



**Determinações Mineralógicas e Petrofísicas em
Carbonatos da Bacia São José do Itaboraí, Rio de Janeiro, Brasil**
Mineralogical and Petrophysical Measurements in
Carbonates of the São José do Itaboraí Basin, Rio de Janeiro, Brazil

Renato Xavier Meneses¹; Julio Cezar Mendes¹ & Paula Ferrucio da Rocha²

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, 21941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Campus Universitário Darcy Ribeiro
ICC- Ala Central, 70910-900, Brasília, DF, Brasil

E-mails: renatomxm@yahoo.com.br; julio@geologia.ufrj.br; ferrucio@acd.ufrj.br

Recebido em: 15/01/2018 Aprovado em: 03/03/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_28_35

Resumo

A Bacia São José do Itaboraí é uma depressão elíptica fechada encravada em rochas do embasamento cristalino, sendo sua origem associada ao desenvolvimento do Sistema de Rifte continental do sudeste do Brasil. A bacia foi preenchida principalmente por sedimentos carbonáticos e calcário travertino é a fácies predominante. Estudos mineralógicos através de microscopia de luz transmitida, difração de raios X e MEV/EDS e determinações de porosidade e permeabilidade foram efetuadas no travertino e nas fácies subordinadas brecha carbonática e grainstone oolítico, com o propósito de avaliar o sistema de porosidade de rochas carbonáticas. As investigações nessas três litofácies apontaram densidades entre 2,66 e 2,70 g/cm³ e taxas baixas a muito baixas de porosidade e permeabilidade, menor que 2,5% e 0,2 milidarcys, respectivamente. As principais causas para valores tão baixos residem na forte cimentação das rochas aliada à recristalização de cristais de calcita, à alteração de silicatos e ao preenchimento de poros por minerais diagenéticos. Este trabalho mostra que o fluxo de fluidos em rochas reservatório pode ser mais bem compreendido ao serem usados métodos de determinação mineralógica combinados com petrofísica.

Palavras-chave: Bacia São José do Itaboraí; Rochas carbonáticas; Petrografia; Petrofísica

Abstract

The São José do Itaboraí basin is a closed elliptical depression wedged on rocks of the crystalline basement whose formation is associated with the development of the continental rift system of southeast Brazil. The basin was filled mainly by carbonatic sediments and travertine is the predominant facies. Mineralogical studies using transmitted light, X ray diffraction and MEV/EDS together with porosity and permeability measures were done in the travertine as well as in the subordinate lithofacies carbonatic breccias and oolitic grainstone, aiming the assessment of the porosity system of carbonates. The investigation in these facies pointed out density values ranging from 2.66 to 2.70 g/cm³ and low to very low porosity and permeability rates, minor than 2.5% and 0.2 mD, respectively. The main reasons for such too low values are the strong degree of cementation of the rocks united with calcite recrystallization, alteration of silicate minerals and filling of porous by diagenetic minerals. This work shows that the flow of fluids in reservoir rocks may be better understood when using mineralogical tools combined with petrophysical determinations.

Keywords: São José do Itaboraí basin; Carbonatic rocks; Petrography; Petrophysic

1 Introdução

Considerável proporção da produção mundial de petróleo encontra-se em rochas reservatório carbonáticas, como é o caso campo petrolífero de Ghawar, na Arabia Saudita, que tem produção de 5 milhões de barris de petróleo/dia. Esses reservatórios têm como característica principal a sua complexidade, uma vez que são muito heterogêneos (Ameen, 2009).

Estudos que combinem descrições de textura e mineralogia de carbonatos com suas propriedades físicas (e.g. porosidade e permeabilidade) podem vir de fato contribuir com o entendimento relacionado às condições mais propícias para que uma rocha carbonática venha a acumular óleo. Uma compreensão mais clara de dados de permeabilidade e porosidade passa pelo conhecimento detalhado da estrutura dos poros, que pode ser obtido através de técnicas de determinação mineralógica e de imageamento (Meneses, 2012; Meneses *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2013). Isto é um problema de fronteira na petrofísica de rochas carbonáticas. Por exemplo, Gaspari *et al.* (2004) apresentam uma estimativa de valores de permeabilidade intrínseca utilizando métodos computacionais, onde a partir da variação dos tamanhos dos poros pode-se desenvolver uma estimativa do cálculo de permeabilidade. Tal fato ganha mais relevância quando o objeto de estudo são rochas carbonáticas, sobretudo porque a diagênese desses sedimentos químicos é mais complicada, principalmente em função de uma composição mais uniforme (CaCO_3), mas com grande variedade de constituintes (e.g. oólitos, bioclastos, pellets, micritos, cimento calcítico), se comparadas com rochas siliciclásticas. Essas

últimas exibem ampla variação composicional em poucos minerais essenciais, o que impede dissolução simultânea e generalizada, comum nos carbonatos.

Considerando-se a importância dos estudos mineralógicos e físicos para a avaliação do potencial de produção de óleo e gás em rochas reservatório, este trabalho trata de estudo de caso em rochas carbonáticas da Bacia São José do Itaboraí, uma pequena bacia de idade Cenozoica (Paleoceno), aonde não há indícios de ocorrência de óleo ou gás.

2 Geologia da Bacia São José do Itaboraí

Localizada aproximadamente a 700 m à leste do povoado de São José, distrito de Cabuçu, Município de Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro, a Bacia de São José de Itaboraí é uma depressão elíptica fechada encravada em rochas do embasamento cristalino, medindo 1400 m na direção E-W, eixo maior, e 700 m no eixo menor, de direção N-S, limitada ao sul pela falha de São José (Brito, 1989) – Figura 1. Sua origem remonta ao intenso tectonismo extensional decorrente da abertura do Oceano Atlântico no Cretáceo. Ela está inserida no contexto do Sistema de Rifte continental do sudeste do Brasil. Riccomini (1989) sugere que no Terciário Inferior uma extensão regional de direção NNW-SSE relacionada à inclinação termomecânica da Bacia de Santos reativou zonas de cisalhamento de direção ENE no embasamento Pré-Cambriano, o que levou à geração de semi-grabens continentais, incluindo aí a Bacia de São José de Itaboraí.

Figura 1 Imagem satélite exibindo o contorno da Bacia de São José de Itaboraí (em amarelo), sua localização no contexto do Estado do Rio de Janeiro (alto à esquerda) e área aproximada da bacia (em vermelho) onde foram coletadas as amostras analisadas. Modificado de Pereira *et al.* (2017).



Segundo diversos autores (e.g. Bergqvist *et al.*, 2009; Francisco & Cunha, 1978), o preenchimento sedimentar da Bacia de São José de Itaboraí é composto, principalmente, por depósitos de travertino (Figura 2), datados do Paleoceno pelo seu conteúdo fóssilífero (Bergqvist & Ribeiro, 1998). Tais calcários fitados (travertino) são compostos pela alternância de bandas de coloração branca e marrom, ambas formadas por calcita prismática com crescimento em agregados de cristais orientados. Os depósitos de travertino fitados são mais espessos próximos à falha de São José, onde a subsidência térmica foi maior (Sant'Anna & Riccomini, 2001). Adicionalmente, ocorrem calcários argilosos contendo grãos detríticos de quartzo e feldspato (2-30%), intercalados nos calcários fitados. Localmente são encontrados calcários oolíticos a pisolíticos e tufas (Sant'Anna & Riccomini, 2001).

Estudos isotópicos realizados nestes calcários por Sant'anna *et al.* (2000) corroboraram com a interpretação de uma origem a partir de soluções hidrotermais ascendentes ao longo do plano da Falha de São José e enriquecidas em bicarbonato de cálcio pela lixiviação dos mármores proterozóicos do embasamento (Sant'Anna & Riccomini, 2001).

Tibana *et al.* (1984) sugerem que os travertinos da Formação Itaboraí encontram-se interdigitados e recobertos por depósitos de leques aluviais da Formação Macabu, os quais finalizam a sedimentação paleogênica na Bacia de São José de Itaboraí. Estudos palinológicos desta formação, realizados por Lima & Cunha (1986), forneceram uma idade próxima ao limite Paleoceno-Eoceno.

Bergqvist *et al.* (2009) agruparam as associações de fácies presentes na Bacia de São José de Itaboraí em três sequências estratigráficas, o que se encontra resumido na Tabela 1.

3 Materiais e métodos

As determinações petrofísicas convencionais foram realizadas em plugs de 2,5 cm de diâmetro confeccionados a partir de amostras de rochas carbonáticas coletadas na Bacia de São José de Itaboraí. As análises de porosidade, permeabilidade e densidade foram efetuadas nos laboratórios de petrofísica da Schlumberger e do Observatório Nacional, no Rio de Janeiro, nos equipamentos Coretest AP 608 usando gás hélio e no Ultra Perm 500 e Ultra Pore 300 da CoreLab, usando nitrogênio. É importante ressaltar que os resultados

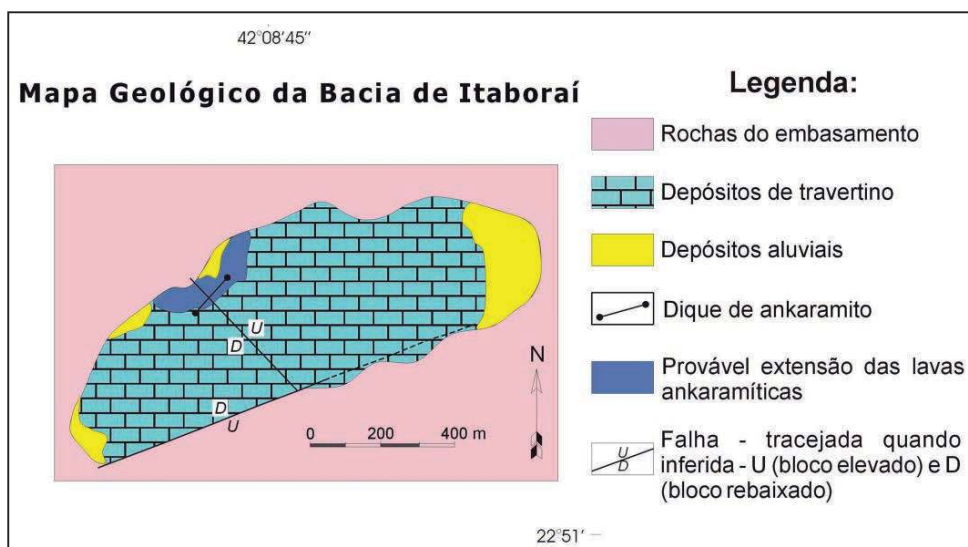


Figura 2 Mapa Geológico da Bacia de Itaboraí

Sequência Inferior - (S1)	Mais antiga, carbonática, com predomínio do calcário travertino intercalado com leitos do calcário clástico argiloso cinza, bancos de oolitos e psólitos, além de outros tipos de rochas.
Sequência Intermediária - (S2)	Constituída de marga e por calciruditos, variando de material fino a grosseiro erodidos da sequência S1, e depositado (S2) nas fissuras criadas pela dissolução ao longo das fraturas .
Sequência Superior - (S3)	Não contém carbonatos, sendo constituída quase que totalmente por depósitos arenoargilosos.

Tabela 1 Descrição das sequências deposicionais da Bacia de São José de Itaboraí (Bergqvist *et al.*, 2009).

obtidos mostraram diferentes resoluções com os equipamentos utilizados, sendo que o da Coretest resultou nas melhores estimativas.

A porosidade efetiva e a permeabilidade foram medidas admitindo-se uma pressão de confinamento de 1000 PSI. Para obter a densidade das amostras não foi utilizada pressão de confinamento. As amostras não foram previamente limpas porque não havia óleo ou sal nos seus poros. Ao início da análise, gás hélio foi injetado numa pressão de 200 PSI. A estabilização dessa pressão indicou que todos os poros foram preenchidos, e o volume de grãos da amostra foi determinado através da diferença entre o volume do plug e o volume do gás injetado. Nas medidas de porosidade, gás hélio foi injetado na amostra (dentro do porta-amostra), e pela diferença entre a pressão de injeção de entrada e a pressão de saída, pela lei de Boyle ($P_1V_1 = P_2V_2$), foi calculada a diferença de volume, ou seja, o volume de gás que ocupou os espaços vazios, determinando assim o volume poroso efetivo. Utilizando o mesmo porta-amostra das medidas de porosidade, injetou-se gás nitrogênio numa pressão de 200 PSI para medir o quanto de fluxo do gás permeia a amostra, pelo princípio da estabilização de pressão, medindo-se desta maneira a permeabilidade da amostra.

A porosidade obtida em seções delgadas, impregnadas por resina epoxy azul (azul de Ceriz) para melhor visualização dos poros, foi estimada através de contagem visual ao microscópio. Aspectos texturais e mineralógicos, incluindo arcabouço, matriz e preenchimento dos poros, também foram estudados em microscópio petrográfico binocular. Os tipos de poros foram identificados de acordo com as classificações de Choquette & Pray (1970) e Scholle & Ulmer-Scholle (2003).

Análises de Difração de Raios X (DRX) e MEV foram efetuadas no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) da escola Politécnica da USP. Para a DRX foi utilizado o difratômetro Panalytical Cubix-Pro, dotado com tubo de cobre, usando corrente do feixe de 25 mA e tensão de 35 kV. As proporções minerais através das análises de DRX foram estimadas utilizando-se o software próprio do equipamento, através da relação entre intensidade e largura dos picos observados no espectro obtido. As imagens e análises químicas semi-quantitativas

foram obtidas em MEV QUANTA 600 FEG acoplado a um Espectrômetro de Raios X de Energia Dispersiva equipado com um detector de Si(Li).

4 Porosidade e as Rochas Carbonáticas

Porosidade e permeabilidade são propriedades importantes na classificação de rocha reservatório. Entende-se por rocha reservatório, a rocha permoporosa capaz de acumular e permitir o fluxo de fluido (água, óleo e gás) através dos poros. A porosidade (Φ) é definida como a razão entre o volume poroso (V_p) e o volume total da rocha (V_b). A porosidade total ou absoluta é a relação de espaços vazios na rocha por seu volume total, sendo obtida geralmente por visualização ao microscópio e cálculo. A porosidade efetiva é a relação entre espaços vazios interconectados e o volume total da rocha, medida diretamente no equipamento adequado (porosímetro). Esta porosidade representa o espaço ocupado por fluidos que efetivamente poderão ser deslocados do meio poroso.

As rochas carbonáticas são geradas por processos químicos e/ou biológicos, de natureza endógena, na própria bacia de acumulação. Os principais constituintes dos sedimentos carbonáticos são grãos aloquímicos, matriz e cimento. A distribuição, organização e competência desses elementos, aos efeitos do ambiente de formação e soterramento a que estão submetidos, alterando diageneticamente a rocha, podem explicar dados de permeabilidade e porosidade. Os principais fatores que afetam a porosidade nos carbonatos são a dissolução, cimentação, conteúdo de matriz e dolomitização.

No caso específico das rochas carbonáticas, a porosidade depende da textura, da petrotrama (*fabric*) e da geometria das fraturas. A forma dos grãos, seleção e empacotamento são as principais variáveis que afetam as rochas carbonáticas químicas. Já em rochas carbonáticas biogênicas, o *fabric* e microestruturas esqueléticas, além da evolução diagenética, afetam e são fundamentais para entender a porosidade e a permeabilidade (Ahr, 2008).

5 Resultados e Discussões

Neste artigo, quatro litofácies foram identificadas e descritas na Bacia de São José de

Itaboraí, mas somente as três primeiras foram detalhadas e serão abordadas abaixo: Brecha carbonática (CR), Calcário travertino (TR), Grainstone oolítico (CO) e Conglomerado clasto suportado (CI).

A brecha carbonática (Figura 3) consiste de fragmentos angulosos de quartzo, microclina, biotita, muscovita, calcita e bioclastos com dimensões que variam de 0,5 mm até 1,5 cm, imersos em matriz carbonática lamosa, que por vezes inclui grãos terrígenos de quartzo e feldspato. A Figura 4 apresenta o mapa de distribuição de elementos químicos obtido em MEV/EDS para esta fácies, exibindo uma matriz rica em cálcio e fragmentos siliciclásticos ricos em Mg e Al. A proporção de matriz para fragmento varia de 75% de matriz e 25% de fragmentos a 35% de matriz e 65% de fragmentos (Figura 5). Proporção estimada para os principais minerais identificados por DRX aponta 45% plagioclásio, 45% calcita e 10% quartzo. A porosidade média é de 0,32% e 0,75% usando os equipamentos Corelab e Coretest, respectivamente (Tabela 2), a permeabilidade é muito baixa e a densidade total é de 2,66 g/cm³. Em lâmina delgada observa-se microporosidade intragranular e intrapartícula visualizada pela impregnação de azul de Ceriz. Esta fácies foi formada pela dissolução e colapso de rocha carbonática prévia contendo minerais siliciclásticos da sequência 1 (Tabela 1).

O típico calcário travertino da Bacia de São José de Itaboraí é finamente laminado em diferentes cores devido à intercalação de lâminas de carbonato puro com lâminas contendo siliciclásticos. Pode



Figura 3 Fotomicrografia da litofácies Brecha carbonática (CR) mostrando matriz carbonática lamosa (cinza escuro) contendo fragmentos de minerais e bioclastos soldada por calcita grossa, que preenche as fraturas. Porosidade e permeabilidade são muito baixas.

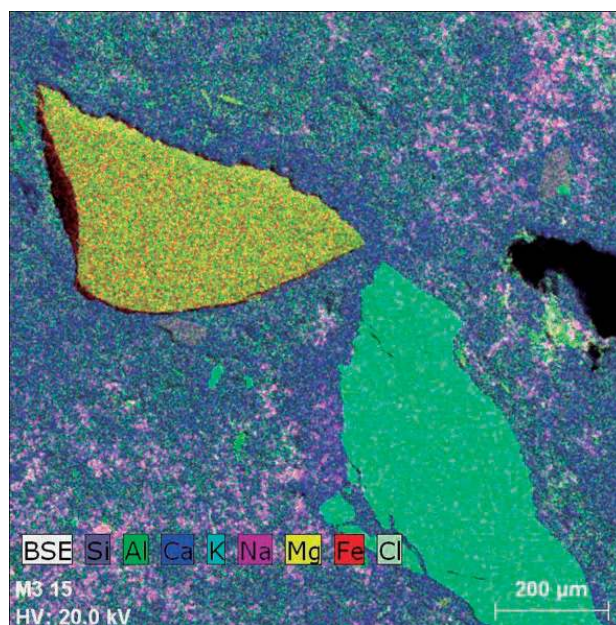


Figura 4 Mapa de distribuição de elementos químicos, obtido por elétrons retroespalhados em MEV/EDS, da litofácies Brecha carbonática (CR). Clastos siliciclásticos estão destacados em amarelo e verde.

Travertino (TR)			Brecha carbonática (CR)		
Densidade	Corelab	Coretest	Corelab	Coretest	Densidade
2,68	0,1310	0,0322	0,4234	1,6112	2,68
2,68	0,5360	0,0480	0,8428	1,7442	2,63
2,69	1,9797	0,4594	0,0000	0,1890	2,68
2,69	0,5964	2,1116	0,0000	0,4614	2,70
2,71	0,6282	2,5248			
2,68	0,2213	0,0559			
2,72	0,1954	0,0722			
Média	Média	Média	Média	Média	Média
2,69	0,613	0,6699	0,3166	0,7515	2,67

Tabela 2 Resultados de porosidade (em %) das litofácies Calcário travertino (TR) e Brecha carbonática (CR) utilizando-se os equipamentos Corelab e Coretest, e densidade média obtida

conter micro-fraturas parcial ou completamente preenchidas por cristais de hidróxido de ferro (goethita, identificada por DRX+MEV – Figura 6) formados diageneticamente (Figuras 7 e 8). A composição modal estimada por DRX é de 93% calcita, 5% quartzo e 2% óxido de ferro (magnetita alterada para goethita). A presença de calcita recristalizada reduziu drasticamente a porosidade, que atinge até 2,5%, sendo a média igual a 0,67%. Essa baixa porosidade é atestada ao microscópio pela impregnação de raras fraturas com azul de Ceriz e também pela evidência de cristais de calcita muito soldados e espaços preenchidos por óxido de ferro (Figura 7).



Figura 5 Fotomicrografia da brecha carbonática (CR) com maior proporção de fragmentos em relação à matriz. Destaque para o preenchimento de poros por argilominerais e para inclusão de quartzo em microclina propiciando o desenvolvimento de microporosidade.

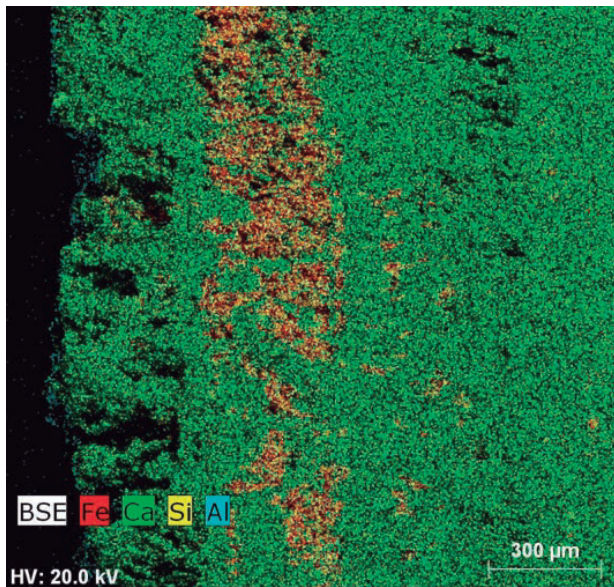


Figura 6 Mapa de distribuição de elementos químicos, obtido por elétrons retroespalhados em MEV/EDS, da litofácies Calcário travertino (TR). Observa-se nível rico em goethita, de cor avermelhada.

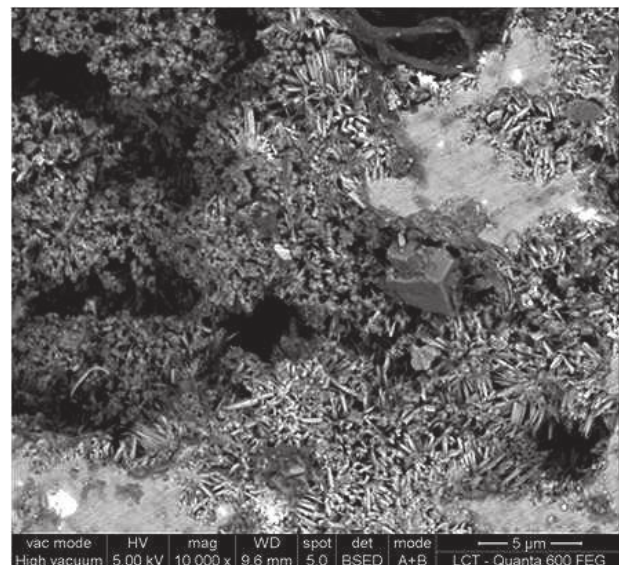


Figura 8 Imagem de MEV do calcário travertino exibindo agregados de cristais aciculares de goethita diagenética precipitada em micro-fraturas do calcário. Destaque para os poros (em negro) e para cristal de magnetita à direita.

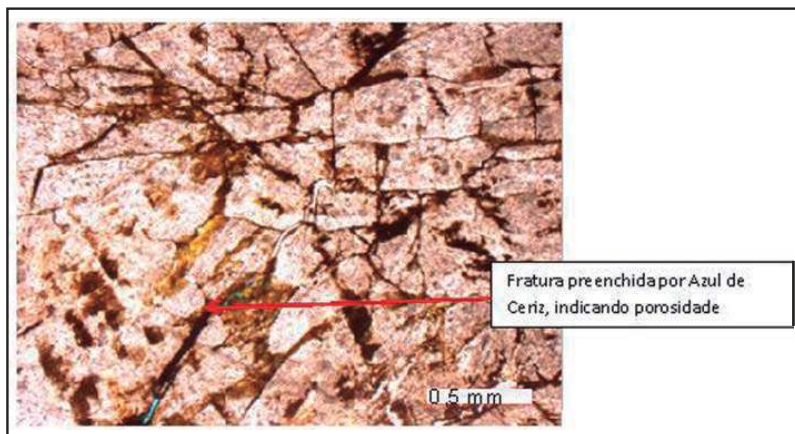


Figura 7 Fotomicrografia mostrando travertino com micro-fraturas preenchidas por óxido/hidróxido de Fe, resultando em poucos poros (azul na parte inferior esquerda da foto).

O grainstone oolítico é fortemente cimentado por calcita grossa, mas que apresenta porosidade intragranular na borda dos grãos, assim como porosidade intraoolítica por dissolução do cimento (Figura 9). Importante característica desta litofácies é a presença de grainstones e oolitos com franjas isópacas (Figura 9). Há fragmentos de conchas e de quartzo e microclina subangulosos, representando cerca de 1% em área da amostra estudada. Os tamanhos dos oolitos variam de 0,4 mm a 8 mm e a proporção de oolitos em relação ao cimento é de cerca 80%. Não ocorreu forte compactação antes da cimentação com grãos de calcita, uma vez que os contatos entre os grãos são côncavo-convexos e suturados. Resultados de densidade de grão para esta litofácies é compatível com carbonatos, 2,7 g/cm³ em média. Valores de porosidade elevados, atingindo 22% devido a alterações na rocha, foram estimados por observação microscópica (porosidade não efetiva), o que relativiza a confiabilidade do dado. Isto é reforçado pela baixa permeabilidade obtida para esta rocha (0,02 mD), provavelmente devido à cimentação precoce.

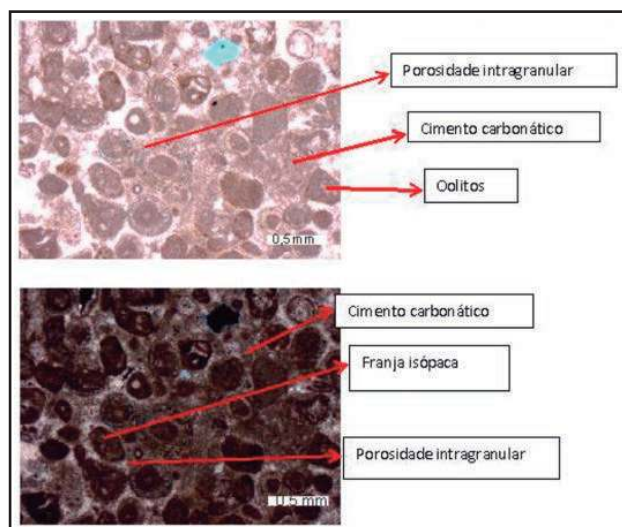


Figura 9 Fotomicrografias (em nicois paralelos e cruzados, respectivamente) da fácies Grainstone oolítico (CO), onde se pode observar características típicas da rocha, como os oolitos, a porosidade intragranular e as franjas isópacas.

6 Conclusões

As três fácies carbonáticas da Bacia São José do Itaboraí aqui investigadas são: travertino, com densidade de 2,69 g/cm³, brecha carbonática, com densidade de 2,67 g/cm³ e grainstone oolítico cuja densidade é 2,67 g/cm³. A Tabela 2 apresenta somente os dados da Brecha carbonática e do

Calcáreo travertino por ter uma quantidade mais representativa de amostras. Estes valores são altos para rochas sedimentares, mas adequados para fácies calcárias. Todavia, o mais alto valor do travertino deve-se à sua baixa porosidade e presença de goethita diagenética.

As rochas analisadas são pouco porosas e com permeabilidade muito baixa. Muito da porosidade medida não é visível ao microscópio e é representada por poros muito diminutos (microporos menores que 2µm), os quais, todavia, são indicados a partir de mensurações petrofísicas. A permeabilidade muito baixa pode ser explicada pela forte cimentação e falta de conexão entre os poros. Por outro lado, tratando-se de rochas carbonáticas texturalmente heterogêneas e com distribuição aleatória dos poros, uma relação direta entre porosidade e permeabilidade, comumente considerada em amostras arenosas siliciclásticas, pode não corresponder à realidade.

Alguns valores de porosidade muito baixos registrados na brecha carbonática podem ser explicados pelo alto grau de cimentação e alteração mineralógica. A alteração de feldspatos, minerais muito susceptíveis a tal processo, pode formar espaços porosos, que neste caso é intragranular. Muitas das vezes o produto desta alteração são argilominerais que podem preencher, totalmente ou parcialmente, os espaços vazios gerados pela alteração desses grãos minerais, como pôde ser constatado em imagens no MEV. Quanto ao travertino, sua forte cimentação aliada à recristalização de cristais de calcita justifica sua porosidade ínfima, apesar dele exibir micro-fraturamento.

A compactação em todas as fácies foi relativamente baixa, haja vista os tipos de contato entre os grãos, e utilizando-se da combinação de técnica de microscopia, DRX e imageamento por MEV pôde-se identificar fases minerais preenchendo poros, como por exemplo, a goethita no calcário travertino e calcita de granulometria grossa na brecha e na fácies oolítica.

Os resultados deste estudo enfatizam que a combinação de análises mineralógicas (através de técnicas diversas) com determinações petrofísicas é muito eficiente para a compreensão do sistema poroso

de rochas, o que contribui para o entendimento do fluxo de fluidos em reservatórios rochosos.

7 Agradecimentos

À Maria Antonieta Rodrigues e Sérgio Bergamaschi pela cessão de algumas amostras, a Geovanni Stael pelas determinações petrofísicas no Observatório Nacional e a Jane Nobre pelas valiosas sugestões sobre rochas carbonáticas. A Lilian Bergqvist pela cessão do mapa da figura 2. Henrique Kanh, Giuliana Ratti e Ana Gauza auxiliaram sobremaneira na obtenção de dados.

8 Referências

- Ahr, W.M. 2008. *Geology of Carbonate Reservoirs: the identification, description, and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks*. New Jersey, USA, John Wiley & Sons, 277 p.
- Ameen, M.S.; Smart, B. G.; Somerville, J.M.; Hamilton, S. & Naji, N.A. 2009. Predicting rock mechanical properties of carbonates from wireline logs (A case study: Arab-D reservoir, Ghawar field, Saudi Arabia). *Marine and Petroleum Geology*, 26: 430-444.
- Bergqvist, L.P.; Mansur, K.; Rodrigues, M.A.; Rodrigues Francisco, B.H.; Perez, R. & Beltrão, M.C. 2009. Bacia São José do Itaboraí, RJ. Berço dos mamíferos no Brasil. In: WINGE, M. SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C.R.G.; FERNANDES, A.C.S.; BERBERT-BORN, M. & QUEIROZ, E.T. (Eds.). Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. Brasília, CPRM, v. 2, 515p.
- Bergqvist, L.P. & Ribeiro, A.M. 1998. Paleomastofauna das bacias eoterciárias brasileiras e sua importância na datação das bacias de Itaboraí e Taubaté. In: ASOCIACIÓN PALEONTOLÓGICA ARGENTINA. Paleógeno de América Del Sur y de la Península Antártica. Buenos Aires, Argentina, *Publicación Especial*, 5: 19-34.
- Brito, I.M. 1989. Geologia e paleontologia da Bacia Calcária de São José de Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro. Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 12: 56-64.
- Carvalho, I.S.; Mendes, J.C. & Costa, T. 2013. The role of fracturing and mineralogical alteration of basement gneiss in the oil exsudation in the Sousa Basin (Lower Cretaceous), Northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 47: 47-54.
- Choquette, P.W. & Pray, L.C. 1970. Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 54: 207-250.
- Ferrari, A. L. 2001. *Evolução tectônica do graben da Guanabara*. Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, IG-USP, São Paulo. Tese de Doutorado, 412 p.
- Francisco, B.H. & Cunha, F.L. 1978. Geologia e estratigrafia da Bacia de São José, município de Itaboraí, RJ. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro*, 50(3): 4-6.
- Gaspari, H.C.; Fernandes, P.C.; Philippi, P.C. & Rodrigues C.R. 2004. Determinação computacional da permeabilidade de rochas reservatório. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA, 3, 2004, Belém. *Anais*, p.1-6.
- Lima, M.R. & Cunha, F.L. 1986. Análise palinológica de um nível linhítico da Bacia São José do Itaboraí, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 58: 579-588.
- Meneses, R.M. 2012. *Estudo da porosidade em rochas carbonáticas da Bacia São José do Itaboraí-RJ utilizando técnicas mineralógicas como ferramenta complementar*. Programa de Pós-graduação em Geologia, IGEO UFRJ, Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, 68 p.
- Meneses, R.M.; Abreu, C.J.; Mendes, J.C. & Rocha, P.F. 2013. Petrophysic and petrologic characterization of carbonate rocks of the São José do Itaboraí Basin, RJ. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 13, 2013, Rio de Janeiro. Extended Abstracts, 1: 1-4.
- Pereira, G.C.; Oliveira, E.C. & Bergamaschi, S. 2017. Continental carbonates from Itaboraí Formation in southeastern, Brazil. *Quaternary International*, 437(A): 199-211.
- Riccomini, C. 1989. *Rifte Continental do sudeste do Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, IG-USP, São Paulo. Tese de Doutorado, 256 p.
- Sant'anna, L.G.; Riccomini, C.; Rodrigues Francisco, B.H.; Sial, A.N.; Carvalho M.D. & Moura C. 2000. Paleocene/Eocene travertines in the Itaboraí basin (Rio de Janeiro state, southeastern Brazil). In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 30, 2000, Rio de Janeiro. Abstracts (CD-ROM).
- Sant'anna, L.G. & Riccomini, C. 2001. Cimentação hidrotermal em depósitos sedimentares paleogênicos do Rift Continental do Sudeste do Brasil: mineralogia e relações tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(2): 231-240.
- Scholle, P.A. & Ulmer-Scholle, D.S. 2003. *Color guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis*. Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists, AAPG Memoir 77, 474 p.
- Tibana, P.; Castro, J.C. & Barrocas, S.L. 1984. Bacia de São José de Itaboraí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro, *Anais*, p. 5309-5316.
- Zalán, P.V. & Oliveira, J.A. 2005. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 13(2): 269-300.