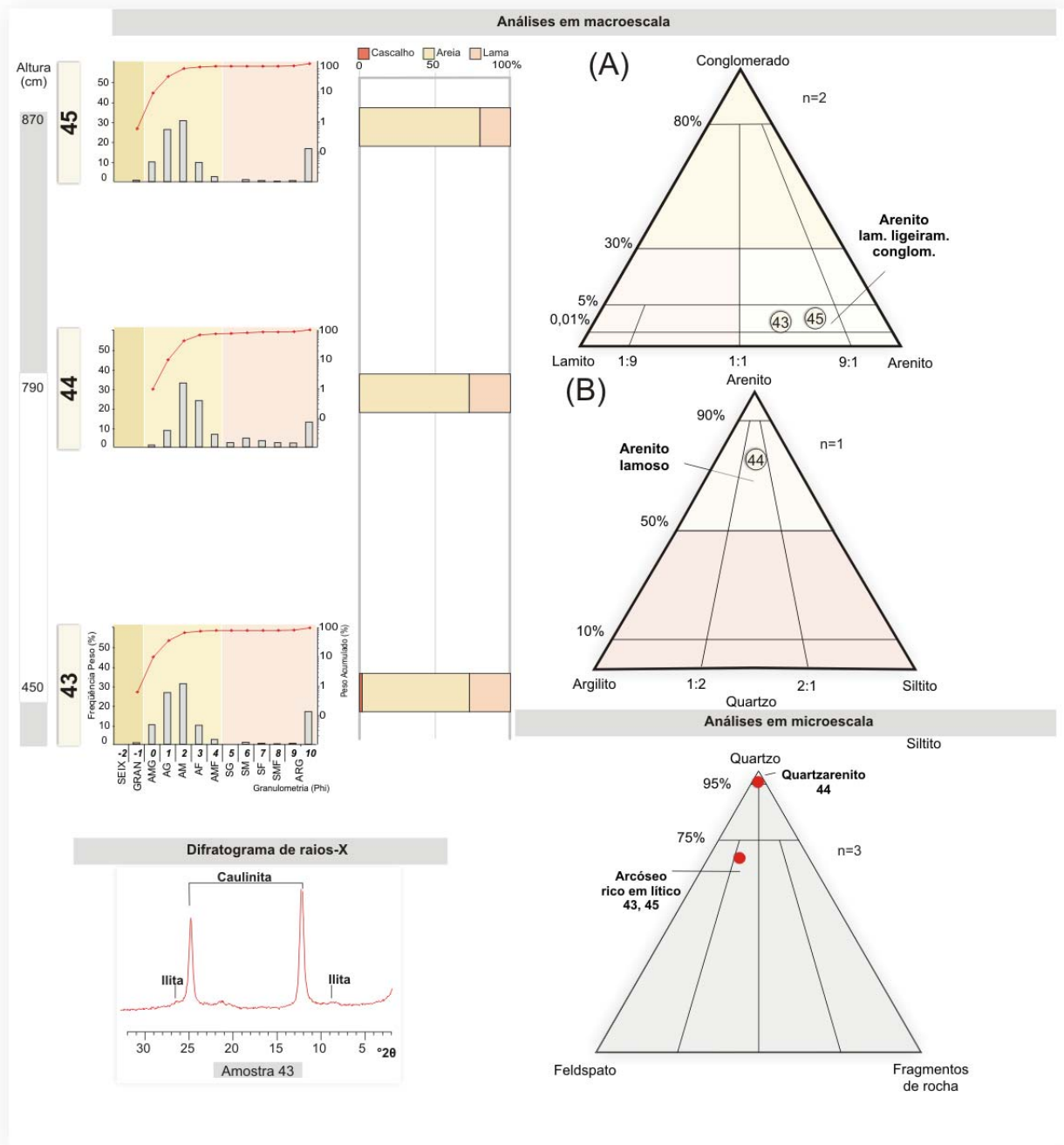


Figura 16 – Dados petrográficos da seção Fazenda Japira: histogramas e curvas de frequência acumulada; diagramas de barras da relação cascalho:areia:lama; diagramas triangulares de classificação de rochas sedimentares com cascalho (A), sem cascalho (B), e da composição mineralógica (C), segundo Folk (1980); difratogramas de raios-X das análises da mineralogia das argilas.

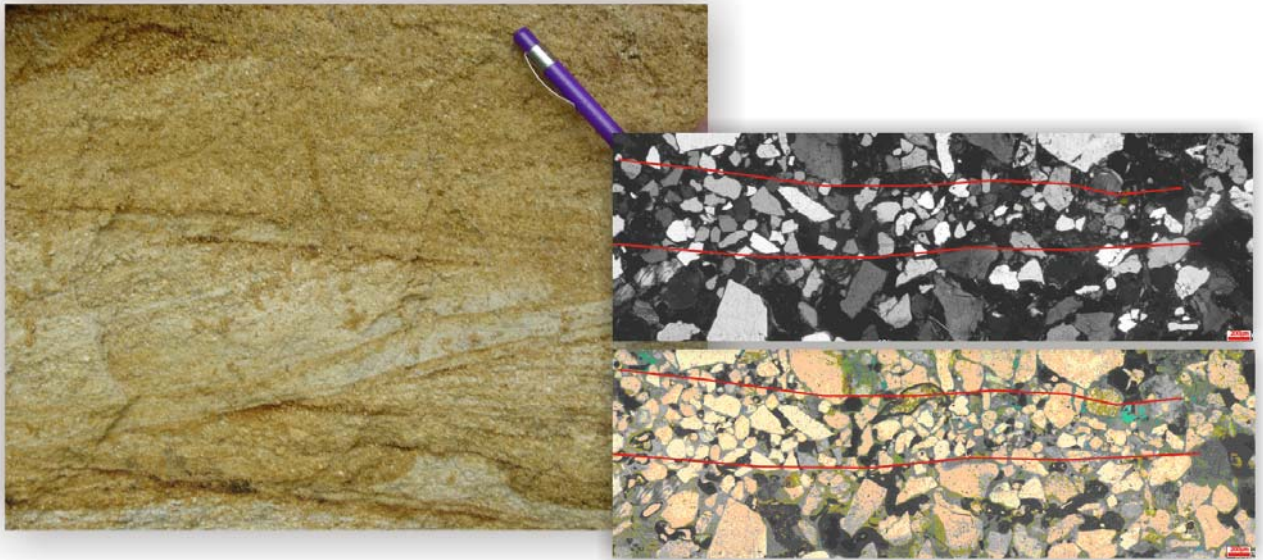


Figura 17 – Fotografia de detalhe de camada da litofácies Aca e fotomicrografias da amostra nº 45, na seção Fazenda Japira, com acamamento granulométrico dado pela distribuição bimodal dos grãos detríticos, indicada pela linha vermelha (Lentes polarizadas cruzadas e descruzadas, aumento de 4x, 200µm).

Na assembléia de minerais pesados ocorrem aproximadamente: magnetita, ilmenita, monazita, turmalina, zircão, leucóxênio, sillimanita, biotita, muscovita e rutilo (Figura 18). Zircão e biotita também foram observados em lâminas delgadas.

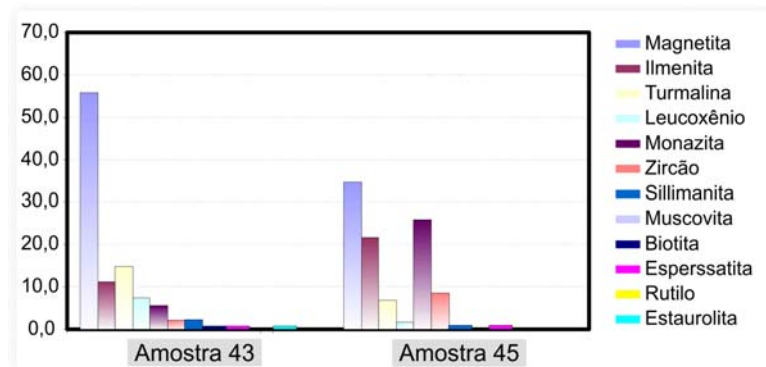


Figura 18 – Diagramas de barras da porcentagem de minerais pesados identificados em amostras da seção Fazenda Japira.

A matriz apresenta-se em porcentagem relativamente baixas (Apêndice A), com a presença de intraclastos de argila e grãos de feldspato alterados que apontam para a formação de pseudomatriz e epimatriz. Com relação ao cimento, à semelhança da seção Córrego Tapuio, os índices são moderados e de composição caulínica (Figura 16), e os precipitados de óxidos/hidróxidos de ferro, de porcentagens baixas, ocorrem impregnando o material intersticial, infiltrado em poros ou em forma de revestimento de cavidades intergranulares, reduzindo a permeabilidade da rocha.

A porosidade é maior do tipo intragranular nos feldspatos em relação à intra-matriz (Apêndice A), com exceção para a amostra 44 que apresenta somente este tipo de porosidade, em virtude da praticamente ausência de feldspato nesta amostra (Estampa C).

5.2 Características diagenéticas

As feições diagenéticas identificadas nas amostras, principalmente a elevada concentração de cimento filossilicático, condizem com processos diagenéticos que ocorreram em condições próximas à superfície, sob influência do ambiente deposicional e pedogênese. Os eventos diagenéticos são de difícil ordenação: infiltração da argila, compactação das rochas (soterramento), alteração dos grãos detríticos e cimentação por caulinita, geração da porosidade secundária, re-exposição das rochas e desenvolvimento de novos poros secundários, precipitação de óxidos e hidróxidos de ferro.

No ambiente deposicional considerado (fluvial entrelaçado), a infiltração mecânica das argilas nos interstícios das rochas pode ser causada por enchentes episódicas (Moraes *et al.*, 1988), sendo facilitada pelo lençol freático rebaixado. Segundo Moraes *et al.* (1988), as argilas detríticas de clima árido e semi-árido são compostas por esmectita; a diagênese gradualmente transforma a esmectita em ilitas e cloritas. Esta primeira etapa da diagênese pode ser confirmada para os sedimentos estudados de acordo com os dados obtidos das análises dos difratogramas (presença de ilita).

A compactação mecânica não foi o principal processo diagenético atuante, mas teve relevância nas alterações texturais dos depósitos e pode ter contribuído para a redução da porosidade primária. Os intraclastos argilosos foram moderadamente alterados e também foi possível identificar micas fraturadas e deformadas.

A cimentação está associado à alteração diagenética dos constituintes detríticos da rocha (feldspato), e atribuiu às amostras o caráter um pouco mais litificado, principalmente nos depósitos da localidade de Pedro Canário. A composição mineralógica das amostras enriquecida em quartzo, a presença de feldspatos em diferentes níveis de alteração e a identificação de picos de caulinita nos difratogramas corroboram com esta hipótese. A formação da caulinita autigênica pode ser resultado da dissolução de feldspato potássico.

ESTAMPA C

Fotomicrografia 01 - Amostra nº 43, seção Fazenda Japira, grãos detríticos com circularidade moderada, subangulosos – subarredondados, contatos pontuais e seleção moderada. Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 4x, 200µm

Fotomicrografia 02 - Amostra nº 45, seção Fazenda Japira, grãos detríticos com circularidade moderada, subangulosos – subarredondados, contatos pontuais e seleção moderada. Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 4x, 100µm

Fotomicrografia 03 - Amostra nº 43, seção Fazenda Japira, intraclastos de argila compactado e impregnado por óxido de ferro – matriz (setas vermelhas). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 100µm

Fotomicrografia 04 - Amostra nº 45, seção Fazenda Japira, intraclastos de argila compactado e impregnado por óxido de ferro – matriz (setas vermelhas). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 200µm

Fotomicrografia 05 - Amostra nº 43, seção Fazenda Japira, intraclastos de argila compactado e impregnado por óxido de ferro – matriz (setas vermelhas). Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 4x, 100µm

Fotomicrografia 06 - Amostra nº 45, seção Fazenda Japira, alta concentração de cimento filossilicático (setas vermelhas). Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 4x, 200µm

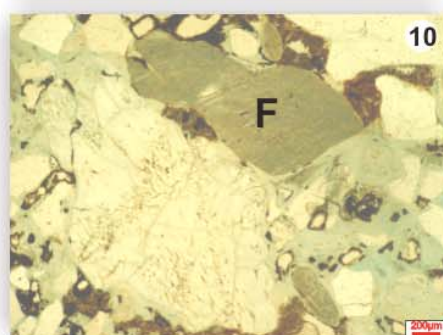
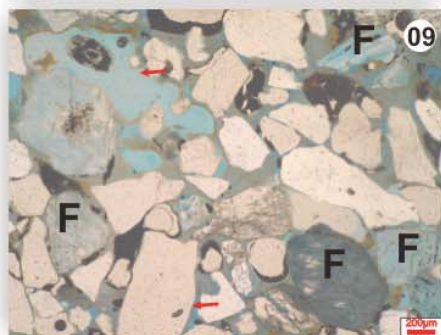
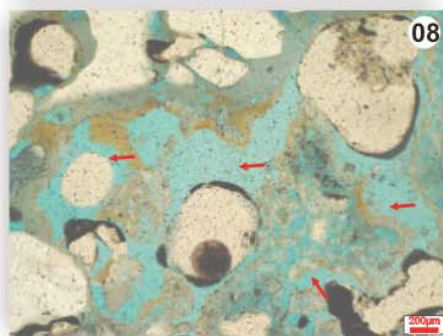
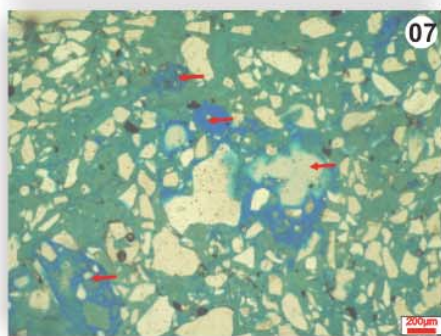
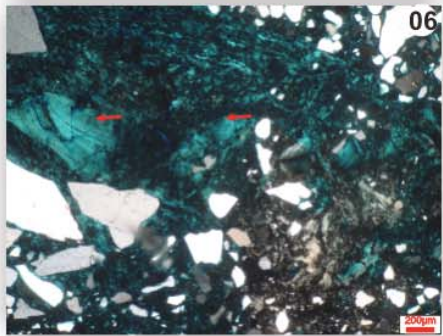
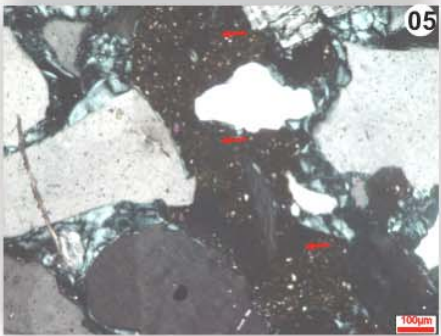
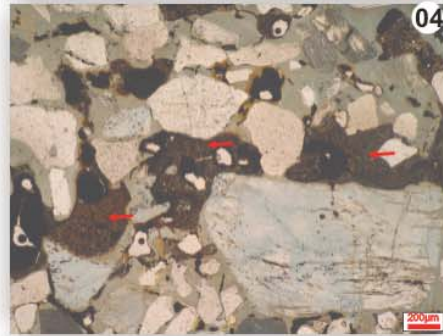
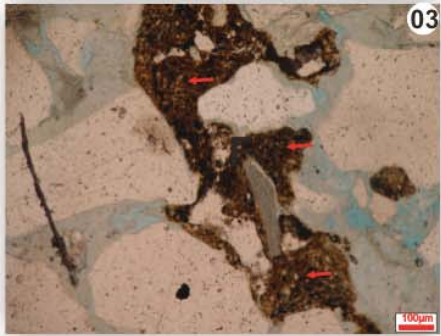
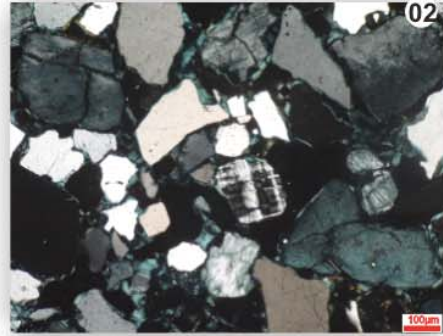
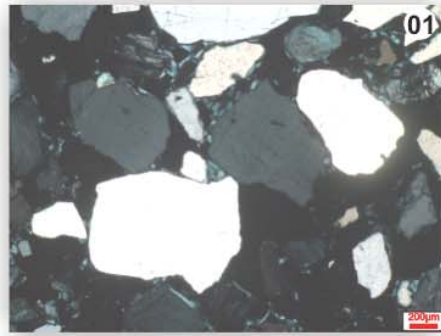
Fotomicrografia 07 - Amostra nº 44, seção Fazenda Japira, porosidade intra-matriz (setas vermelhas). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 200µm

Fotomicrografia 08 - Amostra nº 45, seção Fazenda Japira, porosidade intra-matriz (setas vermelhas). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 200µm

Fotomicrografia 09 - Amostra nº 45, seção Fazenda Japira, porosidade intra-matriz (setas vermelhas) e intragranular no feldspato (F). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 200µm

Fotomicrografia 10 - Amostra nº 45, seção Fazenda Japira, porosidade intragranular no feldspato (F). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 4x, 200µm

ESTAMPA C



A geração da porosidade secundária intragranular surge como consequência direta da alteração diagenética dos constituintes detríticos, principalmente do feldspato. A perda da porosidade primária ocorre ao longo de toda a evolução diagenética dos depósitos, mas é efetivamente reduzida durante os processos de formação da matriz e cimento. Já o surgimento da porosidade secundária intra-matriz, representada principalmente pela contração/encolhimento (*shrinkage*) do material intersticial, pode estar relacionado à continuidade do processo diagenético já envolvendo a atuação de processos pedogenéticos pela perda de umidade das rochas, e estas estruturas podem ter sido responsáveis pelo ressurgimento da permo-porosidade nos depósitos.

Foram observadas microestruturas que reforçam a atuação dos processos pedogenéticos, como revestimentos de grãos e poros (*cutans, coatings*) - Figura 19.

A bioturbação foi um dos importantes processos pós-deposicionais. A atuação de organismos nos depósitos causou modificações na trama sedimentar, tendo como resultado principal o surgimento de cavidades intergranulares, além da geração de tubos preenchidos por argila e material detrítico (Figura 19). Ainda é possível reconhecer registros fósseis que comprovam este mecanismo, como descrito por Morais (2007) na seção Córrego Tapuio, pela identificação de feições tubulares (Figura 20) semelhantes ao icnogênero *Paleophycus*.

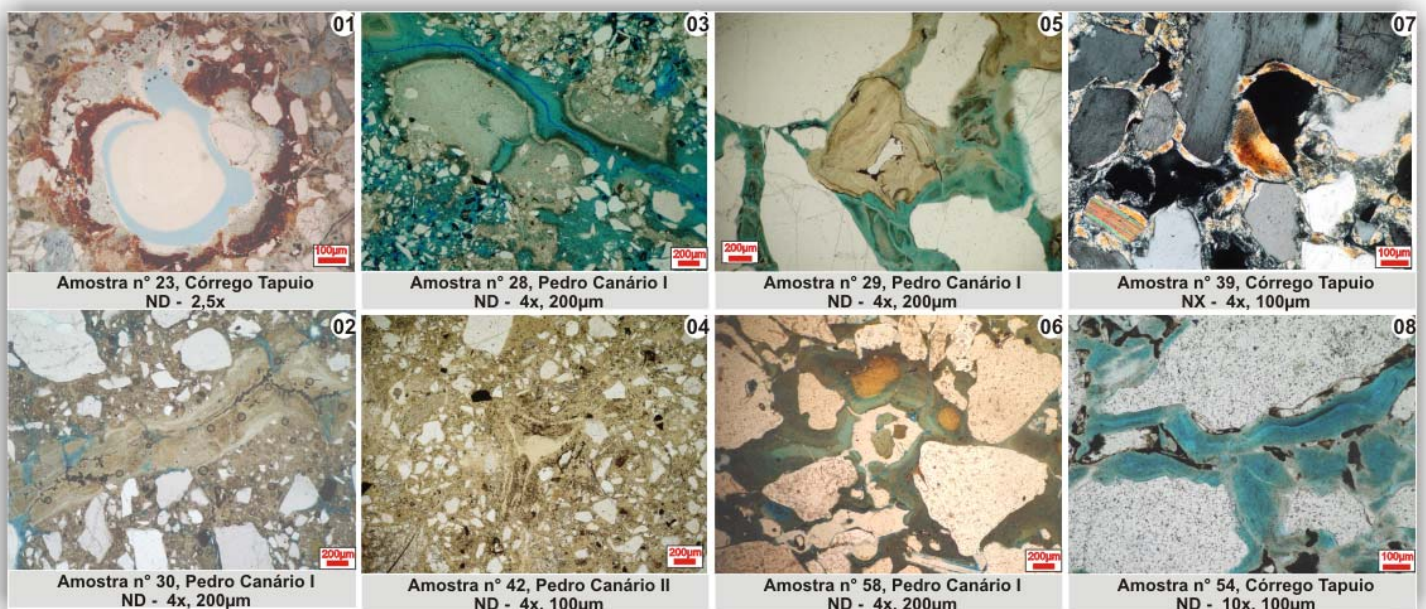


Figura 19 – Fotomicrografias de estruturas que evidenciam a atuação de organismos - cavidade (1) e tubo preenchido (2); e pedogênese - *argillans* (3), cavidade com revestimentos de crescimento concêntrico (4), (5) e (6); cutículas envolvendo grãos (7) e (8); NX – lentes polarizadas cruzadas, ND – lentes polarizadas descruzadas.



Figura 20 – Fotografia de feição tubular (destacada pelas setas vermelhas) encontrada na seção Córrego Tapuio, semelhante ao icnogênero *Palaeophycus*, segundo Morais (2007).

A presença de estruturas causadas por elutriação na seção Pedro Canário I (Figura 21), pode estar associada a mecanismos tectônicos sin-sedimentares, que podem ter contribuído também, por fluidização, para a perda da trama sedimentar original.

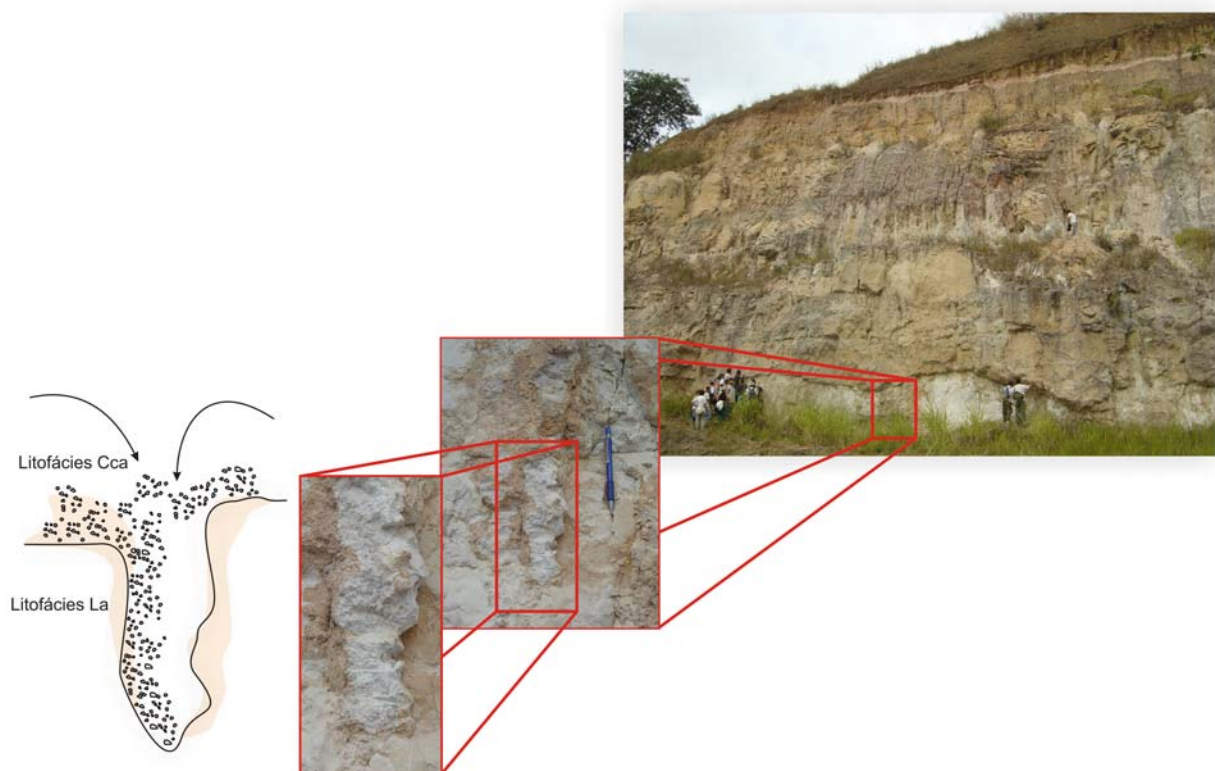


Figura 21 – Feições tubulares preenchidas por conglomerados, nos lamitos da base da seção Pedro Canário I, originadas por processos de elutriação.

Óxidos e hidróxidos de ferro ocorrem na forma de precipitados, correspondendo a uma fase de cimentação incipiente. Os hidróxidos de ferro estão presentes na forma de precipitados de ilita, como observado em alguns difratogramas, preenchendo parcialmente os espaços porosos intra e intergranulares. Uma hipótese para a origem destes óxidos estaria relacionada à alteração de minerais como biotita, magnetita e granada (Figura 22).

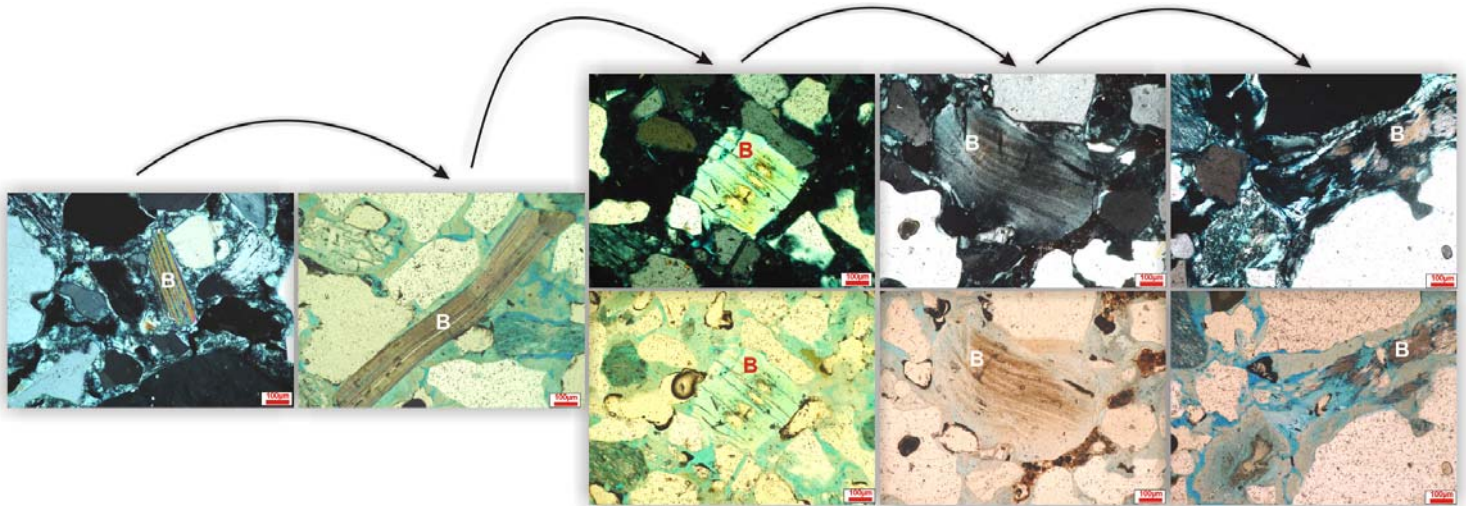


Figura 22 – Fotomicrografias de grãos de biotita (B) em diferentes estágios de alteração, desde o grão preservado, deformado, até quase completamente alterado (traço vermelho-escala 100µm).

Uma outra discussão que pode ser tratada e associada aos processos diagenéticos diz respeito ao caráter maciço dos arenitos nos depósitos estudados da Formação Rio Doce. Moore & Scruton (1957) classificaram como homogêneos os sedimentos cuja estrutura interna não é visível e atribuíram a perda das estruturas à diagênese e pedogênese (Figura 23), principalmente pela atuação de organismos. Esta interpretação também foi apontada por Morais (2007) para os arenitos maciços estudados nos depósitos das formações Barreiras e Rio Doce no estado do Espírito Santo, e a descrição petrográfica levantada neste estudo reforça esta posição. Esta autora também levantou a hipótese da atuação de processos pedogenéticos, como sugerem algumas feições observadas nas lâminas delgadas descritas no presente estudo (Figura 19). Pode-se considerar também mecanismos de fluidização, anteriormente mencionados.

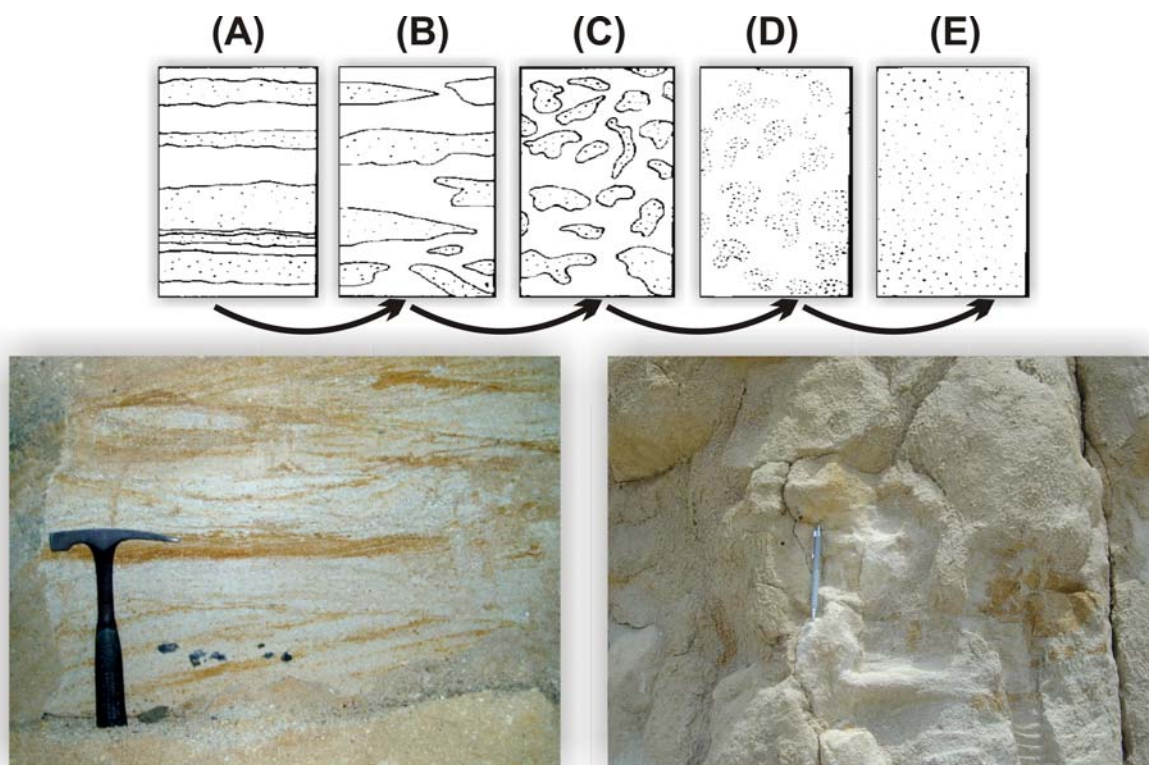


Figura 23 – Ilustrações de (A) a (E) de Moore & Scruton (1957) da seqüência de alteração de sedimentos por atuação de organismos, resultando na perda das estruturas internas primárias. Fotografias de detalhes de camadas de arenitos com estratificação cruzada ainda preservada (esquerda) e arenito maciço sem estruturas primárias aparentes (direita), ambas da seção Córrego Tapuio.

5.3 Proveniência

Na análise de proveniência das amostras estudadas, deve-se ter grande cautela devido à comprovada alteração dos grãos de feldspato, já discutida anteriormente. Desta forma, uma parcela da matriz poderia ser revertida para a contagem de feldspato e, assim, a razão de quartzo e feldspato seria quase equivalente, o que poderia indicar fontes do tipo granítica. No estudo de Moraes (2007), foram apresentados dados de paleofluxos que apontariam uma forte participação de correntes para o sentido sul-sudeste, o que pode presumir uma contribuição a partir de granitos das suítes G2 tipo-S (Complexo Medina), bem como dos paragneisses do Complexo Nova Venécia.

Comparativamente, os depósitos estudados nas localidades Córrego Tapuio e Fazenda Japira apresentam valores mais elevados de feldspatos em relação à localidade Pedro Canário, refletindo provavelmente a maior proximidade das áreas fontes.

De acordo com as classificações de Basu *et al.* (1975), a predominância de quartzo monocristalino nas amostras corrobora com a hipótese de uma origem a partir de rochas

plutônicas, contudo a identificação de grãos com extinção ondulante aponta também para constituintes metamórficos. Segundo este autor, a composição final das rochas, principalmente com relação à porcentagem de grãos de quartzo, é influenciada pelos processos e tempo de sedimentação, além de outros fatores, como o tamanho dos grãos. A tendência é da porcentagem de quartzo ser mais próxima das classes das rochas plutônicas, pois os antigos grãos de quartzo policristalinos tendem a se fragmentar, elevando os índices de quartzo monocristalino. Dessa maneira, pode-se propor para as amostras da Formação Rio Doce que, além do componente plutônico, a fonte pode ter sido metamórfica de alto a médio grau (Figura 24). Isto pode ser comprovado, também, através das assembléias dos minerais pesados observados tanto nas análises em lâmina delgada como em lupa binocular. Apesar das análises restritas, foram reconhecidos os minerais ultra-estáveis zircão, turmalina e rutilo, comuns quando em fontes plutônicas, e a presença de sillimanita, granada e estaurolita, que estariam relacionada a rochas metamórficas.

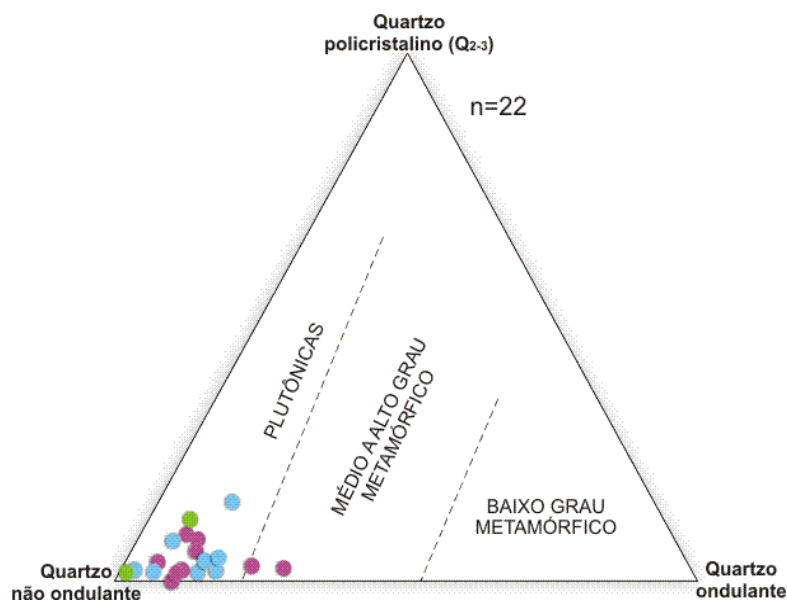


Figura 24 – Diagrama triangular para análise de proveniência de rochas sedimentares - identificação do tipo de rocha fonte, segundo Basu *et al.*(1975) - círculos rosas – Pedro Canário, círculos azuis – Córrego Tapuio; círculos verdes – Fazenda Japira.

6 CONCLUSÕES

Os depósitos da Formação Rio Doce constituem-se predominantemente de litofácies areníticas que, quando maciças, são mais lamosas e quartzosas; e, quando estratificadas, são lamosas a ligeiramente conglomeráticas, arcoseanas a subarcoseanas. Considerando o contexto deposicional desta unidade estratigráfica (fluvial entrelaçado), estas litofácies são interpretadas como resultado de processos trativos unidirecionais e, sendo assim, as diferenças texturais e mineralógicas observadas são atribuídas a alterações pós-deposicionais (bioturbação, fluidização, pedogênese, eodiagênese).

A eodiagênese influenciou significativamente na alteração da composição mineralógica e textural original, ocasionando a perda de grãos de feldspato e cimentação por caulinita, obliterando também estruturas sedimentares pretéritas, o que proporcionou em algumas camadas o caráter maciço, lamoso e enriquecido em quartzo. De maneira geral, a eodiagênese também resultou na redução da porosidade dos depósitos. Contudo foi identificado o surgimento de poros secundários intergranulares gerados principalmente pela contração (encolhimento) da argila autigênica, além de microestruturas, ambas podendo ter resultado de processos pedogenéticos atuantes nos depósitos durante um período de exposição. A formação dessas estruturas retomou os índices de porosidade das rochas, elevando a capacidade permo-porosa dos depósitos, e pode ser esta a característica que coloca os depósitos da Formação Rio Doce como aquíferos importantes do norte do estado do Espírito Santo.

O problema do material argiloso intersticial em reservatórios areníticos já é bem conhecido, principalmente na indústria do petróleo. Segundo Eslinger & Pevear (1988), problemas como migração de argilas e outros minerais finos exercem grandes impactos na redução da permeabilidade do reservatório, e reduzem sensivelmente a presença de água nos interstícios dos aquíferos. Por outro lado, o estudo da porosidade secundária exerce importante papel na caracterização de reservatórios e fornece informações essenciais na determinação dos parâmetros permo-porosos dos depósitos. Segundo Schmidt & McDonald (1979), existem muitos exemplos de grandes acumulações de hidrocarbonetos em poros secundários de arenitos. Este mesmo exemplo pode estender-se também aos aquíferos.

Para comprovar a hipótese aqui apresentada, torna-se necessário confrontar os dados obtidos em superfície com descrições petrográficas de amostras em subsuperfície.

Com relação à área-fonte destes depósitos, propõe-se que tenham sido principalmente as rochas graníticas do Complexo Medina e os mica-xistos do Complexo Nova Venécia, com o transporte dos detritos para o ambiente de sedimentação através de paleofluxos no sentido sudeste, conforme dados direcionais apresentados por Morais (2007).

Referências bibliográficas

- AMADOR, E. S. Depósitos relacionados à unidade inferior do Grupo Barreiras no estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Bahia. **Anais...** Bahia: SBG, 1982. v.4, p. 1451-1461.
- AMADOR, E. S.; DIAS, G. T. M. Considerações preliminares sobre depósitos do Terciário Superior do norte do Espírito Santo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 50, p. 121-122, 1978.
- ASMUS, H. E.; GOMES, J. B.; PEREIRA, A. C. B. Integração geológica regional da bacia do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG, 1971. v.1, p. 235-252.
- BANDEIRA Jr., A. N.; PETRI, S.; SUGUIO, K. **Projeto Rio Doce: Relatório Final**. Rio de Janeiro: CPD-PETROBRAS, 1975. 203 p.
- BASU, A.; YOUNG, S. W.; SUTTNER, L. J.; JAMES, W. C.; MACK, G. H. Re-evolution of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, v. 45, n. 4, p. 873-882, dez. 1975.
- BEARD, D.C.; WEYL, P.K. Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, n. 57, p. 349-369, 1973.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, Mapas e SIG - Geology, Tectonics and Mineral Resources: Text, Maps and GIS**. Brasília: CPRM, 2003. 4 CD-ROM.
- DANA, J. D. **Manual de Mineralogia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1984. 669 p.
- DICKINSON, W. R. Interpreting detrital modes of greywacke and arkose. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, v. 40, n. 2, p. 695-707, jun. 1970.
- ESLINGER, E. & PEVEAR, D. **Clay Minerals: for petroleum geologist and engineers**. Tulsa: Soc. Econ. Paleont. and Mineral., 1988. n. 22, 419 p. (SEPM Short Course).
- FOLK, R. L. **Petrology of Sedimentary Rocks**. Austin: Hemphil Publ. Co, 1980. 184 p.
- HEILBRON, M. ; PEDROSA-SOARES, A. C. ; CAMPOS NETO, M. C. ; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J. ; JANASI, V. A Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D.; NEVES, B. B. B. (Org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. 1. ed. São Paulo: Beca Produções Culturais Ltda, 2004. p. 203-234.
- HELMOLD, K. P. Provenance of feldspathic sandstones – The effect of diagenesis on provenance interpretations: A review. In: **Provenance of Arenites**. Italy: D. Reidel Publishing Company, 1984. v. 148, p. 139-163. (NATO ASI series. Series C-Mathematical and physical sciences).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contagem de população 2007**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem.pdf>>. Acesso em: 07 janeiro 2008.

JACKSON, M. L. **Soil Chemical Analysis** – Advanced Course. Madison, Wisconsin. 1975.

KRUMBEIN, W. C.; SLOSS, L. L. 1963. **Stratigraphy and Sedimentation**. San Francisco: W. H. Freeman & Co. 660 p.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M. 1997. **Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo**. Belo Horizonte: CPRM/FAPESP, 1997. 112 p.

MCBRIDE, E. F. Diagenetic processes that affect provenance determinations in sandstone. In: ZUFFA, G. G. **Provenance of Arenites**. Italy: D. Reidel Publishing Company, 1984. v. 148, p. 95-113. (NATO ASI series. Series C-Mathematical and physical sciences).

MOORE, D. G.; SCRUTON, P. C. Minor internal structures of some recent unconsolidated sediments. **Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 41, n. 12, p. 2723- 2751, dez. 1957.

MORAES, M. A. S.; DE ROS, L. F. Caracterização e influência das argilas de infiltração mecânica em reservatórios fluviais da Bacia do Recôncavo, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 13-26, 1988.

MORAIS, R. M. O. **Sistemas fluviais terciários na área emersa da bacia do Espírito Santo (formações Rio Doce e Barreiras)**. 2007. 139 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MOURÃO, M. A. A.; LIMA, J. E. S.; MONTEIRO, E. A. Os sistemas de aquíferos do norte do estado do Espírito Santo: potencial de exploração e diagnóstico atual de aproveitamento. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABAS, 2002. 1 CD-ROM.

PARFENOFF, A.; POMEROL, C.; TOURENO, J. **Les Minéraux en Grains: methods d'étude et détermination**. Paris: Masson et Cie, Éditeurs, 1970. 571 p.

PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; WIEDEMANN, C. M.; PINTO, C. P. The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: an overview of the confined orogen formed during Gondwanaland assembly. **Precambrian Research**, v. 110, p. 307-323, 2001.

PEDROSA-SOARES, A. C.; CASTAÑEDA, C.; QUEIROGA, G.; GRADIM, C.; BELÉM, J.; RONCATO, J.; NOVO, T.; DIAS, P.; GRADIM, D.; MEDEIROS, S.; JACOBSON, T.; BABINSKI, M.; VIEIRA, V. Magmatismo e tectônica do orógeno Araçuaí no extremo leste de Minas e norte do Espírito Santo (18°-19°S, 40°30'W). **Geonomos**, Belo Horizonte, v.14, n. 2, p. 97-111, 2006.

PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; ALKIMIM, F. F.; SILVA, L. C.; BABINSKI, M.; CORDANI, U.; CASTAÑEDA, C. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 após Almeida 1977. **Geonomos**, Belo Horizonte, v.15, n. 1, p. 1-16, jul. 2007.

PEREIRA, R. M.; ÁVILLA, C. A.; LIMA, P. R. A. S. **Minerais em grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2005. 128 p.

SANTOS, P. S. **Tecnologia das argilas**: aplicada as argilas brasileiras. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1975. v. 2, 462 p.

SCHMIDT, V.; MACDONALD, D. A. The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis. In: SCHOLLE, P. A.; SCHLUGER, P. R. **Aspects of diagenesis**. Tulsa: Soc. Econ. Paleont. and Mineral., 1979. n. 26, p. 175-207. (SEPM Special Publication).

SHANMUGAN, G. Types of porosity in sandstones and their significance in interpreting provenance. In: ZUFFA, G. G. **Provenance of Arenites**. Italy: D. Reidel Publishing Company, 1984. v. 148, p. 115-137. (NATO ASI series. Series C-Mathematical and physical sciences).

SILVA, J. M. R.; LIMA, M. I. C.; VERONESE, V. F.; RIBEIRO Jr., R. N., ROCHA, R.M.; SIGA Jr., O. Geologia. In: **Projeto Radambrasil**, Folha SE.24 - Rio Doce, Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro, 1987. v. 34, 544 p.

SOUZA-LIMA, W.; HAMSI Jr., G. P. Origem, evolução e classificação das bacias sedimentares. In: **PHOENIX**: Bacias Sedimentares Brasileiras. Sergipe, ano 5, n. 49, jan. 2003. Disponível em: <http://www.phoenix.org.br/Phoenix49_Jan03.html>. Acesso em: 15 nov. 2007.

SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1973. 318 p.

THOREZ, J. **Phyllosilicates and clay minerals**: a laboratory handbook for their X-ray diffraction analysis. Belgium: Editions G. Lelotte, 1975. 579 p.

VIAJE AQUI. [Sem título]. 2006. Altura: 501 pixels. Largura: 714 pixels. 96 dpi. 24 BIT. 48 Kb. Formato GIF bitmap. Descompactado. Disponível em: <<http://viajeaqu.abril.com.br/g4r/>>. 2007. Acesso em: 15 nov. 2007.

VIEIRA, R. A. B.; MENDES, M. P.; VIEIRA, P. E; COSTA, L.A.R., TAGLIARI, C. V.; ACELAR, L. A. P.; FEIJÓ, F. J. Bacias do Espírito Santo e Mucuri. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**. Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 195-202, jan. 1994.

WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, v. 30, p. 377-392, 1922.

ZUFFA, G. G. Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results. In: **Provenance of Arenites**. Italy: D. Reidel Publishing Company, 1984. v. 148, p. 165-189. (NATO ASI series. Series C-Mathematical and physical sciences).

APÊNDICE A – Dados petrográficos recalculados para percentuais de rocha total (composição mineralógica, porosidade, matriz e cimento).

| | Pedro Canário I | | | | | | | Pedro Canário II | | | | Córrego Tapuio | | | | | | | Fazenda Japira | | | | |
|--|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | La | Cca | Am1 | Am1 | Aca | Am1 | Am1 | Aca | La | Am1 | Am1 | La | Am1 | Am1 | Cca | Am1 | Aca | Cca | Am1 | Am1 | Aca | Aca | Aca |
| | 28 | 29 | 30 | 57 | 58 | 59 | 60 | 42 | 31 | 61 | 62 | 25 | 40 | 23 | 24 | 39 | 53 | 54 | 55 | 56 | 43 | 44 | 45 |
| Clastos totais | 51,2 | 50,1 | 49,8 | 49,1 | 50,1 | 49,6 | 49,6 | 50,0 | - | 50,1 | 50,0 | 50,7 | 49,9 | 49,9 | 49,9 | 50,4 | 51,1 | 50,7 | 51,1 | 49,1 | 50,8 | 49,9 | 52,4 |
| 1. Quartzo total (2 + 5) | 44,3 | 43,3 | 48,8 | 46,3 | 43,5 | 49,1 | 49,6 | 41,9 | - | 48,9 | 49,6 | 29,4 | 41,2 | 30,8 | 31,2 | 38,8 | 31,3 | 36,2 | 35,2 | 35,5 | 30,4 | 49,3 | 35,9 |
| 2. Quartzo monocristalino total (3 + 4) | 44,0 | 36,6 | 47,4 | 42,6 | 42,5 | 47,4 | 49,4 | 39,7 | - | 46,8 | 48,9 | 28,7 | 39,9 | 30,2 | 28,3 | 38,5 | 31,0 | 33,2 | 33,1 | 34,1 | 29,7 | 49,0 | 31,6 |
| 3. Quartzo não ondulante | 40,5 | 30,6 | 39,2 | 38,9 | 41,1 | 43,4 | 41,8 | 32,8 | - | 39,7 | 45,6 | 20,0 | 30,6 | 26,7 | 25,3 | 34,4 | 27,5 | 29,2 | 28,6 | 31,6 | 28,5 | 48,0 | 28,6 |
| 4. Quartzo ondulante | 3,5 | 6,0 | 8,2 | 3,7 | 1,4 | 4,0 | 7,6 | 6,9 | - | 7,1 | 3,3 | 8,7 | 9,3 | 3,5 | 3,0 | 4,1 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 2,5 | 1,2 | 1,0 | 3,0 |
| 5. Quartzo policristalino (6 + 7) | 0,3 | 6,7 | 1,4 | 3,7 | 1,0 | 1,7 | 0,2 | 2,2 | - | 2,1 | 0,7 | 0,7 | 1,3 | 0,6 | 2,9 | 0,3 | 0,3 | 3,0 | 2,1 | 1,4 | 0,7 | 0,3 | 4,3 |
| 6. Quartzo 2-3 | 0,3 | 5,7 | 1,4 | 3,7 | 1,0 | 1,7 | 0,2 | 2,2 | - | 2,1 | 0,7 | 0,7 | 1,3 | 0,6 | 2,4 | 0,3 | 0,3 | 3,0 | 2,1 | 1,4 | 0,7 | 0,3 | 3,8 |
| 7. Quartzo >3 | - | 1,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,5 | - | - | - | - | - | - | - | 0,5 |
| 8. Feldspato total (9 + 10) | 6,3 | 6,5 | 1,0 | - | 5,4 | - | - | 7,5 | - | 1,2 | - | 16,5 | 8,7 | 18,8 | 18,2 | 10,7 | 16,1 | 10,5 | 13,8 | 8,0 | 13,5 | 0,3 | 10,7 |
| 9. K-Feldspato | 2,1 | 6,5 | 1,0 | - | 5,4 | - | - | 7,5 | - | 1,2 | - | 14,4 | 8,7 | 18,8 | 18,0 | 8,2 | 15,6 | 10,2 | 13,0 | 8,0 | 12,5 | 0,3 | 10,1 |
| 10. Plagioclásio | 4,2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2,1 | - | - | 0,2 | 2,5 | 0,5 | 0,3 | 0,8 | - | 1,0 | - | 0,6 |
| 11. Fragmentos de rocha - líticos | 0,3 | 0,3 | - | 2,3 | 0,5 | - | - | - | - | - | - | 1,6 | - | - | - | 0,6 | 2,4 | 3,5 | 2,1 | 4,2 | 5,7 | - | 4,8 |
| 12. Minerais secundários | 0,3 | - | - | 0,5 | 0,7 | 0,5 | - | 0,6 | - | - | 0,4 | 3,2 | - | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 1,3 | 0,5 | - | 1,4 | 1,2 | 0,3 | 1,0 |
| 13. Porosidade total (14 + 17) | 3,5 | 10,3 | 5,0 | 4,2 | 23,8 | 5,4 | 26,2 | 6,9 | - | 22,4 | 13,0 | 2,1 | 6,8 | 24,9 | 23,1 | 25,9 | 24,2 | 19,7 | 32,4 | 23,8 | 16,5 | 2,3 | 18,0 |
| 14. Intragranular total (15 + 16) | 2,0 | 8,8 | 4,6 | 1,2 | 16,1 | 2,8 | 25,5 | 4,6 | - | 20,9 | 8,1 | 1,1 | 3,1 | 21,4 | 16,0 | 9,9 | 17,7 | 13,7 | 21,3 | 14,1 | 13,2 | - | 14,2 |
| 15. Intragranular em feldspato | 1,0 | 8,4 | 0,7 | - | 16,1 | - | - | 4,6 | - | - | - | 0,6 | 3,1 | 20,5 | 16,0 | 9,9 | 17,7 | 13,7 | 20,6 | 14,1 | 12,7 | - | 14,2 |
| 16. Fratura | - | 0,4 | 0,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,5 | - | 0,9 | - | - | - | - | 0,7 | - | 0,5 | - | - |
| 17. Intergranular total (18 + 19) | 1,5 | 1,5 | 0,4 | 3,0 | 7,7 | 2,6 | 0,7 | 2,3 | - | 1,5 | 4,9 | 1,0 | 3,7 | 3,5 | 7,1 | 16,0 | 6,5 | 6,0 | 11,1 | 9,7 | 3,3 | 2,3 | 3,8 |
| 18. Mórdica | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,8 | - | - | - | - | 0,3 | - | - | 0,5 | - | - |
| 19. Intra-matriz | 2,5 | 1,5 | 4,0 | 4,2 | 7,7 | 5,4 | 26,2 | 2,3 | - | 22,4 | 13,0 | 1,0 | 2,9 | 3,5 | 7,1 | 16,0 | 6,5 | 5,7 | 11,1 | 9,7 | 2,8 | 2,3 | 3,8 |
| 20. Cimento | 45,3 | 39,6 | 43,6 | 46,7 | 26,1 | 45,0 | 24,2 | 41,1 | 0,0 | 25,2 | 36,0 | 47,2 | 43,3 | 25,2 | 27,0 | 23,7 | 24,7 | 27,6 | 15,0 | 26,3 | 32,7 | 47,1 | 29,6 |
| 21. Filossilicático (caulinita autigênica) | 38,6 | 39,3 | 38,4 | 45,5 | 26,1 | 38,9 | 21,1 | 37,1 | - | 20,6 | 29,5 | 41,5 | 40,8 | 17,9 | 14,0 | 23,7 | 20,3 | 17,5 | 13,6 | 24,8 | 27,6 | 42,7 | 13,5 |
| 22. Óxidos/hidróxidos de ferro | 6,7 | 0,3 | 5,2 | 1,2 | - | 6,1 | 3,1 | 4,0 | - | 4,6 | 6,5 | 5,7 | 2,5 | 7,3 | 13,0 | 0,0 | 4,4 | 10,1 | 1,4 | 1,5 | 5,1 | 4,4 | 16,1 |
| 23. Matriz argilosa | - | 0,3 | 1,6 | - | - | - | - | 2,0 | - | 2,3 | 1,0 | - | - | - | - | - | - | 2,0 | 1,5 | - | - | 0,7 | - |
| TOTAL | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | - | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Minerais pesados | - | - | 100 | 100 | - | - | 100 | 100 | - | 100 | - | - | - | - | 100 | 100 | 100 | - | - | - | 100 | - | 100 |
| Magnetita | - | - | 54,4 | 40,0 | - | - | 58,8 | 49,2 | - | 59,1 | - | - | - | - | 49,0 | 48,0 | 47,6 | - | - | - | 55,1 | - | 34,2 |
| Ilmenita | - | - | 21,7 | 13,3 | - | - | 16,9 | 12,3 | - | 23,6 | - | - | - | - | 29,4 | 12,0 | 19,0 | - | - | - | 11,0 | - | 21,4 |
| Turmalina | - | - | 10,9 | 20,0 | - | - | 8,4 | 16,4 | - | 9,4 | - | - | - | - | 9,8 | 16,0 | 1,9 | - | - | - | 14,7 | - | 6,8 |
| Leucocôênio | - | - | 5,4 | 10,7 | - | - | 8,4 | 10,7 | - | - | - | - | - | - | 2,0 | 10,4 | 14,3 | - | - | - | 7,4 | - | 1,7 |
| Monazita | - | - | 4,3 | 8,0 | - | - | - | 4,1 | - | 3,9 | - | - | - | - | 2,9 | 4,8 | 7,6 | - | - | - | 5,9 | - | 25,6 |
| Zircão | - | - | 2,2 | 6,7 | - | - | 5,0 | 4,0 | - | - | - | - | - | - | 2,0 | 2,4 | 4,7 | - | - | - | 1,6 | - | 8,5 |
| Sillimanita | - | - | 1,1 | - | - | - | 1,7 | 2,5 | - | - | - | - | - | - | 2,9 | 4,0 | 2,9 | - | - | - | 2,2 | - | 0,9 |
| Muscovita | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2,4 | - | - | - | - | - | 0,8 | - | - | - | - | 0,7 | - | - |
| Biotita | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,0 | - | - | - | - | - | 0,7 | - | 0,9 |
| Esperssatita | - | - | - | 1,3 | - | - | 0,8 | 0,8 | - | 0,8 | - | - | - | - | 1,0 | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - |
| Rutilo | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,8 | 1,0 | - | - | - | 0,7 | - | - |
| Estaurolita | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,8 | - | - | - | - | - | - | 1,0 | - | - | - | - | - | - |
| Quartzo total (1) | 87,0 | 86,4 | 98,0 | 95,3 | 88,1 | 100 | 100 | 84,8 | - | 97,6 | 100 | 62,0 | 82,6 | 62,1 | 63,2 | 77,4 | 62,8 | 72,1 | 68,9 | 74,5 | 61,4 | 99,4 | 69,8 |
| Feldspato total (8) | 12,4 | 13,0 | 2,0 | - | 10,9 | - | - | 15,2 | - | 2,4 | - | 34,7 | 17,4 | 37,9 | 36,8 | 21,4 | 32,3 | 20,9 | 27,0 | 16,7 | 27,2 | 0,6 | 20,8 |
| Fragmentos de rochas (11) | 0,6 | 0,6 | - | 4,7 | 1,0 | - | - | - | - | - | - | 3,3 | - | - | - | 1,2 | 4,9 | 7,0 | 4,1 | 8,8 | 11,4 | - | 9,4 |
| Total Q + F + L | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | - | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Clastos (1 + 8 + 11 + 12) | 51,2 | 50,1 | 49,8 | 49,1 | 50,1 | 49,6 | 49,6 | 50,0 | - | 50,1 | 50,0 | 50,7 | 49,9 | 49,9 | 49,9 | 50,4 | 51,1 | 50,7 | 51,1 | 49,1 | 50,8 | 49,9 | 52,4 |
| Porosidade total (14 + 17) | 3,5 | 10,3 | 5,0 | 4,2 | 23,8 | 5,4 | 26,2 | 6,9 | - | 22,4 | 13,0 | 2,1 | 6,8 | 24,9 | 23,1 | 25,9 | 24,2 | 19,7 | 32,4 | 23,8 | 16,5 | 2,3 | 18,0 |
| Matriz argilosa (23) | - | 0,3 | 1,6 | - | - | - | - | 2,0 | - | 2,3 | 1,0 | - | - | - | - | - | - | 2,0 | 1,5 | - | - | 0,7 | - |
| Cimento (20) | 45,3 | 38,3 | 43,6 | 46,7 | 26,1 | 45,0 | 24,2 | 41,1 | - | 25,2 | 36,0 | 47,2 | 43,3 | 25,2 | 27,0 | 23,7 | 24,7 | 27,6 | 15,0 | 26,3 | 32,7 | 47,1 | 29,6 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | - | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cascalho (C) | 1,0 | 13,0 | 1,0 | - | 12,0 | 1,0 | 3,0 | 2,0 | - | - | - | - | - | - | 10,2 | - | - | 10,0 | 4,0 | - | 2,0 | - | 1,0 |
| Areia (A) | 41,0 | 59,0 | 74,0 | 64,0 | 68,0 | 66,0 | 78,2 | 60,7 | 25,8 | 62,1 | 54,0 | 32,8 | - | 66,3 | 72,8 | 65,1 | 70,6 | | | | | | |