**Caracterização petrográfica da Formação Emborê
com base em dados dos poços 2-CST-1-RJ e 9-BRF-1D-RJ
(região emersa da Bacia de Campos)**

*Petrographic characterization of Emborê Formation based on data from
2-CST-1-RJ and 9-BRF-1D-RJ wells (onshore area of Campos Basin, SE Brazil)*

Thais Coelho Brêda¹, Claudio Limeira Mello¹, Gerson Cardoso da Silva Junior¹,
Maria da Gloria Alves², Eduardo Batista Neiva³

¹Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Avenida Athos da Silveira Ramos, 274,
Bloco J, sala J2-023, CEP 21941-916, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, BR (thaisbreda@geologia.ufrj.br;
limeira@geologia.ufrj.br; gerson@acd.ufrj.br)

²Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF,
Rio de Janeiro, RJ, BR (mgloria@uenf.br)

³Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, BR (eduardoneiva@petrobras.com.br)

Recebido em 14 de outubro de 2016; aceito em 26 de junho de 2018

Resumo

O presente estudo teve como objetivo a caracterização sedimentológica e petrográfica da Formação Emborê, com base na descrição de amostras de arenitos de dois poços profundos localizados na área emersa da Bacia de Campos (2-CST-1-RJ e 9-BRF-1D-RJ). Buscou-se ampliar o conhecimento sobre os aspectos texturais e composicionais dessa unidade litoestratigráfica, ainda muito pouco estudada e que apresenta um grande potencial hídrico, contendo o mais importante aquífero do estado do Rio de Janeiro, foco da pesquisa que ensejou este artigo. No poço 2-CST-1-RJ foram descritas amostras de testemunhos e no poço 9-BRF-1D-RJ foram analisadas amostras de calha e *plugs* laterais. Os intervalos sedimentares analisados nos dois poços são semelhantes quanto aos aspectos sedimentológicos, sendo predominantemente areníticos, com intercalações de lamitos. Após a caracterização sedimentológica dos testemunhos e amostras de calha, foram selecionadas amostras de arenitos dos testemunhos do poço 2-CST-1-RJ e os *plugs* laterais do poço 9-BRF-1D-RJ para a descrição microscópica em lâminas petrográficas. Os arenitos são, em geral, finos a grossos, moderadamente a mal selecionados, de coloração acinzentada a esverdeada, com grãos angulosos a subangulosos, quartzosos e feldspáticos, com presença significativa de litoclastos graníticos nas amostras do poço 9-BRF-1D-RJ. Correspondem principalmente a arcósios, subarcósios e arcósios líticos, sendo atribuídos ao Membro São Tomé da Formação Emborê. Os aspectos texturais e mineralógicos evidenciam uma baixa maturidade. Na maior parte das amostras, verificou-se a presença de matriz argilosa do tipo epimatriz, proveniente da dissolução de grãos de feldspatos e a sua posterior infiltração nos poros. A porosidade atinge até cerca de 20%, sendo essencialmente de origem secundária, gerada pelo encolhimento da matriz, dissolução ou fraturamento dos grãos, com baixa conectividade entre os poros. As baixas maturidades textural e mineralógica dos arenitos indicam proximidade da área fonte. Processos pós-deposicionais, com geração de abundante epimatriz, resultaram na obliteração da porosidade primária.

Palavras-chave: Formação Emborê; Bacia de Campos; Petrografia Sedimentar.

Abstract

This study aimed to contribute to sedimentologic and petrographic characterization of the Emborê Formation (Upper Cretaceous to Holocene, Campos Basin, Continental Margin of Southeastern Brazil) based on the analysis of sandstones from two deep wells located in the onshore portion of the basin (2-CST-1-RJ and 9-BRF-1D-RJ, both performed by PETROBRAS). The goal was to increase knowledge about textural and compositional aspects of the Emborê Formation, still poorly studied and presenting a significant groundwater potential, comprising the main aquifer of Rio de Janeiro State, focus of the research, resulting in the current article. After sedimentologic characterization of the core samples from 2-CST-1-RJ well and trough samples from 9-BRF-1D-RJ well, thin sections from selected 2-CST-1-RJ core samples and 9-BRF-1D-RJ lateral samples were described. The sedimentologic logs of 2-CST-1-RJ and 9-BRF-1D-RJ wells are very similar and show the predomina-

ce of sandstones with interbedded mudstones. Sandstones are generally fine to coarse, moderately to poorly sorted, grayish to greenish, with angular to subangular grains, and are composed essentially of quartz and feldspars, with a significant presence of granitic lithoclasts in samples from 9-BRF-1D RJ well. These rocks were assigned to São Tomé Member of Emborê Formation. Sandstones are classified as arkose, subarkose and lithic arkoses, showing low mineralogical maturity. Textural aspects also indicate low maturity. In most of the samples, it was described the presence of clay matrix (classified as epimatrix), related to feldspar dissolution and subsequent infiltration into the pores. The porosity reaches about 20% and its origin is mainly secondary, generated by matrix contraction, grain dissolution or grain fracturing. Pore connectivity is low. Low textural and mineralogical maturities of sandstones indicate proximity of the source area. Post depositional processes resulted in abundant epimatrix and caused the obliteration of primary porosity.

Keywords: Emborê Formation; Campos Basin; Sedimentary Petrography.

INTRODUÇÃO

A Formação Emborê compreende sedimentos siliciclásticos e carbonáticos de idade Turoniano ao Recente (Winter et al., 2007), incluídos na Fase Drifte da Bacia de Campos, distribuindo-se desde a porção emersa até o limite com o talude continental, sendo associados a ambientes deltaicos a plataformais.

Essa unidade litoestratigráfica foi definida por Schaller (1973), quando formalizou a primeira coluna estratigráfica da Bacia de Campos. Desde então, foram poucos os trabalhos dedicados a essa unidade, sendo o estudo desenvolvido por Gama Jr. (1977) aquele de maior detalhamento dos seus depósitos. Esse autor atribuiu os depósitos da Formação Emborê a um sistema deltaico dominado por ondas, que teria progradado sobre uma extensa plataforma continental durante vários ciclos sedimentares.

Rangel et al. (1994) e Winter et al. (2007) subdividiram a Formação Emborê em três membros: São Tomé (referido por autores anteriores como “fácies” São Tomé), Siri e Grussaí. De acordo com Winter et al. (2007), o Membro São Tomé é composto por sedimentos conglomeráticos e areníticos proximais, e os membros Grussaí e Siri constituem sucessões predominantemente carbonáticas.

A Formação Emborê é ainda muito pouco estudada e tem despertado maior interesse devido ao importante potencial hídrico que apresenta na porção emersa da Bacia de Campos. Nesse sentido, constituiu o tema principal do projeto “Avaliação Hidrogeológica da Formação Emborê na Porção Emersa da Bacia Sedimentar de Campos visando o Descarte de Água de Produção de Petróleo”, que foi realizado junto à Rede Temática da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)/PETROBRAS “Gerenciamento de Águas no Segmento Produção de Petróleo”.

O presente estudo foi desenvolvido no âmbito desse projeto, tendo como objetivo realizar a caracterização sedimentológica e petrográfica da Formação Emborê na área emersa da Bacia de Campos, com base em dados obtidos nos poços 2-CST-1-RJ e 9-BRF-1D-RJ (ambos executados pela PETROBRAS), visando ampliar o conhecimento sobre os aspectos texturais e composicionais dessa unidade litoestratigráfica.

O poço 2-CST-1-RJ constitui o único de caráter estratigráfico perfurado na área emersa da Bacia de Campos pela

PETROBRAS. Apresenta dados de toda a coluna sedimentar da região, tendo atingido o embasamento da bacia. O poço 9-BRF-1D-RJ, localizado próximo ao 2-CST-1-RJ, também atingiu o embasamento, permitindo uma correlação entre os dados obtidos.

GEOLOGIA REGIONAL

Embasamento

A região emersa adjacente à Bacia de Campos está geotectonicamente inserida no contexto das faixas móveis Ribeira (*trend* geral de direção NE-SW) e Araçuai (*trend* geral N-S), pertencentes à Província Mantiqueira e caracterizadas como complexos estruturais de idade neoproterozoica, associados ao Ciclo Orogênico Brasileiro, resultante da amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental (Heilbron et al., 2004).

Segundo Bizzi et al. (2003), o embasamento regional é formado por complexos gnáissicos (Região dos Lagos, Búzios e Paraíba do Sul) e suítes intrusivas (Figura 1). Silva e Cunha (2001) caracterizam essas unidades como:

- Complexo Paraíba do Sul: de idade meso/neoproterozoica, corresponde à unidade de maior abrangência, constituída essencialmente por metassedimentos detríticos, mármore e gnaisses;
- Complexo Búzios: de idade meso/neoproterozoica, é representado por paragneisses quartzo-feldspáticos e cianita-sillimanita-granada-biotita xistos, intercalados com granada anfibolito e gnaisses calcissilicático;
- Complexo Região dos Lagos: de idade paleoproterozoica, é caracterizado por hornblenda-biotita ortogneisses bandados/dobrados, cinzentos, de composição tonalítica a granítica, com abundantes paleodiques anfibolíticos deformados;
- Suítes intrusivas: correspondem a granitoides pré a tarditectônicos e charnoquitoides sin a tarditectônicos, com orientação principal NE-SW e idade neoproterozoica; e granitoides pós-tectônicos, de idade eopaleozoica.

O magmatismo alcalino que atingiu a Plataforma Brasileira durante o final do Mesozoico e início do Cenozoico é representado na região pelos maciços alcalinos do Morro São

Figura 1. Mapa geológico da área emergida adjacente à Bacia de Campos, com base em Bizzi et al. (2003). Está indicada a localização dos poços utilizados no presente estudo.

João e da Ilha de Cabo Frio (Figura 1), além de diques. Também são frequentes diques toleíticos de idade eocretácea.

Em termos geomorfológicos, o embasamento pré-cambriano relaciona-se a compartimentos serranos e de colinas baixas, sendo recoberto, na área de estudo, por depósitos de idade cenozoica: Formação Barreiras (Mioceno-Plioceno), cujos depósitos estão associados a um relevo de tabuleiros; e sedimentos quaternários fluviais e marinhos, que compõem expressivas planícies costeiras.

Cenozoico da Bacia de Campos

A sedimentação cenozoica da Bacia de Campos (Figura 2) é representada por rochas siliciclásticas e carbonáticas do Grupo Campos (Fase Drifte), associadas a ambientes de plataforma rasa a marinho profundo (Winter et al., 2007). Durante o Cenozoico são registrados, ainda, três eventos magmáticos: Cretáceo-Paleógeno, Eoceno inicial e Eoceno médio.

Segundo Winter et al. (2007), o Grupo Campos (Turoniano ao Recente) engloba as formações Carapebus, Ubatuba, Emborê e Barreiras, que marcam um evento transgressivo até o Paleoceno e um evento regressivo do Paleoceno até o Recente. Os depósitos da Formação Ubatuba (membros Tamoios, de idade neocretácea, e Geribá, de idade paleogênica a quaternária) e da Formação Carapebus caracterizam uma sedimentação siliciclástica fina, com corpos arenosos originados por fluxos hiperpicnais de ambiente marinho

profundo. A Formação Emborê, com ocorrência na área emersa (não aflorante) e na plataforma continental, é dividida em três membros: São Tomé (sedimentos conglomeráticos e areníticos de fan-deltas e deltas); Grussaí (carbonatos plataformais, constituídos por calcarenitos e calcirruditos bioclásticos, principalmente compostos por algas vermelhas, quartzosos, com matriz micrítica — *packstone*; diamictitos e intercalações de arenitos maciços ou laminados; siltitos argilosos; folhelhos e margas); e Siri (corpos de rochas carbonáticas formados por bancos recifais de algas vermelhas). A Formação Barreiras (Mioceno-Plioceno), aflorante, ocorre na porção emersa da Bacia de Campos e é caracterizada predominantemente por arenitos, com lamitos intercalados, em geral bastante ferruginizados, associados a ambiente fluvial entrelaçado (Morais, 2001; Morais et al., 2006).

Os depósitos de idade quaternária correspondem a terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, depósitos lagunares holocênicos e depósitos aluviais e coluviais, bastante desenvolvidos junto às desembocaduras dos principais rios, especialmente o Paraíba do Sul (Figura 1).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente estudo foram utilizadas amostras de dois poços profundos executados pela PETROBRAS: o poço 2-CST-1-RJ e o poço 9-BRF-1D-RJ (ver localização na Figura 1). O poço 2-CST-1-RJ foi

Fonte: extraído e modificado de Winter et al. (2007).

Figura 2. Intervalo referente ao Cenozoico na coluna estratigráfica da Bacia de Campos.

perfurado na localidade de Cabo de São Tomé (Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro), no ano de 1959, e alcançou profundidade de 2.620,90 metros, com uma amostragem não contínua de testemunhos. O poço 9-BRF-1D-RJ foi perfurado na localidade de Barra do Furado (Quissamã, Rio de Janeiro), no ano de 2008, alcançando a profundidade de 1.759,24 metros, com amostragem de calha a cada 3 metros.

A metodologia utilizada foi dividida em duas etapas: descrição de testemunhos e de amostras de calha; e análise petrográfica.

Na primeira etapa foram descritos os testemunhos do poço 2-CST-1-RJ e as amostras de calha do poço 9-BRF-1D-RJ, considerando os seguintes aspectos sedimentológicos: granulometria, seleção, arredondamento, composição mineralógica e cor. Além dessas propriedades, nos testemunhos do poço 2-CST-1-RJ foram descritos aspectos da matriz, cimento e estruturas sedimentares.

Para a análise petrográfica foram selecionadas 18 amostras de arenitos dos testemunhos do poço 2-CST-1-RJ e 3 amostras de arenitos dos *plugs* laterais do poço 9-BRF-1D-RJ (Tabela 1). As amostras 4(a) e 4(b) do poço 2-CST-1-RJ foram coletadas na mesma caixa de testemunho, porém em intervalos com características sedimentológicas diferentes. As amostras analisadas do poço 9-BRF-1D-RJ correspondem a todas as amostras de arenitos disponíveis para a análise petrográfica nesse poço e, mesmo em pequeno número, a

inclusão dessas amostras foi importante por estarem situadas no intervalo próximo ao contato com o embasamento, complementando os dados obtidos do poço 2-CST-1-RJ.

As lâminas petrográficas foram descritas considerando os aspectos texturais (granulometria, seleção, arredondamento, matriz, cimento, contato entre os grãos, porosidade — conforme Boggs Jr., 2009) e mineralógicos. Foi utilizado microscópio binocular de luz transmitida da marca Olympus, modelo CX31, dotado de câmera digital Olympus SC30. A matriz foi classificada como: protomatriz (sindeposicional) e epimatriz (resultante da alteração de grãos do arcabouço, com posterior infiltração do material argiloso no espaço poroso). Foi realizada a quantificação da matriz, da composição mineralógica e da porosidade através do método de contagem de pontos (mínimo de 300 pontos), segundo o método de Gazzi-Dickinson (Zuffa, 1984). Os valores para a composição mineralógica foram posteriormente recalculados para porcentagens de quartzo/feldspatos/litoclastos, e plotados no diagrama ternário de classificação de rochas (segundo Folk, 1980).

RESULTADOS

Aspectos sedimentológicos

Poço 2-CST-1-RJ

O perfil composto do poço 2-CST-1-RJ, realizado pela PETROBRAS com base em dados de perfis geofísicos (Figura 3), mostra um pacote sedimentar de aproximadamente 1.945 metros de espessura, correspondente à “lito-fácies” São Tomé, de acordo com Gama Jr. (1977), sobreposto a diabásios da Formação Cabiúnas. Na profundidade de 2.600 metros, o poço atinge o embasamento gnáissico pré-cambriano. Os primeiros 25 metros, aproximadamente, corresponderiam a depósitos quaternários.

O pacote sedimentar correspondente à Formação Emborê apresenta uma predominância de arenitos (aproximadamente 72%), em intervalos que variam desde 5 a 100 metros de espessura, com intercalações de intervalos de argilitos, de 1 a 10 metros de espessura, que perfazem, no total, 26% do perfil. Os 2% restantes do perfil composto correspondem a conglomerados.

Com base na análise dos testemunhos, os arenitos são predominantemente médios a grossos, podendo apresentar níveis conglomeráticos e matriz argilosa, moderadamente a mal selecionados, de coloração cinza-esverdeada a avermelhada (por oxidação), com grãos variando de angulosos a subarredondados (Figuras 4A e 4B). São compostos essencialmente de quartzo, com presença significativa de feldspatos, podendo conter muscovita, biotita e minerais opacos. Em alguns intervalos foi possível observar presença

Tabela 1. Relação das amostras dos poços 2-CST-1-RJ e 9-BRF-1D-RJ utilizadas na análise petrográfica, com as respectivas profundidades.

Poço	Amostra	Intervalo de profundidade (m)
2-CST-1-RJ	CST-a01	24,10/27,10
	CST-a02	72,32/75,00
	CST-a03	100,00/103,00
	CST-a04(a)	155,90/159,00
	CST-a04(b)	155,90/159,00
	CST-a05	349,59/352,59
	CST-a06	488,90/491,00
	CST-a07	921,53/924,53
	CST-a08	1.144,15/1.147,15
	CST-a09	1.199,61/1.202,61
	CST-a10	1.227,08/1.229,08
	CST-a11	1.257,25/1.260,25
	CST-a12	1.288,02/1.290,02
	CST-a13	1.365,88/1.368,88
	CST-a14	1.448,53/1.450,00
	CST-a15	1.504,50/1.507,00
	CST-a16	1.919,19/1.920,76
	CST-a17	1.947,59/1.950,59
9-BRF-1D-RJ	BRF-a01	1.796,30
	BRF-a02	1.828,00
	BRF-a03	1.837,00

de intraclastos argilosos (Figura 4C), estruturas de bioturbação, às vezes associadas a mosqueamento vermelho-alaranjado (Figura 4D), estratificações cruzadas (Figuras 4A) e, na base do perfil, litoclastos graníticos (Figura 4E).

Os lamitos apresentam-se maciços ou com laminação incipiente, mostrando coloração esverdeada a cinza-esverdeada (Figura 4F), com grãos de areia e grânulos esparsos de quartzo subangulosos. Podem ocorrer estruturas de bioturbação associadas a mosqueamento avermelhado.

Poço 9-BRF-1D-RJ

O perfil composto do poço 9-BRF-1D-RJ, realizado pela PETROBRAS com base em dados de amostras de calha e perfis geofísicos (Figura 5), mostra um pacote sedimentar de aproximadamente 1.850 metros de espessura aparente sobre rochas metamórficas do embasamento cristalino. Como se trata de um poço direcional, a espessura real de sedimentos corresponde a aproximadamente 1.545 metros. O pacote sedimentar foi atribuído ao Membro São Tomé da Formação Emborê. A cobertura de sedimentos quaternários não foi estimada.

Com relação às características sedimentológicas, o perfil do poço apresenta uma proporção de arenitos e argilitos bastante semelhante a que foi verificada no poço 2-CST-1-RJ,

com aproximadamente 73% de arenitos e 27% de argilitos (Figura 5). No entanto, os intervalos apresentam menor espessura e os argilitos ocorrem com maior frequência.

A análise das amostras de calha permitiu a descrição de intervalos areníticos predominantemente compostos por areias de granulometria fina a grossa, moderadamente a muito mal selecionadas, de coloração acinzentada a esverdeada, com grãos angulosos a subarredondados, podendo apresentar grânulos e seixos de até 7 mm. A composição mineralógica essencial é de quartzo e feldspato, com ocorrência por vezes de muscovita, biotita, minerais opacos e fragmentos líticos.

Aspectos petrográficos

Poço 2-CST-1-RJ

As análises petrográficas dos arenitos do poço 2-CST-1-RJ mostraram uma variação de arenitos muito finos a muito grossos, moderadamente a muito mal selecionados, com grãos angulosos a subangulosos (Figura 6A). Apresentam, em geral, contatos entre os grãos do tipo pontual a alongado, evidenciando uma baixa compactação. As amostras CST-a04(b) e CST-a05 foram descritas como arenitos muito finos a finos, moderadamente selecionados, com grãos subangulosos.

Figura 3. Perfil litológico do poço 2-CST-1-RJ, a partir de dados disponibilizados pela PETROBRAS. Amostras analisadas: 1) CST-a01; 2) CST-a02; 3) CST-a03; 4) CST-a04(a) e CST-a04(b); 5) CST-a05; 6) CST-a06; 7) CST-a07; 8) CST-a08; 9) CST-a09; 10) CST-a10; 11) CST-a11; 12) CST-a12; 13) CST-a13; 14) CST-a14; 15) CST-a15; 16) CST-a16; 17) CST-a17.

Figura 4. Aspectos sedimentológicos do testemunho do poço 2-CST-1-RJ. (A) Arenito grosso, mal selecionado, com seixos de até 6 mm, composição quartzosa (predominantemente) e feldspática, cor acinzentada, grãos subangulosos a subarredondados, passando a arenitos finos a médios, quartzosos, mal selecionados, com presença de grânulos, de cor acinzentada. Presença de estratificações cruzadas; (B) arenito médio a grosso, com grãos angulosos a subangulosos, mal selecionado, quartzoso, com matriz lamosa. Apresenta cor castanho-avermelhada, por oxidação. Presença de seixos de até 5 mm; (C) arenito médio, moderadamente selecionado, com grãos subangulosos a subarredondados, quartzoso, de cor cinza-esverdeada. Presença de intraclastos de argila (i), grânulos de quartzo e feldspato (3 mm) e matriz lamosa; (D) arenito médio, mal selecionado, composto predominantemente por grãos subangulosos de quartzo e feldspato. Contém grânulos de quartzo e feldspato de até 5 mm, angulosos. Apresenta mosqueamento vermelho-alaranjado relacionado a bioturbações (formas cilíndricas com até 2 cm de largura, de composição lamosa); (E) litoclastos de composição granítica (Lt), de 4 a 7 cm, em arenito médio a grosso, quartzoso, mal selecionado, de coloração cinza-clara; (F) lamito arenoso de coloração esverdeada.

As amostras CST-a09 e CST-a15 correspondem a arenitos finos lamosos, mal selecionados, com grãos subangulosos a angulosos (Figura 6B). As demais amostras correspondem a arenitos médios a muito grossos.

A concentração de matriz argilosa é alta em praticamente todas as lâminas, perfazendo em média 30%, variando de 7,0% na amostra CST-a13 a 45,4% na amostra CST-a15 (Tabela 2). Em todas as amostras, com exceção da CST-a16, a matriz apresenta-se com orientação, indicando uma origem secundária (epimatriz – Figura 6C), que seria resultado da infiltração de material argiloso proveniente da dissolução de grãos instáveis (feldspatos). Na amostra CST-a16, a matriz ocorre de forma mais homogênea e sem orientação, indicando uma origem primária (deposicional – Figura 6D).

A porosidade total observada nas amostras estudadas perfaz em média 10%, variando entre 2,0%, na amostra CST-a16, e 21,8%, na amostra CST-a05. As amostras CST-a05, CST-a06 e CST-a13 apresentam os maiores valores de porosidade (em torno de 20%). A origem da porosidade é essencialmente secundária, gerada pelo encolhimento da matriz (Tabela 2; Figura 6C) ou, ainda, pela dissolução dos grãos do arcabouço (porosidade móldica – Figura 7A). A conectividade entre os poros em geral é baixa.

O mineral mais abundante é o quartzo (Tabela 2), em média 71,3%, considerando os valores recalculados, e variando entre

58,7%, nas amostras CST-a16 e CST-a17, e 95,6%, na amostra CST-a03, ocorrendo principalmente como quartzo monocristalino não ondulante (Figura 7B) ou, em menor concentração, como quartzo monocristalino ondulante. Os grãos de quartzo policristalino são raros e apresentam, em geral, dois ou três subgrãos. Quanto aos feldspatos, ocorrem K-feldspatos (principalmente microclina – Figura 7C) e plagioclásios (Figura 7D), perfazendo um total de 22,7%, em média, considerando os valores recalculados, e variando entre 0%, na amostra CST-a03, e 36,7%, na amostra CST-a15. Foram identificados fragmentos líticos graníticos, com o valor máximo de 3,7% na amostra CST-a14. Ocorrem, ainda, diversos minerais acessórios, sendo muscovita, biotita e opacos os mais abundantes.

A partir dos valores de quartzo total, feldspato total e total de fragmentos líticos, recalculados para 100%, foi possível classificar as rochas segundo o diagrama de Folk (1980) (Figura 8). As amostras correspondem a arcósios e subarcósios, predominantemente, sendo apenas a amostra CST-a03 classificada como quartzo-arenito e a amostra CST-a12, como arcósio lítico.

Poço 9-BRF-1D-RJ

As análises petrográficas dos arenitos do poço 9-BRF-1D-RJ mostraram arenitos grossos a muito grossos, mal a muito

Figura 5. Perfil litológico do poço 9-BRF-1D-RJ, a partir de dados disponibilizados pela PETROBRAS. Amostras analisadas: 1) BRF-a01; 2) BRF-a02; 3) BRF-a03.

Figura 6. Aspectos petrográficos dos arenitos do poço 2-CST-1-RJ. (A) Amostra CST-a08, com polarizadores em paralelo. Arenito médio, moderadamente a mal selecionado, com grãos subangulosos a angulosos; (B) amostra CST-a15, com polarizadores em paralelo. Arenito fino a médio, lamoso, mal selecionado, com grãos subangulosos a angulosos. Nota-se a variação granulométrica ao longo da lâmina; (C) amostra CST-a01, com polarizadores em paralelo. Arenito médio a grosso com matriz argilosa de origem secundária, apresentando orientação, e porosidade causada pelo encolhimento da matriz (P.enc.); (D) amostra CST-a16, com polarizadores em paralelo. Arenito grosso, lamoso, muito mal selecionado, com grãos subangulosos a angulosos, apresentando matriz de origem primária, deposicional (protomatrix — Proto.).

Tabela 2. Composição petrográfica das amostras de arenitos analisadas do poço 2-CST-1-RJ. Os números entre parênteses correspondem aos valores de quartzo total, feldspato total e total de fragmentos líticos, recalculados para 100%.

Amostra	a01	a02	a03	a04(a)	a04(b)	a05	a06	a07	a08	a09	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17
Profundidade (m)	24,1	72,3	100,0	155,9	155,9	349,6	488,9	921,5	1.144,15	1.199,61	1.227,11	1.257,31	1.288,01	1.365,91	1.448,51	1.504,51	1.919,21	1.947,6
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	27,1	75,0	103,0	159,0	159,0	352,6	491,0	924,5	1.147,21	1.202,61	1.229,11	1.260,31	1.290,01	1.368,91	1.450,01	1.507,01	1.920,81	1.950,6
1. Quartzo	40,2	53,3	52,3	47,0	29,6	32,6	35,5	64,6	38,3	34,6	38,3	52,0	42,7	50,0	45,0	28,7	36,0	43,0
	(83,1)	(82,3)	(95,6)	(76,7)	(65,2)	(73,8)	(76,5)	(82,0)	(64,8)	(70,5)	(69,9)	(73,2)	(60,4)	(66,4)	(66,4)	(59,4)	(58,7)	(58,7)
2. Feldspato total (3+4)	8,0	5,9	—	12,6	13,9	8,6	9,3	13,2	19,0	10,6	15,3	14,0	14,4	23,0	17,4	17,7	19,0	22,0
	(16,5)	(9,1)	—	(20,5)	(30,6)	(19,4)	(20,0)	(16,7)	(32,2)	(21,6)	(27,9)	(19,7)	(20,4)	(30,6)	(25,6)	(36,7)	(31,0)	(30,0)
3. K-feldspato	7,0	2,6	—	5,3	11,6	7,6	7,0	10,6	15,0	8,6	10,0	6,3	3,7	10,0	6,7	14,0	8,0	10,7
4. Plagioclásio	1,0	3,3	—	7,3	2,3	1,0	2,3	2,6	4,0	2,0	5,3	7,7	10,7	13,0	10,7	3,7	11,0	11,3
5. Fragmentos líticos total (6+7+8)	0,2	5,6	2,4	1,7	1,9	3,0	1,6	1,0	1,8	3,9	1,2	5,0	13,6	2,3	5,4	1,9	6,3	8,3
	(0,4)	(8,6)	(4,4)	(2,8)	(4,2)	(6,8)	(3,5)	(1,3)	(3,0)	(7,9)	(2,2)	(7,1)	(19,2)	(3,0)	(8,0)	(3,9)	(10,3)	(11,3)
6. Líticos	—	—	—	—	—	—	0,7	0,6	1,0	—	—	—	—	—	3,7	—	—	1,4
7. Muscovita	—	1,6	1,4	1,7	0,6	—	—	—	0,7	3,6	1,0	1,7	4,3	2,0	0,3	1,5	3,6	3,3
8. Outros acessórios	0,2	4,0	1,0	—	1,3	3,0	0,9	0,4	0,1	0,3	0,2	3,3	9,3	0,3	1,4	0,4	2,7	3,6
9. Porosidade total	12,3	6,5	4,0	8,0	11,6	21,8	18,6	7,6	9,6	6,6	7,6	9,0	8,0	17,7	9,0	6,3	2,0	9,0
10. Matriz argilosa	39,3	28,7	41,3	30,7	43,0	34,0	35,0	13,6	31,3	44,3	37,6	20,0	21,3	7,0	23,2	45,4	36,7	17,7
11. Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

mal selecionados, apresentando grãos angulosos a subangulosos (Figura 9A). Apresentam, em geral, contatos entre os grãos do tipo pontual a alongado, evidenciando uma baixa compactação.

A concentração de matriz argilosa é moderada a alta (em torno de 25%, variando entre 20 e 28% – Tabela 3). A matriz ocorre contornando os grãos e apresenta orientação, indicando uma origem secundária (epimatriz), por infiltração de material argiloso proveniente da dissolução de grãos instáveis (feldspatos – Figuras 9B e 9C). Por vezes, esse material ocorre contornando poros alargados formados por dissolução de grãos (Figura 9D), sendo assim, anterior à dissolução do grão.

A porosidade total observada nas amostras estudadas corresponde, em média, a 18% (variando entre 14 e 22% – Tabela 3), com origem essencialmente secundária, sendo produzida pelo encolhimento da matriz lamosa, pela dissolução

Figura 8. Diagrama composicional triangular (segundo Folk, 1980) com os resultados das amostras analisadas do poço 2-CST-1-RJ.

Figura 7. Aspectos petrográficos dos arenitos do poço 2-CST-1-RJ. (A) amostra CST-a06, com polarizadores em paralelo. Porosidade gerada pela dissolução de grãos do arcabouço (P.mold.); (B) amostra CST-a06, com polarizadores cruzados. Grãos de quartzo monocristalino não ondulante (Qtzo), predominantemente, e de feldspato (microclina – Felds.); (C) amostra CST-a07, com polarizadores cruzados. Grão anguloso de microclina; (D) amostra CST-a10, com polarizadores cruzados. Grão anguloso de plagioclásio.

Tabela 3. Composição petrográfica das amostras de arenitos analisadas do poço 9-BRF-1D-RJ. Os números entre parênteses correspondem aos valores de quartzo total, feldspato total e total de fragmentos líticos, recalculados para 100%.

Amostra	BRF-a01	BRF-a02	BRF-a03
Profundidade (m)	1.796,3	1.828,0	1.937,0
1. Quartzo	29,5 (50,4)	37,0 (56,1)	26,0 (52,0)
2. Feldspato total (3+4)	13,1 (22,4)	20,0 (30,3)	14,0 (28,0)
3. K-feldspato	7,9	15,0	9,0
4. Plagioclásio	5,2	5,0	5,0
5. Fragmentos líticos total (6+7)	15,9 (27,2)	9,0 (13,6)	10,0 (20,0)
6. Líticos	14,9	8,0	9,0
7. Muscovita	1,0	1,0	1,0
8. Porosidade total	16,9	14,0	22,0
9. Matriz argilosa	24,6	20,0	28,0
10. Total	100,0	100,0	100,0

Figura 9. Aspectos petrográficos de arenitos do poço 9-BRF-1D-RJ. (A) Amostra BRF-a03, com polarizadores em paralelo. Arenito grosso a muito grosso, mal a muito mal selecionado, apresentando grãos angulosos a subangulosos; (B) amostra BRF-a03, com polarizadores em paralelo. Feldspato alterado gerando matriz argilosa; (C) amostra BRF-a03, com polarizadores cruzados (mesma visão da Figura 9B). Feldspato alterado gerando matriz argilosa; (D) amostra BRF-a01, com polarizadores em paralelo. Grão totalmente dissolvido, gerando porosidade móldica. A infiltração da matriz argilosa, que contorna o poro, foi anterior à dissolução do grão.

parcial ou total de grãos do arcabouço ou pelo fraturamento dos grãos (Figuras 9D, 10A, 10B, 10C).

O mineral mais abundante é o quartzo (em média 52,8%, considerando os valores recalculados, e variando entre 50,4 e 56,1% — Tabela 3), que ocorre como quartzo monocristalino não ondulante e quartzo monocristalino ondulante. Os grãos de quartzo policristalino são raros e apresentam dois ou três subgrãos. Os grãos de feldspatos são bastante abundantes (em média 26,9%, considerando os valores recalculados, e variando entre 22,4 e 30,3%) e correspondem principalmente a K-feldspatos (principalmente microclina) e subordinadamente plagioclásio. Esses minerais encontram-se em estágios variados de alteração. Fragmentos líticos graníticos são bastante importantes nessas amostras, variando entre 13,6 e 27,2% (considerando os valores recalculados), conforme

se observa na Tabela 3 e na Figura 10D. Como mineral acessório, ocorre muscovita.

Os valores de quartzo total, feldspato total e total de fragmentos líticos, recalculados para 100%, permitiram a classificação das rochas segundo o diagrama de Folk (1980). As amostras correspondem a arcósios líticos e litoarenito feldspático (Figura 11).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os aspectos sedimentológicos descritos nos poços 2-CST-1-RJ e 9-BRF-1D-RJ mostram uma semelhança entre os pacotes sedimentares analisados, predominantemente areníticos (arenitos moderadamente a mal selecionados, de coloração acinzentada a esverdeada, com grãos variando de

Figura 10. Aspectos petrográficos de arenitos do poço 9-BRF-1D-RJ. (A) Amostra BRF-a01, com polarizadores em paralelo. Porosidade gerada pelo encolhimento da matriz argilosa (P. enc.); (B) amostra BRF-a03, com polarizadores em paralelo. Porosidade intragranular, gerada pelo faturamento do grão; (C) amostra BRF-a02, com polarizadores em paralelo. Grãos dissolvidos, gerando porosidade móldica; (D) amostra BRF-a03, com polarizadores cruzados. Litoclasto granítico (Lt).

Figura 11. Diagrama composicional triangular segundo Folk (1980) com os resultados das amostras analisadas do poço 9-BRF-1D-RJ.

angulosos a subangulosos), com intercalações de argilitos, sendo atribuídos ao Membro São Tomé da Formação Emborê.

A discreta diferenciação granulométrica e composicional observada entre os arenitos estudados (os arenitos do poço 2-CST-1-RJ são, em geral, finos a grossos e quartzo-feldspáticos, enquanto os arenitos do poço 9-BRF-1D-RJ são grossos e com presença significativa de fragmentos líticos) pode ser atribuída ao fato das amostras analisadas no poço 9-BRF-1D-RJ estarem localizadas na base da sucessão sedimentar, próximas ao contato com o embasamento metamórfico.

As baixas maturidades textural e mineralógica dos arenitos mostram proximidade da área fonte. Essa área fonte engloba um terreno granítico, indicado pelos fragmentos líticos com essa composição, assim como pelo predomínio de quartzo monocristalino não ondulante. Essa característica petrográfica é condizente com a expressiva ocorrência de rochas granitoides no embasamento regional.

Outro aspecto relevante na caracterização petrográfica dos arenitos corresponde à presença de epimatriz, gerada a partir da dissolução de grãos instáveis (principalmente feldspatos) e a sua posterior infiltração nos poros da rocha. Esses processos pós-deposicionais resultaram na obliteração da porosidade primária e justificam a grande variação observada na porosidade desses arenitos, essencialmente de origem secundária (por encolhimento da matriz e dissolução de grãos), e com baixa conexão entre os poros.

Os resultados obtidos neste estudo, integrados a informações de caráter hidrogeológico, foram fundamentais para a caracterização de hidrofácies e compreensão do comportamento hidrogeológico da Formação Emborê, reforçando as hipóteses formuladas para o modelo conceitual hidrogeológico, objeto de outro artigo (Cristo et al., no prelo).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à PETROBRAS e à ANP, o financiamento e a liberação dos dados para publicação. Agradecemos a toda a equipe do projeto “Avaliação Hidrogeológica da Formação Emborê na Porção Emersa da Bacia Sedimentar de Campos visando o Descarte de Água de Produção de Petróleo” (realizado junto à Rede Temática ANP/PETROBRAS “Gerenciamento de Águas no Segmento Produção de Petróleo”), a colaboração ao longo dos três anos de seu desenvolvimento. Especialmente, às geólogas MSc. Ana Carolina Lisboa Barboza e MSc. Mirian Cristina Oliveira da Costa, a participação na fase de descrição dos testemunhos do poço 2-CST-1-RJ. Agradecemos à PETROBRAS/UN-BC/ATEX/LG, a autorização para acesso ao testemunho do poço 2-CST-1-RJ, às amostras de calha do poço 9-BRF-1D-RJ e às lâminas delgadas disponíveis dos dois poços. De maneira especial, à geóloga Patrícia Ireno de Assumpção, o acompanhamento na fase de descrição dos testemunhos do poço 2-CST-1-RJ e das amostras de calha do poço 9-BRF-1D-RJ.

REFERÊNCIAS

- Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H. (2003). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. Texto, Mapas e SIG. Brasília: CPRM.
- Boggs Jr., S. (2009). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Nova York: Cambridge University Press.
- Cristo, V. N., Silva Jr., G. C., Silva, T. A., Alves, M. G., Mello, C. L., Neiva, E. B. *Caracterização e Modelo Hidrogeoquímico do Aquífero Emborê, Parte Emersa da Bacia de Campos, Estado do Rio de Janeiro*. (no prelo.)
- Folk, R. L. (1980). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin: Hemphil.
- Gama Jr., E. G. (1977). *Sistemas Deposicionais e Modelos de Sedimentação das Formações Campos e Emborê, Bacia de Campos, Rio de Janeiro, Brasil*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP. <https://doi.org/10.11606/T.44.1977.tde-14082015-093957>
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A. C., Campos Neto, M. C., Silva, L. C. Trouw, R. A. J., Janasi, V. A. (2004). Província Mantiqueira. In: V. M. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. D. R. Carneiro, B. B. Brito-Neves (Eds.), *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* (203-234). São Paulo: Beca.

Morais, R. M. O. (2001). *Estudo faciológico da Formação Barreiras na região entre Maricá e Barra de Itabapoana, estado do Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro: Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências – UFRJ.

Morais, R. M. O., Mello, C. L., Costa, F. O., Santos, P. F. (2006). Fácies sedimentares e ambientes deposicionais associados aos depósitos da Formação Barreiras no estado do Rio de Janeiro. *Geologia USP. Série Científica*, 6(2), 19-30. <http://dx.doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300004>

Rangel, H. D., Martins, F. A., Esteves, F. R., Feijó F. J. (1994). Bacia de Campos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8(1), 203-217.

Schaller, H. (1973). Estratigrafia da Bacia de Campos. *XXVII Congresso Brasileiro de Geologia, Anais*, 27(3), 247-258. Aracajú: SBG.

Silva, L. C., Cunha, H. C. S. (2001). *Geologia do estado do Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM. CD-ROM.

Winter, W. R., Jahnert, R. J., França, A. B. (2007). Bacia de Campos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2), 511-529.

Zuffa, G. G. (1984). Optical Analyses of Arenites: Influence of Methodology on Compositional Results. In: G. G. Zuffa (Ed.), *Provenance of Arenites* (165-189). Cosenza: D. Reidel Publishing Company.