



Análise Multiescalar de Atributos Sedimentares em Depósitos Fluviais Paleogênicos na Bacia de Volta Redonda, RJ

Multi-scale analysis of sedimentary attributes of Paleogene fluvial
deposits from the Volta Redonda Basin, RJ

Claudio Cesar S. Marques¹; Claudio Limeira Mello¹ &
Renato R. Cabral Ramos²

¹*Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Av. Brigadeiro Trompowsky, s/nº - Cidade Universitária - Ilha do Fundão - RJ - 21949-900. claudiocsm@gmail.com; limeira@geologia.ufrj.br*

²*Departamento de Geologia e Paleontologia, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Quinta da Boa Vista - São Cristóvão - RJ - 20940040. rramos@mn.ufrj.br*

Recebido em: 06/12/2006 Aprovado em: 28/12/2006

Resumo

Este trabalho tem por objetivo a caracterização de atributos sedimentares em diversas escalas em depósitos fluviais paleogênicos da Bacia de Volta Redonda (*Rift* Continental do Sudeste do Brasil - RCSB), através de análises de fácies sedimentares, arquitetura deposicional, e petrográficas. Através deste estudo, busca-se produzir uma base de dados sedimentológicos aplicáveis a modelos de comportamento dos fluidos no interior de rochas-reservatório de origem fluvial. Entre os depósitos estudados, estão os principais aquíferos presentes nas bacias sedimentares que compõem o RCSB. O método de trabalho consistiu primeiramente na interpretação de um afloramento, com o auxílio de fotomosaico, para o reconhecimento da arquitetura deposicional, enfatizando a hierarquização das superfícies estratigráficas. Em seguida, foi feita a caracterização de fácies sedimentares, com a elaboração de perfis colunares e amostragem para análise petrográfica em lâminas delgadas. Foram identificadas duas associações de fácies distintas, associadas às formações Resende e Pinheiral. Na Formação Resende, os depósitos apresentam estilo de heterogeneidade simples, com boa continuidade lateral, sendo constituídos de arenitos maciços intercalados com arenitos lamosos, em camadas com geometria tabular, espessuras decimétricas e larguras de poucas dezenas de

metros, limitadas por contatos gradacionais. Os depósitos da Formação Pinheiral apresentam estilo de heterogeneidade de complexidade média, exibindo freqüente truncamento de elementos de arquitetura, sendo caracterizados por uma superposição de camadas arenosas com níveis conglomeráticos, limitadas por intervalos pelíticos pouco espessos. Ocorrem dispostos em camadas com geometria lenticular estendida, limitadas por superfícies irregulares e alcançando espessuras decimétricas e larguras de dezenas de metros. Microscopicamente, os arenitos analisados da Formação Resende apresentam porosidade muito reduzida, com presença de matriz argilosa proveniente da alteração de feldspatos. Os arenitos estudados da Formação Pinheiral apresentam porosidade próxima aos padrões de reservatório.

Palavras-chave: arquitetura de depósitos fluviais; Bacia de Volta Redonda; Cenozóico.

Abstract

This study aims to perform a multi-scale analysis of the sedimentary attributes presented by Paleogene fluvial deposits of the Volta Redonda Basin (Continental Rift of Southeastern Brazil), including the characterization of sedimentary facies, depositional architecture and petrographical features. The results from this study may be applied to the modelling of fluid behaviour inside fluvial reservoir-rocks. Among the studied deposits are the main aquifers of the sedimentary basins which compose the Continental Rift of Southeastern Brazil. The methodologic framework comprised: interpretation of an outcrop by using a photomosaic to the recognition of depositional architecture, emphasizing the stratigraphic surface hierarchy; facies characterization with vertical profiles; and petrographic analysis of selected samples. Two distinct facies associations were recognized, corresponding to Resende and Pinheiral formations. The Resende Formation deposits present a simple complexity heterogeneity style, with a wide lateral continuity. They are composed by decimetric layers of massive sandstones interbedded to clayey sandstones, showing a tabular geometry and few dozen-meters width. The contacts between these deposits are gradual. The Pinheiral Formation deposits present a medium complexity heterogeneity style, exhibiting frequent truncation of architectural elements, characterized by decimetric and dozen-meters width sandy layers with conglomeratic levels interbedded to thin pelitic intervals. These deposits present a extended lenticular geometry and irregular contacts. Microscopically, sandstones from Resende Formation present low porosity, related to the occurrence of clayey matrix resulted from feldspars alteration. The sandstones from Pinheiral Formation show porosities similar to reservoir patterns.

Key-words: fluvial deposits architecture; Volta Redonda Basin; Cenozoic

1 Introdução

As bacias do segmento central do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), cujo preenchimento sedimentar, de idade cenozóica, é constituído essencialmente por depósitos fluviais, apresentam ocorrências importantes de reservatórios de água subterrânea, porém poucos levantamentos têm sido realizados sobre este tema. O principal estudo a respeito destes aquíferos foi efetuado no âmbito do Projeto MODESTHI (Bettini, 2004), resultando em uma modelagem estratigráfica dos reservatórios na Bacia de Resende.

Galloway & Hobday (1996), entre outros autores, destacam a importância da avaliação das heterogeneidades em depósitos sedimentares, em diferentes escalas, para a predição do comportamento dos fluxos de fluidos em reservatórios e conseqüente redução das incertezas na exploração tanto de água como de hidrocarbonetos.

Como forma de subsidiar estudos nesta linha de investigação, no presente trabalho são avaliados aspectos sedimentares em depósitos fluviais paleogênicos aflorantes na bacia de Volta Redonda, envolvendo a caracterização de elementos arquiteturais, fácies sedimentares e parâmetros petrográficos. Considerando os depósitos estudados como análogos a rochas-reservatório, procura-se entender a sua compartimentalização e a interconectividade das unidades deposicionais. Com isto, busca-se produzir uma base de dados sedimentológicos aplicáveis a futuros modelos de simulação do comportamento de fluidos no interior destas rochas-reservatório.

2 Área de Estudo

2.1 Localização e Acessos

A Bacia de Volta Redonda está localizada no sul do Estado do Rio de Janeiro, na região do médio vale do rio Paraíba do Sul, entre os municípios de Barra Mansa, Volta Redonda e Pinheiral (Figura 1), limitando-se, aproximadamente, pelas coordenadas 44° 06' e 44° 10' W, e 22° 28' e 22° 33' S. Esta região se destaca economicamente pelo pólo industrial em torno da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), situada no município de Volta Redonda.

Os principais acessos são as rodovias BR-116 (rodovia Presidente Dutra), que liga o Rio de Janeiro a São Paulo; e BR-393, que liga a rodovia Presidente Dutra à Rio-Bahia, além de rodovias estaduais.

O registro sedimentar desta bacia ocorre em duas principais áreas de acúmulo sedimentar: uma, como manchas isoladas em meio ao embasamento pré-cambriano, na área urbana de Volta Redonda e Barra Mansa; e outra, denominada Gráben Casa de Pedra, que constitui a principal área sedimentar, alongada com direção WSW-ENE entre Volta Redonda e Pinheiral.

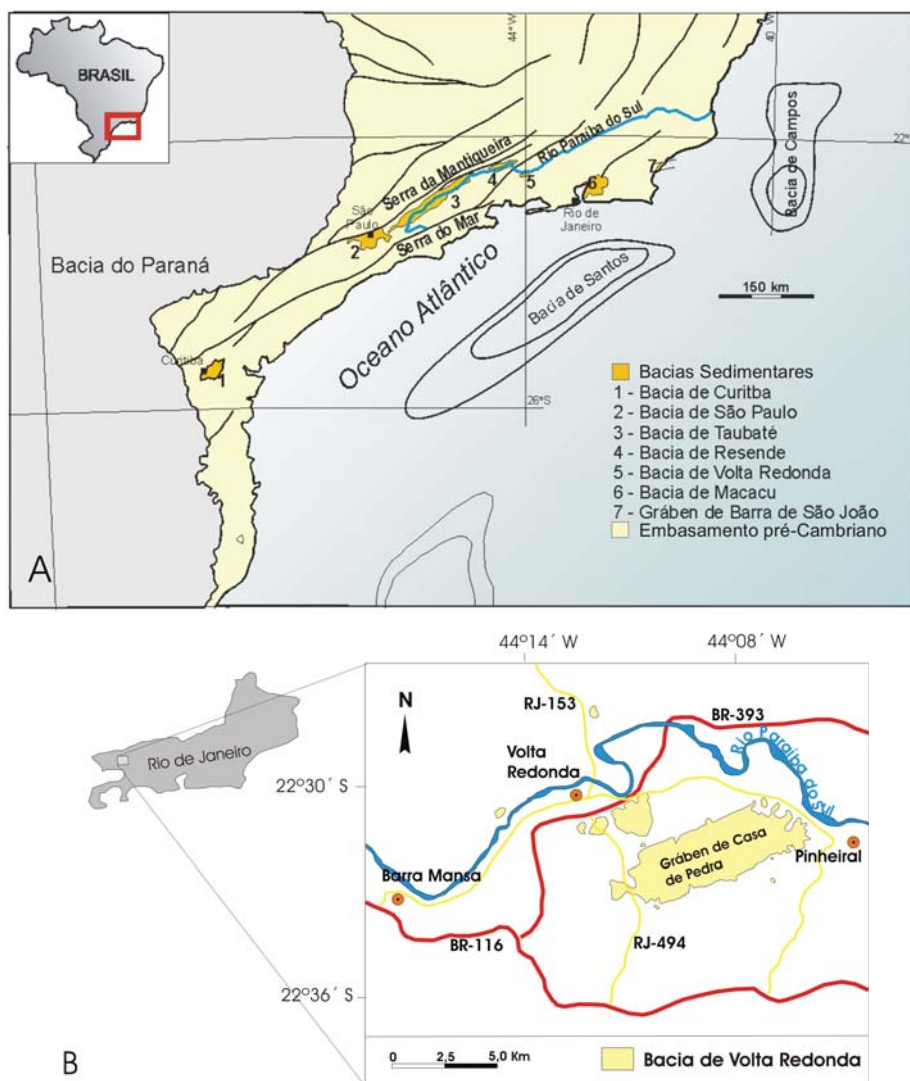


Figura 1 (A) Estruturação geológica da região sudeste do Brasil, com destaque para as bacias sedimentares que compõem o RCSB (modificado de Melo *et alii*, 1985). (B) localização das principais áreas de sedimentação da Bacia de Volta Redonda, de acordo com Sanson (2006).

2.2 Geologia Regional

A Bacia de Volta Redonda, juntamente com as bacias de São Paulo, Taubaté e Resende, compõe o segmento central do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB - Figura 1), que constitui um complexo de vales tectônicos, serras e bacias sedimentares com orientação ENE-WSW, de idade Eoceno-Oligoceno (Riccomini, 1989).

Segundo Hasui *et alii* (1975), as bacias que compõem o RCSB estão inseridas no segmento central da Faixa Móvel Ribeira, cinturão de rochas intensamente remobilizadas e metamorfizadas durante o Ciclo Brasileiro (590-720 Ma). De acordo com Trouw *et alii* (2000), a Faixa Ribeira esteve sujeita a diversas fases orogênicas, que levaram à individualização complexa de unidades geológicas por descontinuidades tectônicas segundo uma direção ENE-WSW. Considerando o mapa geológico apresentado por Heilbron *et alii* (2004), os depósitos da Bacia de Volta Redonda repousam sobre ortogranulitos (Complexo Juiz de Fora), ortognaisses (Complexo Quirino), metassedimentos (Grupo Paraíba do Sul), além de granitóides sintectônicos brasileiros.

O RCSB, antes denominado por Almeida (1976) como “Sistema de Riftes da Serra do Mar”, tem sua história evolutiva relacionada ao contexto da ruptura continental e abertura do Atlântico Sul, iniciada no Jurássico Final/Cretáceo Inicial (Hasui *et alii*, 1978). Segundo Asmus & Ferrari (1978), teria ocorrido, no Paleógeno, uma reativação tectônica de zonas de fraqueza pré-cambrianas, em decorrência do soergimento da área continental adjacente à bacia de Santos, em resposta à subsidência da área oceânica. Este evento teria originado as serras do Mar e da Mantiqueira e produzido um grande volume de sedimentos detríticos, além de manifestações de vulcanismo alcalino.

O preenchimento sedimentar paleogênico desenvolvido nas bacias do segmento central do RCSB é associado, principalmente, a sistemas de leques aluviais e canais fluviais entrelaçados, representados por depósitos conglomeráticos a arenosos intercalados com depósitos lamíticos (Riccomini *et alii*, 2004). Melo *et alii* (1983) e Riccomini *et alii* (1983; 2004) reconheceram, na Bacia de Volta Redonda, derrames de rocha ultrabásica alcalina entre os sedimentos paleogênicos.

2.3 Estratigrafia da Bacia de Volta Redonda

O primeiro trabalho a discorrer sobre a estratigrafia da região de Volta Redonda foi desenvolvido por Amador & Castro (1976). Estes autores caracterizaram duas unidades: camadas terciárias pré-Formação Volta Redonda

e Formação Volta Redonda. A primeira foi descrita como camadas tabulares constituídas por material arenoso fino com evidências de estratificações fluviais, correlacionadas aos depósitos da Formação Resende (Amador, 1975), na bacia homônima. A Formação Volta Redonda foi dividida em duas fases de sedimentação distintas, limitadas por descontinuidades erosivas e denominadas Volta Redonda II e Volta Redonda I. A fase Volta Redonda II, mais antiga, foi caracterizada como estratos tabulares com estruturas de erosão e preenchimento, com repetição cíclica de níveis conglomeráticos e arenosos, com participação menos representativa de fácies argilosas e siltosas. Estes depósitos foram interpretados como um sistema fluvial entrelaçado com variações nas condições de fluxo. A fase Volta Redonda I consistiria em fácies de granulometria fina, principalmente arenitos argilosos, argilitos siltosos e argilitos arenosos, com raros vestígios de estratificação. Este conjunto foi interpretado como produto de fluxos de detritos com raro retrabalhamento fluvial.

Os trabalhos de Melo *et alii* (1983) e Riccomini (1989) consideraram não haver características que justificassem a subdivisão em duas unidades, como sugerido por Amador & Castro (1976). Estes autores reconheceram similaridades nos depósitos paleogênicos da Bacia de Volta Redonda com os depósitos da Formação Resende na bacia homônima, reunindo-os sob esta denominação.

Melo *et alii* (1983) compartimentaram o registro paleogênico da região de Volta Redonda em duas principais áreas sedimentares, propondo a denominação de Gráben de Casa de Pedra para a principal área sedimentar. Estes autores descreveram, na parte oeste do Gráben de Casa de Pedra, derrames de rochas ultrabásicas alcalinas entre os depósitos paleogênicos. Riccomini *et alii* (2004) apresentaram idades aparentes mínimas de $48,3 \pm 0,5$ e $47,6 \pm 0,7$ Ma para estas rochas através do método de datação Ar-Ar, situando-as no Eoceno médio.

Sanson (2006) novamente subdividiu o registro sedimentar paleogênico da região de Volta Redonda, propondo uma nova coluna estratigráfica para a bacia (Figuras 2 e 3), a ser detalhada a seguir:

- **Formação Ribeirão dos Quatis:** depósitos predominantemente conglomeráticos, com arenitos subordinados, dispostos em inconformidade sobre o embasamento proterozóico, interpretados como depósitos típicos de um sistema fluvial entrelaçado conglomerático, anterior à fase principal de evolução do RCSB;

- **Formação Resende:** designa o principal registro sedimentar identificado na bacia de Volta Redonda, sendo constituída principalmente por arenitos arcoseanos e conglomerados finos, com estratificações cruzadas, relacionados a um sistema de canais fluviais entrelaçados, com participação pouco expressiva de lamitos arenosos e arenitos lamosos esverdeados associados a fluxos de detritos em um contexto de leques aluviais;
- **Basanita Casa de Pedra:** derrames ultramáficos alcalinos primeiramente caracterizados por Melo *et alii* (1983) como intercalados nos depósitos da Formação Resende, e posicionados por Sanson (2006) entre as formações Resende e Pinheiral. A rocha apresenta textura porfirítica, maciça, ou com vesículas e amígdalas, com feições que sugerem a existência de, pelo menos, dois derrames superpostos;
- **Formação Pinheiral:** conglomerados e arenitos, maciços ou estratificados, que correspondem a reativações de complexos de canais entrelaçados bastante expressivos, apresentando um padrão de intercalação entre as fácies arenosas e rudáceas, com expressiva sedimentação pelítica relacionada a eventos de inundação e avulsão dos canais fluviais. Estes depósitos apresentam-se discordantemente sobre a Formação Resende e, em algumas localidades, sobre o Basanita Casa de Pedra;
- **sedimentos neogênicos:** depósitos areno-argilosos, castanho-amarelados, muito mal selecionados, com grânulos e seixos de quartzo dispersos, que ocorrem diretamente sobre o embasamento ou sobre os depósitos paleogênicos, recobrando a morfologia de colinas;
- **sedimentos quaternários:** ocorrem duas fases distintas, sendo a primeira fase representada por depósitos de terraços de cascalho pleistocênicos (Amador & Castro, 1976). A segunda fase compreende depósitos arenosos e areno-argilosos, muito mal selecionados, aluviais e coluviais, preservados nos vales fluviais e nas cabeceiras de drenagem. De acordo com Mello (1992) e Mello *et alii* (1995), são associados a um episódio de grande instabilidade na paisagem durante o Holoceno inicial a médio, marcado por intensa erosão nos sistemas de drenagens regionais, resultando no entulhamento dos vales fluviais e cabeceiras de drenagem.

Análise Multiescalar de Atributos Sedimentares em Depósitos Fluviais Paleogênicos na
Bacia de Volta Redonda, RJ

Claudio Cesar S. Marques; Claudio Limeira Mello & Renato R. Cabral Ramos

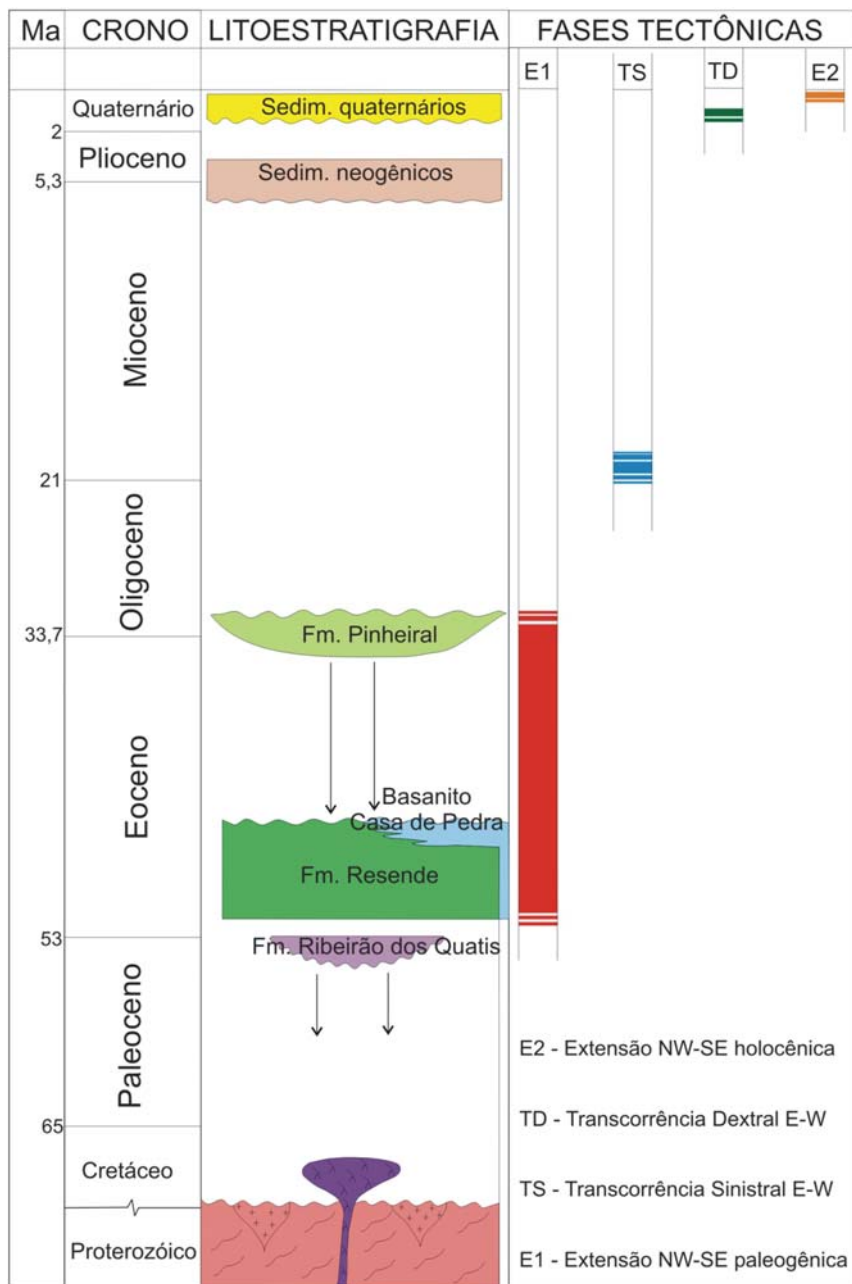


Figura 2 Coluna estratigráfica da Bacia de Volta Redonda e eventos tectônicos cenozóicos reconhecidos (Sanson, 2006).

Padilha & Vitorello (1992), através de dados audiomagnetotélúricos, concluíram que as maiores espessuras sedimentares da bacia alcançam cerca de 120 metros, ocorrendo nas proximidades de sua borda norte.



Figura 3 Mapa geológico da Bacia de Volta Redonda (Sanson, 2006). (1) sedimentos alúvio-colúviais quaternários; (2) outras ocorrências de sedimentos paleogênicos (Melo *et alii*, 1983); (3) Formação Pinheiral; (4) basanita Casa de Pedra; (5) Formação Resende; (6) Formação Ribeirão dos Quatis; (7) embasamento; (8) lineamentos importantes; (9) falhas observadas em campo.

3 Materiais e Métodos

Para a execução deste trabalho, foi selecionado um afloramento situado na Rodovia do Contorno, na borda norte do Gráben de Casa de Pedra, nas coordenadas 0597695 S e 7509307 W (Datum Córrego Alegre, Zona 23 S, UTM). Trata-se de um afloramento estudado anteriormente por Sanson (2006), que apresenta grande extensão lateral, permitindo uma boa visualização da geometria estratal destes depósitos fluviais.

Inicialmente, foram obtidas fotografias do afloramento, com câmera digital *Sony Cybershot 5.0 megapixels*, de modo a ter uma cobertura completa da exposição, buscando-se manter uma superposição aproximada de 30 %. A emenda das fotos (fotomosaico) foi feita no programa *CorelDraw 11*. Em gabinete, foi realizada uma primeira interpretação, em papel transparente sobre o fotomosaico impresso em escala aproximada de 1:120, onde foram assinaladas as superfícies estratigráficas observadas. Novamente no campo, foram feitas verificações e correções, dando origem à interpretação final, que foi reconstituída no programa *CorelDraw 11*.

Para a identificação dos elementos arquiteturais, foram observados os seguintes atributos, de acordo com a proposta de Miall (1985): superfícies delimitadoras, geometria externa, escala e arranjo interno das litofácies.

Para a identificação das fácies, os atributos utilizados foram textura, composição e estruturas sedimentares presentes. A fim de representá-las de forma simplificada, foi adotado um código alfanumérico, seguindo a proposta de Miall (1985): a primeira letra, em maiúsculo, representa a litologia dominante; a segunda letra corresponde a estruturas sedimentares ou outras características diagnósticas presentes. Quando necessário, utilizou-se uma terceira letra, também para estes atributos. No caso de ocorrência de duas fácies com mesma litologia e estruturas sedimentares, em que a diferenciação se deu por algum outro atributo diagnóstico, acrescentou-se um número de ordem ao final do código. As fácies encontradas foram interpretadas e relacionadas aos trabalhos de Miall (1985), Ramos (2003) e Sanson (2006).

Durante os trabalhos de campo, seis perfis faciológicos verticais foram realizados, em escala 1:40, sendo depois digitalizados e reconstituídos, também no programa *CorelDraw 11*.

Os locais para a coleta de amostras foram selecionados ao longo dos perfis, de forma a serem os mais representativos das litofácies e exibirem melhor os atributos sedimentares. Três amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da UFRJ, onde foram impregnadas com resina, de modo a permitir o corte preservando sua integridade durante a confecção da lâmina delgada, aplicando-se o corante azul de metileno para realçar a porosidade existente.

A análise petrográfica das lâminas delgadas foi realizada em microscópio de luz polarizada *Zeiss Axioplan 2*. Nesta fase foram observados: parâmetros texturais, como granulometria, seleção, arredondamento/circularidade; parâmetros composicionais; e porosidade. A quantificação de cada parâmetro foi obtida por meio de aparelho de contagem de pontos, utilizando um padrão de 300 pontos, de acordo com a técnica de Gazzi-Dickinson (Gazzi, 1966; Dickinson, 1970; Zuffa, 1985). As porcentagens de quartzo, feldspato e fragmentos líticos foram recalculadas para 100%, seguindo os critérios definidos por Dickinson (1970) e Basu *et alii* (1985), excluindo os demais parâmetros; e inserida em diagrama composicional, de acordo com o critério de Folk (1968), utilizando o programa *Tridraw*.

4 Resultados

4.1 Fácies Sedimentares

Foram identificadas oito fácies sedimentares, sendo duas rudíticas, cinco areníticas e uma lutítica. A Tabela 1 mostra a caracterização destas fácies e respectivas interpretações.

Fácies	Diagnose	Interpretação
Ccm	Conglomerado sustentado pelos clastos, maciço	Fluxos trativos unidirecionais subaquosos; modificações pós-deposicionais
Cch	Conglomerado sustentado pelos clastos, com estratificação horizontal	Fluxos trativos unidirecionais subaquosos, intensos e rápidos
Ac	Arenito com estratificação cruzada	Correntes trativas unidirecionais em meio aquoso
Al	Arenito laminado	Fluxos trativos subaquosos de baixa energia.
Am1	Arenito maciço, com matriz argilosa	Fluxos não confinados durante enchentes; modificações pós-deposicionais
Am2	Arenito maciço	Fluxos trativos unidirecionais subaquosos; modificações pós-deposicionais
Alm	Arenito lamoso maciço	Paleossolos aluviais (?)
PI	Pelito arenoso, maciço a laminado	Decantação de sedimentos finos em planície de inundação

Tabela 1 Fácies sedimentares identificadas e suas interpretações.

Fácies Ccm

Diagnose - conglomerados finos a médios, sustentados pelos clastos, maciços (Figura 4).

Descrição - os depósitos da fácies Ccm apresentam matriz arenosa fina a grossa, arcabouço composto por quartzo, feldspato e fragmentos líticos, com clastos angulosos a subarredondados, diâmetro máximo de 7 cm e médio de 1 cm. Podem apresentar intraclastos argilosos de até 40 cm de diâmetro na base. Ocorrem dispostos em camadas lenticulares com espessura variando de 5 cm a 40 cm, com bases erosivas. Sua coloração é oliva pálido, castanho amarelado ou laranja claro. Frequentemente estão presentes na base de camadas arenosas, associando-se às fácies Am₁, Am₂, Ac.

Interpretação - correntes trativas unidirecionais em meio aquoso, com modificações pós-deposicionais obliterando eventuais estruturas sedimentares primárias. Esta fácies corresponde às fácies Ccm de Ramos (2003) e Sanson (2006) e à fácies Gcm de Miall (1996), sendo também interpretadas por estes autores como resultado de fluxos trativos sob condições hidrodinâmicas vigorosas.



Figura 4 Fácies Ccm, em contato erosivo com o embasamento, no perfil 1.

Fácies Cch

Diagnose - conglomerados finos a médios, sustentados pelos clastos, com estratificação horizontal nítida ou incipiente e ocasional imbricação nos seixos (Figura 5).

Descrição - os depósitos da fácies Cch apresentam matriz arenosa fina a grossa, quartzosa. O arcabouço é constituído de grânulos e seixos subangulosos a subarredondados de feldspato e subarredondados a arredondados de quartzo, com média de 3 cm de diâmetro. Algumas camadas apresentam poucos intraclastos pelíticos, de 3 cm de diâmetro em média, e no máximo de 30 cm. Pode ocorrer gradação normal no interior das camadas, lentes arenosas

intercaladas e presença de raros blocos esparsos de quartzo. São dispostos em camadas lenticulares extensas, com espessura variando de 20 cm a 80 cm, com bases erosivas. A coloração é oliva pálido, amarelo acastanhado, castanho amarelado ou laranja claro. Assim como Ccm, a fácies Cch é muito freqüente e encontra-se na base de camadas arenosas.

Interpretação - estes depósitos são relacionados à migração de lençóis de cascalho em episódios de descarga intensa e rápida de água e sedimentos. Esta fácies foi correlacionada à fácies Gh de Miall (1996). Segundo este autor, esses depósitos seriam formados pela migração de barras longitudinais ou como depósitos residuais (*lag deposits*). Corresponde à fácies Ch descrita por Ramos (2003) e por Sanson (2006), sendo interpretada como uma superposição de lençóis de cascalho gerando formas que se movimentam no pico do fluxo hidrodinâmico.

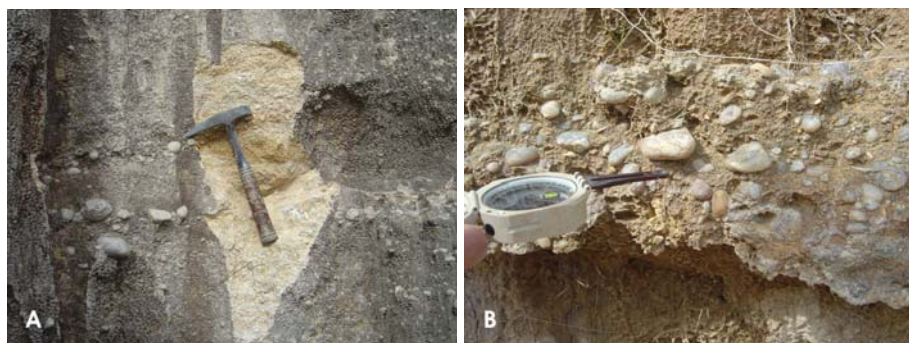


Figura 5 Fácies Cch. (A) Conglomerado sustentado pelo clastos, estratificado. (B) Detalhe da imbricação dos seixos (perfil 4).

Fácies Ac

Diagnose - arenitos médios a muito grossos, com estratificação cruzada de pequeno a médio porte (Figura 6).

Descrição - os depósitos da fácies Ac correspondem a arenitos arcoseanos, moderadamente a mal selecionados, freqüentemente contendo grânulos e seixos subangulosos a arredondados de quartzo e subangulosos de feldspato dispersos nas camadas ou concentrados nas bases dos *sets*. As estratificações nem sempre são bem definidas. Raramente contêm mica e turmalina. Ocorrem dispostos em camadas tabulares ou lenticulares extensas, com espessuras centimétricas, podendo compor conjuntos das camadas com espessuras de até 1,5 m. As camadas ocasionalmente são separadas por superfícies erosivas com linhas de cascalho e intraclastos pelíticos arredondados,

centimétricos. Apresentam cores oliva pálido, amarelo acastanhado, amarelo esbranquiçado, laranja claro e laranja avermelhado. Estes depósitos são os de ocorrência mais significativa no afloramento estudado.

Interpretação - esta fácies é associada a correntes trativas unidirecionais em meio aquoso (regime de fluxo inferior). Sanson (2006) e Ramos (2003) individualizam as fácies Ap e Aa, que aqui são reunidas sob a denominação Ac, relacionando-as à migração de megaondulações de crista reta e sinuosa, respectivamente, por correntes trativas em meio subaquoso. De forma correspondente, Miall (1996) individualiza as fácies Sp e St.



Figura 6 Fácies Ac. Arenito com estratificações cruzadas de baixo ângulo (perfil 4).

Fácies A1

Diagnose - arenitos muito finos a finos laminados (Figura 7).

Descrição - os depósitos da fácies A1 são quartzosos e feldspáticos. Estão dispostos em camadas lenticulares decimétricas pouco extensas, com base côncava não erosiva. Sua coloração varia de castanho esbranquiçado a castanho amarelado. Ocorre associada à fácies Pl (pelito laminado).

Interpretação - estes depósitos são relacionados a fluxos trativos subaquosos de baixa energia. Esta fácies pode ser comparada às fácies S1 de Miall (1996), que a interpreta como preenchimento de canais; e à fácies Ah2 de Ramos (2003), relacionada à deposição em regime de fluxo inferior, causada pela perda de velocidade da corrente e agradação vertical dos materiais.



Figura 7 Fácies Al. Arenito fino laminado (perfil 4).

Fácies Am₁

Diagnose - arenitos finos a médios, maciços, com matriz argilosa (Figura 8).

Descrição - os depósitos da fácies Am₁ têm o arcabouço composto por grãos de quartzo e feldspato, além de muscovita e minerais máficos em alguns níveis. A seleção é moderada a má, ocorrendo comumente grânulos e seixos dispersos de quartzo e feldspato subangulosos. Ocasionalmente observa-se concentração de seixos na base. Apresentam-se dispostos em camadas lenticulares a tabulares, com espessuras decimétricas e bases erosivas ou gradacionais, podendo compor conjuntos com até 1,5 m de espessura. Possuem coloração oliva pálido.

Interpretação - esta fácies pode ser relacionada a fluxos não confinados durante enchentes, com modificações por mecanismos pós-deposicionais que teriam obliterado eventuais estruturas primárias preexistentes, resultando no caráter maciço. Estes depósitos são correlacionados à fácies Am₂ de Ramos (2003), tendo sido interpretada como produto de fluxos gravitacionais do tipo corridas de lama. Eles se assemelham à fácies Am de Sanson (2006), interpretada como rápida desaceleração de correntes trativas não confinadas. Miall (1996) reconhece a fácies Sm como resultado de fluxos de detritos ou modificações deposicionais de depósitos trativos, causadas por bioturbações.



Figura 8 Fácies Am₁. Arenito maciço oliva pálido com matriz argilosa (perfil 2).

Fácies Am₂

Diagnose - arenitos maciços, médios a muito grossos (Figura 9).

Descrição - os depósitos da fácies Am₂ têm arcabouço composto por grãos de quartzo e feldspato, além de minerais máficos e rara muscovita em alguns níveis. A seleção é moderada a má, ocorrendo comumente

grânulos e seixos dispersos de quartzo e feldspato, subangulosos a subarredondados. Ocasionalmente pode ser observada gradação normal nas camadas e concentração de seixos na base, contendo ou não intraclastos pelíticos arredondados. São dispostos em camadas lenticulares a tabulares, com espessuras centimétricas e bases erosivas ou gradacionais, podendo compor conjuntos que alcançam até 1 m de espessura. Sua coloração é laranja claro, castanho amarelado, laranja avermelhado ou amarelo esbranquiçado. Esta variedade de cores está relacionada ao estado de oxidação em que se encontra a rocha.

Interpretação - estes depósitos são interpretados como o resultado da desaceleração de correntes trativas unidirecionais em meio aquoso, onde o caráter maciço está principalmente relacionado a modificações pós-deposicionais. Esta fácies se assemelha à fácies Am de Sanson (2006) e à fácies Am1 de Ramos (2003), tendo sido interpretadas como produto de fluxos não confinados.



Figura 9 Fácies Am₂. Arenito grosso maciço mal selecionado (perfil 4).

Fácies Alm

Diagnose - arenitos maciços, muito finos a médios, com matriz lamosa e grânulos dispersos de quartzo e feldspato, subangulosos a subarredondados (Figura 10).

Descrição - os depósitos da fácies Alm possuem arcabouço constituído de quartzo, feldspato e muscovita, e secundariamente de minerais máficos (raros). Ocasionalmente ocorre bioturbação. Apresentam-se dispostos em camadas lenticulares de até 60 cm de espessura, com base pouco nítida, gradacional. Possuem coloração verde oliva e encontram-se associados à fácies Am₁, sendo os contatos de difícil distinção.

Interpretação – esta fácies é interpretada como paleossolos aluviais. Estes depósitos se assemelham às fácies Am2 de Ramos (2003) e Alm de Sanson (2006), interpretadas como fluxos gravitacionais do tipo corridas de lama.

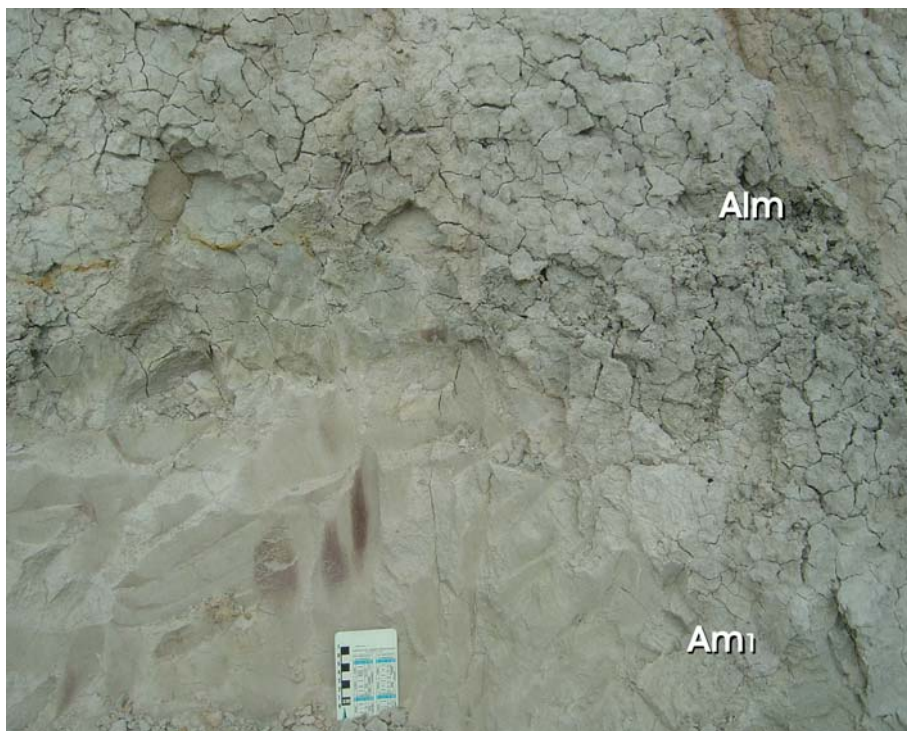


Figura 10 Camadas amalgamadas de arenito lamoso (Alm) e arenito maciço (Am₁) - Perfil 3.

Fácies P1

Diagnose - pelito arenoso, maciço a laminado (figura 11).

Descrição - depósitos sílticos a levemente arenosos, com níveis micáceos. Alguns níveis contêm fósseis de folhas, sementes e restos vegetais

indeterminados. Ocorrem em camadas lenticulares com espessuras decimétricas, base plana e topo escavado, podendo compor conjuntos de camadas com até 1,60 m de espessura. Apresentam coloração cinza clara, rosa ou roxa.

Interpretação - esta fácies é relacionada à decantação de sedimentos finos em períodos de inundação. Pode ser comparada à fácies Pl de Sanson (2006) e à fácies Fl de Miall (1996), estando associada à decantação durante períodos de extravasamento. Ramos (2003) reconhece a fácies Pm2 como produto do abandono brusco de canais em estágio final de eventos de avulsão.



Figura 11 Fácies Pl. (A) Camada de pelito laminado. (B) Detalhe dos fósseis de restos vegetais - perfil 2.

4.2 Arquitetura Depositional

Como passo inicial para o reconhecimento da arquitetura dos depósitos sedimentares estudados, foram identificadas três ordens de superfícies estratigráficas, atribuindo-se as menores ordens hierárquicas às superfícies de maior magnitude (Tabela 2).

Tabela 2 Hierarquização adotada para as superfícies de acamamento e sua correlação com classificações propostas por outros autores.

	Ordem	Interpretação	
Destaca-se, nos depósitos estudados de 1ª ordem que separa duas sucessões sedimentares distintas, associadas à Formação Resende (inferior) e à Formação Pinheiral (superior).	1ª	Discordâncias erosivas, relacionadas a eventos regionais. Figura 12.	7ª
A sucessão inferior é caracterizada por camadas tabulares extensas limitadas por superfícies planas de 3ª ordem. Na sucessão superior destaca-se a ocorrência de três superfícies erosivas irregulares de 2ª ordem com geometria côncava para cima, individualizando pacotes com caracteres que mudam, que, por sua vez, são subdivididos por superfícies de 3ª ordem.	2ª	Superfícies de reativação, que delimitam pacotes de mesma natureza, distintos dos adjacentes. Figura 12.	5ª
	3ª	Superfícies que marcam mudanças nas condições de fluxo. Separam camadas de mesma litofacies ou de litofacies distintas. Delineiam os elementos arquiteturais.	2ª e 3ª

As superfícies de 3ª ordem identificadas delimitam os elementos arquiteturais nas duas sucessões sedimentares reconhecidas. Entre os oito elementos arquiteturais básicos identificados por Miall (1988), foram reconhecidos neste estudo três tipos (Figura 12):

- **elemento GB (barras e formas de leito de cascalho)** – corpos sedimentares com geometria lenticular, topo plano a irregular e base irregular, apresentando espessuras entre 10 e 65 cm, extensão de mais de 50 m, constituídos por cascalhos maciços ou estratificados, com intercalações de fácies areníticas;

- **elemento SB (formas de leito arenosas)** – corpos sedimentares com geometria tabular, topo e base planos a irregulares, espessuras entre 2 e 7

m, extensão de mais de 30 m, constituídos por depósitos arenosos, estratificados ou maciços, podendo ocasionalmente apresentar fácies rudfíticas e lutfíticas intercaladas;

- **elemento OF (depósitos finos de inundação)** – corpos sedimentares com geometria lenticular a tabular, base plana e topo plano ou irregular, espessuras entre 40 cm e 2 m e mais de 40 m de largura, constituídos por argilitos, siltitos e arenitos finos.

Os depósitos da Formação Resende foram caracterizados, em geral, por uma superposição de elementos arquiteturais OF (Figura 12), representada pela intercalação de camadas tabulares da fácies Am₁ com camadas lenticulares extensas da fácies Alm. Ocorre, na base desta sucessão, o elemento GB, constituído por uma camada lenticular com 1 m de espessura, associada à fácies Ccm. Na parte norte do afloramento estudado, através dos perfis faciológicos detalhados (Figura 13), foi observada a intercalação de camadas cascalhosas estratificadas (fácies Cch) com camadas arenosas maciças ou estratificadas (fácies Am₁ e Ac), limitadas por superfícies erosivas.

Na Formação Pinheiral, há uma seqüência de escavações e preenchimentos representados pela superposição de elementos SB, constituídos pelo empilhamento de camadas lenticulares de arenitos médios a muito grossos das fácies Am₂ e Ac, com participação de camadas cascalhosas decimétricas intercaladas (fácies Cch e Ccm) e de camadas pelíticas (fácies Pl) pouco espessas (Figuras 12 e 13). Limitando dois conjuntos de elementos SB, ocorre um intervalo caracterizado por elementos OF, constituídos por camadas com geometria lenticular estendida e espessura máxima de 1,5 m das fácies Al e Pl.

Análise Multiescalar de Atributos Sedimentares em Depósitos Fluviais Paleogênicos na
Bacia de Volta Redonda, RJ

Claudio Cesar S. Marques; Claudio Limeira Mello & Renato R. Cabral Ramos

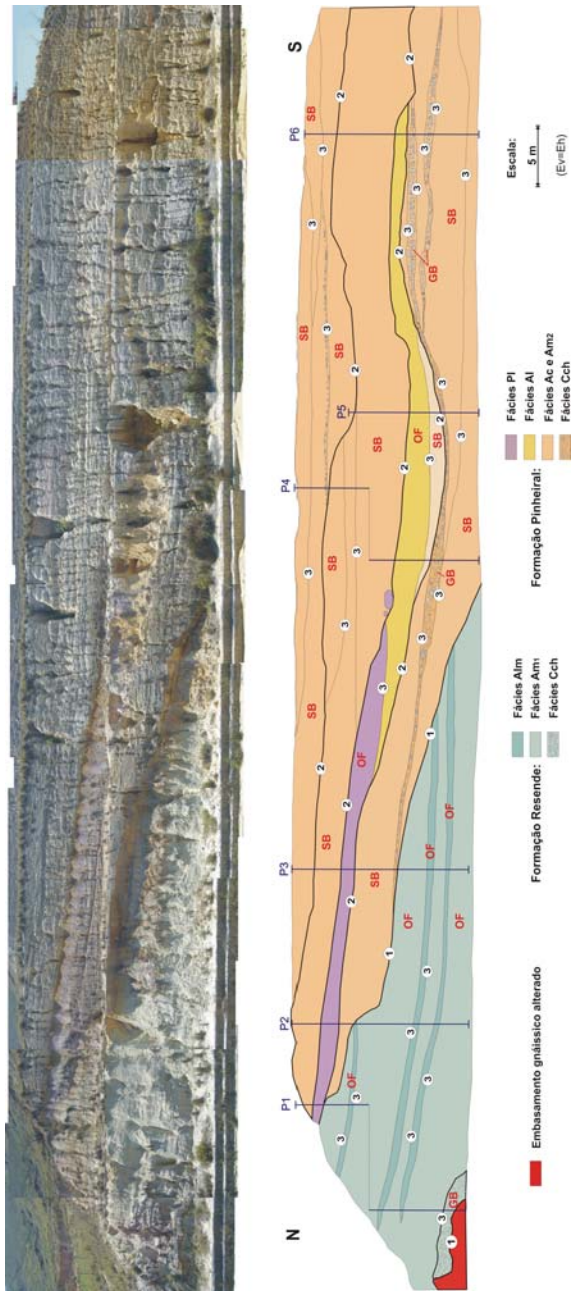


Figura 12 Fotomosaico e seção geológica do afloramento estudado, mostrando as superfícies hierarquizadas, os elementos arquiteturais e os locais onde foram feitos os perfis faciologicos.

Análise Multiescalar de Atributos Sedimentares em Depósitos Fluviais Paleogênicos na
Bacia de Volta Redonda, RJ

Claudio Cesar S. Marques; Claudio Limeira Mello & Renato R. Cabral Ramos

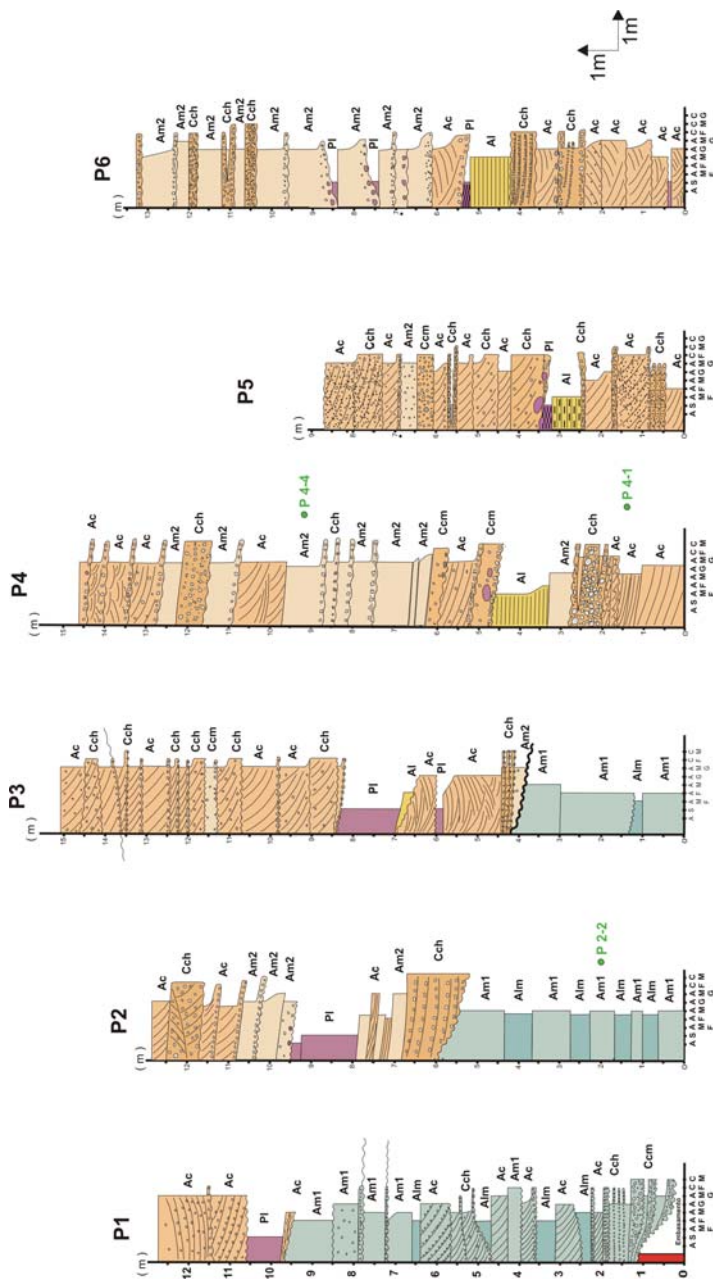


Figura 13 Perfis faciológicos elaborados. Estão assinalados os locais de coleta das amostras analisadas petrograficamente.

4.3 Petrografia

Nesta etapa, foram analisadas três lâminas petrográficas, das amostras P2-2, P 4-1 e P4-4, correspondentes às fácies Am₁, Ac e Am₂, respectivamente (Tabelas 3 e 4; Figura 14).

Tabela 3 Resultado da análise de lâminas delgadas através da contagem de pontos, com valores expressos em porcentagem. (Qm = quartzo monocristalino, Qp = quartzo policristalino, Plg = plagioclásio, Cau = caulinita, Zir = zircão, Tur = turmalina, Op = opacos, Ma = matriz, Tr = traços).

Lâmina	Fácies	Composição mineralógica					
		Qm	Qp	Plg ⁸	Cau	Mica	Zir ²
P 2-2	Ac	38,6	3,0	88,3	6,0	1,6	11,8
P 4-1	Am ₂	49,4	3,7	93,1	5,4	3,0	6,9
P 4-4	Am ₂	54,1	8,7	1,7	3,1	2,3	-

Tabela 4 Porcentagens de quartzo total (Qt), feldspato (F) e fragmentos líticos (L) recalculadas para 100%.

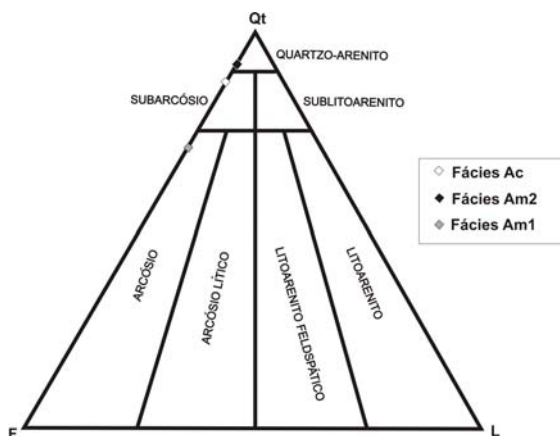


Figura 14 Composição dos arenitos baseada na moda calculada para quartzo total (Qt), feldspato (F) e fragmentos líticos (L), segundo o critério de Folk (1968).

Fácies Am₁ - vaque arcoseana, com arcabouço constituído por grãos de areia fina a média, moderadamente selecionada (Figura 15), pouco compactada (compactação evidenciada por grãos de biotita fraturados), apresentando grãos subangulosos a subarredondados, esféricos a subprismoidais, em contato do tipo pontual. É composta por quartzo (mono e policristalino), plagioclásio (freqüentemente alterado em caulinita) e, secundariamente, por mica (muscovita e biotita), turmalina, zircão e minerais opacos. Apresenta matriz argilosa secundária, proveniente da alteração de grãos de feldspato, e rara porosidade intergranular.

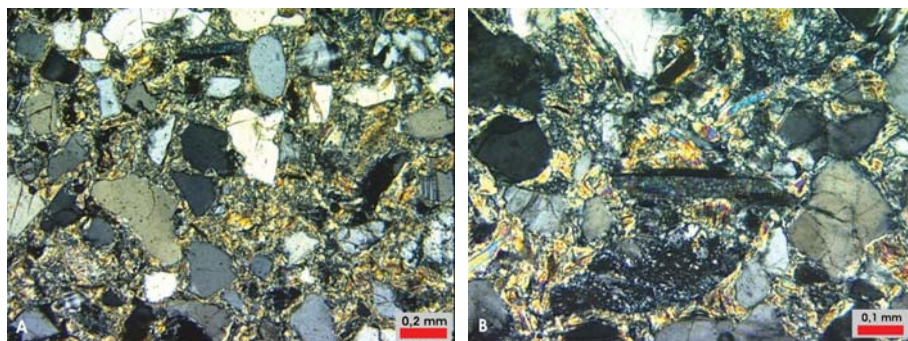


Figura 15 (A) Visão geral em lâmina delgada da fácies Am₁. (B) detalhe destacando o preenchimento dos poros por matriz argilosa.

Fácies Ac – arenito subarcosiano com arcabouço constituído por grãos de areia média a grossa, moderadamente selecionado (Figura 16), pouco compactado (compactação evidenciada por grãos de biotita fraturados), apresentando grãos subangulosos a subarredondados, predominantemente esféricos. Composto por quartzo (mono e policristalino), plagioclásio (alterado em caulinita), mica (muscovita), e, secundariamente, turmalina e minerais opacos. Apresenta pouca matriz argilosa (secundária, preenchendo espaços entre os grãos), porosidade elevada, dos tipos intergranular e intragranular, sendo que a última está presente nos grãos alterados de feldspato. Os poros são circulares a alongados, com conectividade moderada a alta.

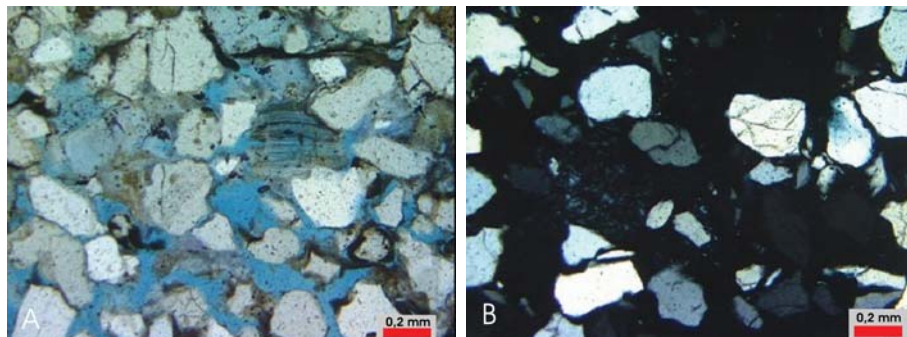


Figura 16 Visão geral em lâmina delgada da fácies Ac. (A) Nicóis paralelos e (B) nicóis cruzados.

Fácies Am₂ – quartzo-arenito, com arcabouço de areia grossa a muito grossa, moderadamente selecionado (Figura 17), pouco compactado, com grãos subangulosos, esféricos a subprismoidais com contato pontual. Composto por quartzo (mono e policristalino), plagioclásio alterado em caulinita, e secundariamente mica (muscovita e biotita), turmalina e minerais opacos. Apresenta pouca matriz argilosa (secundária, preenchendo espaços entre os grãos), porosidade elevada, dos tipos intergranular e intragranular (nos grãos de feldspatos alterados), poros circulares a alongados, com conectividade moderada.

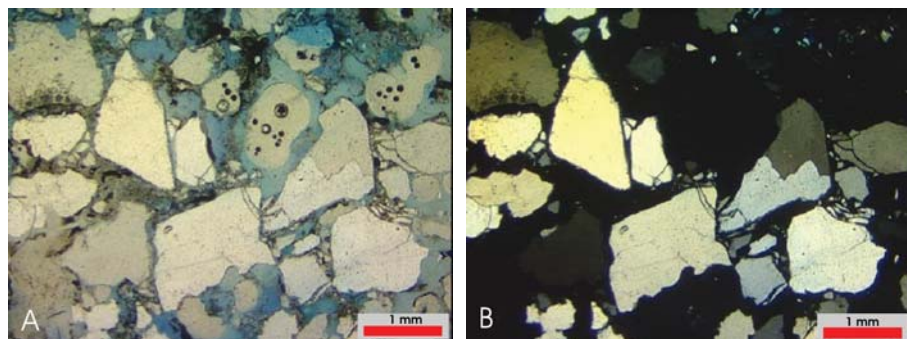


Figura 17 Visão geral em lâmina delgada da fácies Am₂. (A) Nicóis paralelos e (B) nicóis cruzados.

5 Conclusões

Embora não tenha sido objetivo deste trabalho, algumas observações podem ser feitas a respeito da reconstituição paleoambiental dos depósitos paleogênicos que preenchem a bacia sedimentar aqui estudada, em adição às interpretações anteriores.

Com relação à Formação Resende, no afloramento estudado predominam arenitos maciços e arenitos lamosos, típicos desta unidade, tendo sido descritas características faciológicas e da arquitetura deposicional que sugerem a deposição destes sedimentos em planícies de inundação, com desenvolvimento incipiente de paleossolos aluviais. Sedimentos arenosos estratificados ocorrem intercalados, ricos em feldspatos, apontando para fluxos trativos vigorosos, com rápido soterramento (elevado aporte sedimentar). A associação faciológica descrita parece representar um sistema fluvial de alta energia, com episódios de inundação significativos.

Quanto à Formação Pinheiral, cujo afloramento estudado constitui a seção-tipo proposta por Sanson (2006), destaca-se a ocorrência de dois conjuntos de camadas predominantemente arenosas (arenitos estratificados), com geometria lenticular estendida, limitados por um expressivo intervalo predominantemente pelítico. Esta sucessão deposicional pode ser interpretada como o registro de um sistema fluvial de baixa sinuosidade, arenoso, com freqüentes reativações e avulsões dos canais fluviais, sendo os intervalos pelíticos associados ao preenchimento de canais abandonados, ratificando o modelo deposicional apresentado por Sanson (2006) - sistema fluvial entrelaçado com mudanças periódicas nas condições de fluxo.

Quanto à caracterização multiescalar dos aspectos sedimentares, megascopicamente os depósitos da Formação Resende no afloramento estudado apresentam, em geral, estilo de compartimentação de complexidade baixa, com alta conectividade entre os elementos OF. A complexidade torna-se um pouco maior onde estão presentes os elementos SB e GB, no lado norte do afloramento, com freqüentes truncamentos. Macroscopicamente, estes depósitos caracterizam-se por uma intercalação de camadas arenosas e lamosas predominantemente tabulares, apresentando baixa transmissibilidade de fluidos, devido à elevada quantidade de matriz. O caráter maciço de algumas camadas pode estar relacionado a modificações pós-deposicionais que levaram à obliteração de eventuais estruturas pretéritas. Do ponto de vista microscópico, os arenitos da Formação Resende apresentaram índice de porosidade muito reduzido, tendo sido este influenciado pela alteração de feldspatos, gerando matriz argilosa secundária que preenche os poros, interrompendo a conectividade entre eles.

Os depósitos da Formação Pinheiral apresentam estilo de compartimentação de complexidade média, exibindo freqüentes truncamentos dos elementos. Os elementos SB (predominante) e GB apresentam alta transmissibilidade de fluidos, de forma análoga a rochas-reservatório, enquanto os elementos OF, de baixa permeabilidade, se comportam como barreiras de fluxo. Os contatos entre camadas arenosas de mesma fácies ou de fácies

distintas, quase sempre com ocorrência de linhas de cascalho, com formas horizontais e irregulares ou côncavas para cima, representam superfícies de descontinuidade permo-porosas. Na escala mesoscópica, as estratificações cruzadas de pequeno a médio porte e superfícies concordantes que limitam os *sets* de estratificações caracterizam uma condição de anisotropia da rocha, determinando condições preferenciais de fluxo na direção horizontal. O caráter maciço de algumas camadas pode estar relacionado a modificações pós-deposicionais, obliterando eventuais estruturas primárias. A análise microscópica destes depósitos apresentou índices de porosidade próximos aos padrões de reservatório.

Do ponto de vista da análise de reservatórios, os depósitos estudados da Formação Resende, constituídos predominantemente por material de baixa transmissibilidade, não apresentaram boas características. No entanto, as análises aqui efetuadas restringiram-se a arenitos lamosos. Estudos mais abrangentes destes depósitos, na Bacia de Resende, pelo Projeto MODESTHI (Bettini, 2004), encontraram características que comprovam a boa qualidade como reservatórios dos sedimentos arenosos intercalados aos arenitos lamosos.

Os depósitos da Formação Pinheiral, com boas características como reservatórios, ocorrem superficialmente, de forma não confinada, nos topos das colinas, sendo qualificados como importantes meios de recarga dos aquíferos.

Recomenda-se, para estudos futuros, a realização de mais análises petrográficas para a caracterização das demais fácies sedimentares identificadas, e a caracterização hidrogeológica destes materiais sedimentares, de modo a se avançar no conhecimento do comportamento destas rochas como aquíferos.

6 Agradecimentos

A Lucas Costa, André Negrão, Ana Carolina Barboza e Ghislaine Medeiros pelo apoio nas atividades de campo. Este estudo contou com o apoio do CNPq.

7 Referências

Allen, J.R.L. 1983. Studies in fluvial sedimentation: bar, bar-complexes and sandstone sheets (low sinuosity braided systems) in the Brownstones (L. Devonian), Welsh Borders. *Sedimentary Geology*, 33:237-293.

- Almeida, F.F.M. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48:15-26.
- Amador, E.S. 1975. Estratigrafia e sedimentação na bacia de Resende - RJ. *Anais da Academia Brasileira de Ciências (Supl.)*, 47:181-223.
- Amador, E.S. & Castro, M.I.B. 1976. Depósitos neocenozóicos da bacia de Volta Redonda, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. *Anais*, Ouro Preto, Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.307-327.
- Asmus, H.E. & Ferrari, A.L. 1978. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na Região Sudeste do Brasil. In: ASPECTOS ESTRUTURAIIS DA MARGEM CONTINENTAL LESTE E SUDESTE DO BRASIL, Rio de Janeiro, CENPES/DINTEP, Série Projeto REMAC, 4, p. 75-88.
- Basu, A.; Young, S.W; Suttner, L.J.; James, W.C. & Mack, G.H. 1975. Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 45:873-882.
- Bettini, C. (Coord). 2004. *Modelagem estratigráfica de reservatórios terrígenos: aplicação à avaliação do potencial hídrico da bacia de Resende (RJ)*. Relatório, UFRJ / CPRM / ON, Rio de Janeiro, 266 p.
- Borghini, L. 2000. Visão geral da análise de fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional. *Boletim do Museu Nacional, Geologia*, 53: 1-26.
- Dickinson, W.R. 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology*, 40:695-707.
- Folk, R.L. 1968. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, HeinphilFs, 170p.
- Galloway, W.E. & Hobday, D.K. 1996. *Facies Characterization of Reservoirs and Aquifers. Terrigenous clastic depositional systems*. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co, p. 426-444.
- Gazzi, P. 1966. Le arenarie del flysch sopracretaceo dell'Apennino emiliano. *Mineralogiez et Petrografica Acta*, 16:97-137.
- Hasui, Y.; Carneiro, C.D.R. & Coimbra, A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 5:257-264.
- Hasui, Y.; Gimenez, A.F. & Melo, M.S. 1978. Sobre as bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, *Anais*, Recife, Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.382-392.
- Heilbron, M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Campos Neto, M.C.; Silva, L.C.; Trouw, R.A.J. & Janasi, V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; DAL RÉ CARNEIRO, C. & BRITO NEVES, B.B. (orgs.) *Geologia do Continente Sul-Americano* –

- Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, p. 203-235.
- Mello, C.L. 1992. *Fácies Sedimentares, Arquitetura Depositional e Relações Morfoestratigráficas em um Sistema de Leques Aluviais Holocênicos: Aloformação Manso - médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ)*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 188 p.
- Mello, C.L.; Moura, J.R.S.; Carmo, I.O.; Silva, T.N. & Peixoto, M.N.O. 1995. Eventos de sedimentação durante o Holoceno no médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ) – aloestratigrafia e datações por radiocarbono. *In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO/ABEQUA*, 5. *Anais*, p. 193 – 197.
- Melo, M.S.; Riccomini, C.; Hasui, Y.; Almeida, F.F.M. & Coimbra, A.M. 1985. Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 15(3):193-201.
- Melo, M.S.; Riccomini, C.; Campanha, G.A.C.; Miotto, J.A. ; Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Ponçano, W.L. & Gimenez, A.F. 1983. *Estudos geológico-tectônicos na Bacia de Resende (RJ) e sedimentos terciários de Volta Redonda (RJ) e Bacia de Taubaté (área de Cruzeiro-SP)*. Relatório 17.737, IPT, São Paulo, 124 p.
- Miall, A.D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Review*, 22: 261-308.
- Miall, A.D. 1988. Reservoir Heterogeneities in Fluvial Sandstones: Lessons from Outcrop Studies. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 72 (6): 682-697.
- Miall, A.D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer Verlag, 582p.
- Padilha, A.L. & Vitorello, I. 1992. Investigações geoeletricas nas bacias de Volta Redonda e Resende. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 37, *Boletim de Resumos Expandidos*, Sociedade Brasileira de Geologia, 2: 403-404.
- Ramos, R.R.C. 2003. *Sistemas Aluviais Terciários da Bacia de Resende, Estado do Rio de Janeiro, Brasil: Análise de fácies e Revisão Estratigráfica*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 221 p.
- Riccomini, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 256 p.
- Riccomini, C.; Melo, M.S.; Carneiro, C.D.R.; Almeida, F.F.M.; Miotto, J.A. & Hasui, Y. 1983. Sobre a ocorrência de um derrame de ankaramito na Bacia de Volta Redonda (RJ) e sua importância na datação das bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. *In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA*, 4, *Boletim de Resumos*, Sociedade Brasileira de Geologia, 1:23-24.

- Riccomini, C.; Sant'Anna, L.G. & Ferrari, A.L. 2004. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. *In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; DAL RÉ CARNEIRO, C. & BRITO NEVES, B.B. (orgs.) Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, p. 383-405.
- Sanson, M.S.R. 2006. *Sistemas Depositionais Aluviais e Tectônica Rúptil Cenozóica na Região de Volta Redonda (RJ) – Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. xvi, 142 p.
- Trouw, R.A.J.; Heilbron, M.; Ribeiro, A.; Paciullo, F.V.P.; Valeriano, C.M.; Almeida, J.C.H.; Tupinambá, M. & Andreis, R.R. 2000. The central segment of the Ribeira belt, *In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A. & CAMPOS, D.A. (eds.) Tectonic Evolution of South America*, 854 p. 31st International Geological Congress, p. 287-310.
- Zuffa, G.G. 1985. Optical analysis of arenites: influence of methodology on composition results. *In: ZUFFA, G.G. (ed.). Provenance of Arenites*. D. Reidel Publish Company, p.165-189.