



ANÁLISE PETROGRÁFICA E PETROFÍSICA DE CALCÁRIOS ANÁLOGOS AOS RESERVATÓRIOS “MICROBIAIS” DO PRÉ-SAL.

Brelaz L. C., Ribeiro M G. S. & Borghi L., UERJ & UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, Brasil

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The use of analogous rocks, especially those from outcrops, are relevant to predicting geological characteristics and petrophysical properties of subsurface reservoirs. In this study were selected four analogous rocks to "microbialites" of Pre-salt section for evaluate permo-porous conditions of microbial limestones from petrographic and petrophysical analysis, in order to understand the framework and the porosity of the Pre-salt carbonate reservoirs. Analogs include recent stromatolites of Lagoa Salgada, Rio de Janeiro; Paleocene stromatolites of Salta Basin, Argentina; Aptian laminated limestones of the Araripe Basin, Ceará; and Quaternary travertine of Tivoli, Italy. These rocks belong to "in situ" continental carbonate deposits of lacustrine to lagoon environments, similar to the depositional conditions and lithofacies of Pre-salt "microbial" carbonates.

Introdução

As rochas carbonáticas de natureza microbial, também conhecida como microbialitos, apresentam complexas estruturas sedimentares, provenientes da interação entre processos biológicos, físicos e químicos que agem no ambiente deposicional. No Brasil, os reservatórios da camada Pré-sal dos campos de Libra, Lula e Iara, pertencentes à Bacia de Santos, estão no ranking das 10 maiores descobertas de campos de petróleo no mundo no período de 2003 a 2014, com gigantes acumulações em calcários de origem microbial (Berry, 2014). A produção das rochas-reservatório da camada Pré-sal já alcançou a marca de 1 milhão de barris de óleo equivalente por dia em janeiro de 2016 (PETROBRAS, 2016).

A complexidade e heterogeneidade intrínsecas das rochas carbonáticas exigem o desenvolvimento de modelos exploratórios inéditos (Estrella, 2008). O sucesso da exploração destes reservatórios está condicionado ao estudo minucioso dos constituintes deposicionais, diagenéticos e de porosidade que contribuíram para a formação de uma rocha porosa e permeável com grande potencial produtor de hidrocarbonetos no mercado mundial. Nestas rochas os processos de sedimentação e diagênese compreendem eventos de dissolução química, reprecipitação, cimentação, dolomitização e fraturamento que culminaram em uma rede de poros heterogênea, com tamanhos de poros que variam de microns a centímetros. Esta ampla gama de tipos e tamanho de poros com

diferentes graus de conectividade impactam diretamente na potencialidade de armazenamento e transmissão de fluidos em seu arcabouço. Além disso, as avaliações petrofísicas acerca das propriedades de transmissão e produtividade destes carbonatos ainda são muito pouco conhecidas. Para tanto, este estudo preliminar propõe a integração entre a análise petrográfica e ensaios petrofísicos, com o objetivo de avaliar as condições permo-porosas de rochas carbonáticas análogas aos reservatórios carbonáticos Pré-sal a partir da identificação dos constituintes deposicionais, características texturais dos poros (morfologia, tamanho, distribuição e conectividade), processos diagenéticos que impactam a porosidade e a quantificação dos parâmetros petrofísicos de porosidade e permeabilidade. Dentre as rochas análogas escolhidas estão estromatólitos, calcários laminados e travertinos, atualmente utilizados em estudos comparativos com as fácies de natureza microbial do Pré-sal (Wright e Barnett, 2015; Corbett, 2015). Os resultados analíticos possibilitam entender a relação entre arcabouço da rocha e porosidade, impacto dos processos diagenéticos na rede de poros e a importância da microporosidade para aprofundar, em etapas futuras, o conhecimento acerca das potencialidades de armazenamento e transmissão de fluidos em reservatórios carbonáticos do tipo Pré-sal.

Materiais e Métodos

As amostras utilizadas neste trabalho foram obtidas em diferentes localidades (Figura 1). Os estromatólitos recentes são oriundos da região de Lagoa Salgada, Rio de Janeiro; os estromatólitos paleocênicos pertencem à Formação Yacoraite, Bacia de Salta, Argentina, e os calcários laminados aptianos compõem o Membro Crato, Formação Santana, Bacia do Araripe, Ceará. Por sua vez, os travertinos pertencem aos depósitos quaternários mundialmente conhecidos da região de Tivoli, porção central da Itália. As análises de petrofísica foram realizadas em 15 *plugs* de 1.5", dos quais 8 *plugs* são de estromatólitos e 7 *plugs* de travertinos. Os *plugs* foram fotografados e limpos para remoção de sal com metanol em *soxhlets*. Logo após as amostras foram colocadas em estufa úmida à 60°C para estabilização do peso. Em paralelo foram retirados *trims* para confecção de lâminas petrográficas e, a petrografia foi realizada em 52 lâminas delgadas examinadas sob microscópio petrográfico equipado com luz transmitida, câmera fotográfica e software de aquisição de fotomicrografias. Do estudo destas lâminas o arcabouço e interstícios destes análogos do Pré-sal foram definidos com constituintes primários, fábricas, estruturas deposicionais, texturas de porosidade (tipos de poros, formas, tamanhos, distribuição, gargantas e conectividade de poros). Como análise complementar ao estudo petrográfico, 7 amostras foram observadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

A porosidade e a permeabilidade foram medidas em porosímetros-permeômetros a gás, Hélio para medidas de porosidade e Nitrogênio para medidas de permeabilidade. A pressão de confinamento utilizada em *core holders* foi de 500 psi para a preservação das amostras de natureza porosa e parcialmente friável. Todos os procedimentos laboratoriais foram executados no âmbito da Weatherford Laboratórios Brasil, com exceção do imageamento por MEV, realizado na Weatherford Laboratórios México.

Resultados

Um análogo é um sistema que comparte similaridades com o objeto de estudo para prever aspectos e comportamentos do sistema menos compreendido e assim gerar uma representação mais acurada da subsuperfície. Como dois sistemas geológicos nunca são idênticos, jamais existirá um análogo perfeito (Howell et al., 2012). No caso dos reservatórios microbiais do Pré-sal, a escolha de um único análogo não é possível, pois em virtude da complexidade e heterogeneidade de suas rochas, até o presente momento não se conhece uma rocha ou formação geológica que reúna todas as peculiaridades encontradas no Pré sal (Wright e Barnett, 2015; Corbett 2015). Em virtude disso, neste estudo foram selecionados quatro litotipos análogos aos “microbialitos” do Pré sal como mostrados na Figura 1: estromatólitos, calcários laminados e travertinos. Estas rochas pertencem à depósitos carbonáticos continentais, formados “*in situ*” e relacionados à ambientes restritos com pouca ou sem conexão com o mar. Estas características geológicas são semelhantes às condições deposicionais, faciológicas e de porosidade encontradas nos carbonatos microbiais do Pré-sal conforme mostra a Figura 2 (Estrella, 2008; Azevedo, 2009).

Estromatólitos de Lagoa Salgada, Rio de Janeiro

Os estromatólitos da região de Lagoa Salgada apresentam estrutura sedimentar bastante complexa, com formas dômicas a suavemente colunares, internamente laminada, conforme mostra a Figura 1A. Em escala macroscópica, estes calcários mostram arcabouço bastante poroso e pouco consolidado, com cavidades e poros vulgares centimétricos disseminados de modo heterogêneo no arcabouço, intercalados com porções ausentes de porosidade visível.

Em escala microscópica, é possível visualizar a forma externa dômica dos estromatólitos e estruturas sedimentares laminadas à semelhança de esteiras microbiais. A porção interna dos domos é caracterizada por laminações crenuladas a irregulares com alternância entre laminações micríticas escuras laminações microespáticas pouco translúcidas, formadas por calcita microespática e acicular que variam entre 10 a 50µm de diâmetro conforme mostra a Figura 3A. Microfácies arborescentes formadas por massas micríticas a microespáticas de contornos irregulares e aspecto grumoso também são comuns nestas rochas como mostra a Figura 3B.

Como constituintes deposicionais do arcabouço estão bioclastos de gastrópodes e bivalves de tamanho areia média a grânulos (Figura 3A), oóides micritizados de tamanho areia média, pelóides tamanho areia muito fina, intraclastos de *mudstone*, grãos terrígenos tamanho silte

a areia média de quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, biotita e fragmentos fosfáticos possivelmente relacionados à vertebrados.

Os tipos de porosidade identificados nos estromatólitos de Lagoa Salgada abrangem poros fenestrais, vulgares, intrapartícula, mórdicos, microporos e *growth framework*. Os poros fenestrais (Figura 4A) e vulgares (Figura 4B) apresentam 0,15 mm a 3,5 mm de diâmetro, estão parcialmente interconectados e localmente preenchidos por grãos terrígenos. Os poros intrapartícula e mórdicos (Figura 3A) mostram 0,1 mm a 1,3 mm de diâmetro, são isolados e estão relacionados à dissolução de conchas de gastrópodes e grãos terrígenos. Os poros de crescimento do arcabouço (*growth framework*) apresentam poucos microns de diâmetro como mostrado na Figura 4C, e em parte estão relacionados à porosidade fenestral. Microporos observados por meio de microscopia eletrônica (MEV) conforme mostra a Figura 4D exibem dimensões de 0,3µm a 0,5 µm de diâmetro com baixa conectividade entre os poros.

Por se tratar de depósitos carbonáticos recentes, os estromatólitos de Lagoa Salgada não experimentaram condições de soterramento em subsuperfície, e, por consequência, não foram submetidos a processos diagenéticos de mesodiagenese, responsáveis pela redução de porosidade. Ao contrário, por estarem expostos às condições intempéricas de superfície, os estromatólitos mostram feições de dissolução meteórica, processo que resulta na ampliação da porosidade primária e na dissolução de carapaças de bioclastos, com geração e/ou alargamento de poros intrapartículas e mórdicos.

Ensaio de petrofísica básica revelaram porosidade média de 31% para os estromatólitos de Lagoa Salgada, com permeabilidades klinkenberg muito baixas, de 0,046 mD a 0,066 mD. Porém, uma única amostra apresentou alta permeabilidade, com valor de 450 mD, resultando na permeabilidade média de 150 mD para um conjunto de 3 amostras como mostra a Tabela 1. Esta discrepância de valores para a permeabilidade é o reflexo da heterogeneidade do arcabouço dos estromatólitos e de sua rede de poros, corroborados por meio da análise petrográfica.

Estromatólitos da Formação Yacoraite, Bacia de Salta, Argentina

Os estromatólitos da Formação Yacoraite mostram estrutura laminada a dômica (Figura 5) formada por pela alternância de crostas de calcita fibro-radial a prismática e laminações de composição micrítica a microespática, de acordo com as Figuras 5A e 5B. Localmente apresenta textura grumosa a micropeloidal em regiões ausentes de laminação, com *patches* de cimento de calcita (Figura 5C). Poucos constituintes deposicionais são observados: raros grãos terrígenos finos de quartzo, oóides simples e compostos de tamanho areia média a grossa pouco preservados e intraclastos carbonáticos indiferenciados tamanho areia muito grossa.

Os tipos de porosidade mais frequentes nos estromatólitos da Bacia de Salta são poros fenestrais a vulgares (Figura 5C), com diâmetros de 0,25mm a 2,2mm; poros intercrystalinos reduzidos por cimento de calcita com diâmetros de 5 µm a 0,5mm, canais e microfaturas com 10 µm de abertura. A porosidade mostra-se pouco

conectada. Gargantas de poros observadas sob microscópio eletrônico (MEV) mostram dimensões de 4 µm até 0,35 µm de diâmetro conforme mostra a Figura 5D. Ensaios petrofísicos de porosidade e permeabilidade indicaram porosidade de 8,5% e permeabilidades Klinkenberg de 0,387mD, conforme mostra a Tabela 1, de modo a corroborar a baixa conectividade da porosidade observada na análise petrográfica.

Estilólitos ao longo das laminações sedimentares atestam processos de dissolução química em condições de mesodiagenese. Localmente a presença de microbrechas formadas por clastos de limites suturados, microfalhas e microfraturas preenchidas por calcita são evidências de deformações tectônicas sucedidas por eventos diagenéticos de cimentação, responsáveis pela redução da porosidade nestes carbonatos.

Calcário Laminado, Membro Crato, Formação Santana, Bacia do Araripe, Ceará

Os calcários do Membro Crato mostrados na Figura 6A são constituídos essencialmente por laminações contínuas e milimétricas, crenuladas a onduladas, formadas por calcita micrítica a microespática (Figura 6B e 6C). O único tipo de porosidade observado sob microscópio petrográfico são poros intercrystalinos inferiores a 5 µm, localizados entre cristais de calcita microespática conforme mostra a Figura 6C. Por sua vez, a microporosidade foi bem caracterizada por microscopia eletrônica (MEV): a Figura 6D mostra microporos com dimensões de inferiores a 1,5µm de diâmetro pouco conectados. Apesar da aparente ausência de porosidade em escala macroscópica e microscópica, ensaios de petrofísica de rotina revelaram porosidade de 11% e permeabilidade klinkenberg muito baixas de 0,0006 mD, conforme a Tabela 1.

Travertinos de Tívoli, Itália

Os travertinos de Tívoli mostram fábrica essencialmente cristalina, formada por um mosaico de cristais grossos anédricos a subédricos de calcita, de aspecto sujo (tons amarronzados), com diâmetros que variam entre 0,05 mm a 0,8mm conforme mostra a Figura 7A. Localmente os travertinos mostram cristais prismáticos de calcita. Os tipos de poros presentes nos travertinos são vulgares, intercrystalinos, intracrystalinos e microporos. Poros vulgares mostrados na Figura 7A apresentam contornos irregulares a ameboides, com tamanhos de 0,8 mm a 6 mm, localmente cimentados por cimento de calcita conforme mostra a Figura 7B. Alguns *vugs* encontram-se parcialmente reduzidos por cimento de calcita com hábito romboédrico a drusiforme (Figura 7C e 7D). A porosidade intercrystalina possui os mais variados tamanhos, desde poucos microns (Figura 7B) a 0,6 mm de diâmetro. Poros intracrystalinos são comuns em cristais zonados de calcita, com diâmetros de 30 µm a 0,1 mm como mostra a Figura 7E. No geral os poros apresentam moderada a baixa conectividade, alternados com regiões com boa conectividade de poros intercrystalinos. A microporosidade observada por microscopia eletrônica (MEV) apresenta diâmetros inferiores a 1,5µm de diâmetro (Figura 7F), pouco interconectados. Análises petrofísicas indicam porosidade média de 13,9%, com permeabilidade Klinkenberg média de 466 mD. Processos diagenéticos de

cimentação contribuíram para a redução da porosidade vulgar dos travertinos. No entanto, eventos posteriores de dissolução parcial são responsáveis pelo incremento de poros intercrystalinos, intracrystalinos e de microporosidade, ocasionando um aumento nos percentuais de porosidade e nos valores de permeabilidade dos travertinos.

Conclusões

Os estromatólitos são os litotipos que apresentam a maior diversidade de estruturas e texturas sedimentares: formas dômicas, colunares, arborescentes a arbustiformes, laminações crenuladas, onduladas, plano-paralelas, massas micríticas de textura grumosa, crostas cristalinas de calcita e microbrechas. A interação entre as diversas estruturas sedimentares caracteriza a heterogeneidade do arcabouço dos estromatólitos. Nos estromatólitos de Lagoa Salgada a influência de processos de dissolução contribuiu para ampliação da porosidade primária (fenestral, vulgar e de crescimento do arcabouço) e geração de porosidade secundária (intrapartícula e móldica), resultando em percentuais significativos de porosidade. O tamanho dos poros presentes nestas rochas compreendem desde poucos microns a centímetros de diâmetro. Por outro lado, o impacto positivo da dissolução no aumento da porosidade não causou o mesmo efeito na permeabilidade: regiões extremamente permeáveis coexistem com regiões não-permeáveis dentro do mesmo arcabouço, fato observado pela discrepância de valores de permeabilidade nos ensaios de petrofísica de rotina e pela pouca conectividade dos poros em lâmina petrográfica e microscopia eletrônica. Os estromatólitos da Bacia de Salta apresentam percentuais moderados de porosidade e baixos valores de permeabilidade. Processos de compactação química, deformação tectônica e cimentação, atestados pela presença de estilólitos, texturas microbrechadas, falhas e fraturas preenchidas por calcita são os principais fatores responsáveis pela redução da porosidade e pela baixa conexão de poros, em sua maioria isolados. Os calcários laminados do Membro Crato, ao contrário dos estromatólitos, apresentam estrutura sedimentar bastante homogênea. Macroscopicamente não mostram porosidade visível; sob microscópio é possível perceber rara porosidade intercrystalina. No entanto, ensaios de petrofísica revelaram 11% de porosidade, percentual bastante significativo para uma rocha aparentemente fechada. Os valores de porosidade para diferentes amostras são praticamente iguais, o que evidencia uma homogeneidade na distribuição de poros. De igual modo os valores de permeabilidade se apresentam concordantes, evidenciando ausência de conectividade entre os poros. A expressiva porosidade primária obtida nos ensaios petrofísicos de rotina mostra que a microporosidade tem papel relevante em rochas carbonáticas sem porosidade visível, porém com potencial para armazenamento de fluidos que não deve ser desconsiderado no estudo de rochas-reservatório que envolvam litotipos semelhantes aos calcários laminados. Os travertinos de Tívoli apresentam estrutura sedimentar homogênea formados por mosaico cristalino de calcita. Processos de cimentação reduziram poros vulgares primários. No entanto, processos de dissolução posteriores ao evento de cimentação foram responsáveis

por ampliar *vugs*, poros intercristalinos e microporos, e gerar porosidade intracristalina. Assim como os estromatólitos, os travertinos mostram os mais variados tamanhos de poros que variam de microns a centímetros de diâmetro. Dentre os litotipos analisados, os travertinos são os que apresentam os maiores valores de permeabilidade, possivelmente devido aos eventos de dissolução responsáveis por incrementar conexões pré-existentes ou criar novas conexões entre poros.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (PPGABFM-UERJ), Weatherford Laboratórios Brasil e México pela infra-estrutura laboratorial e suporte técnico e ao PRH-PB 234 (LAGEP/Geologia/CCMN/UFRJ)

References

AZEVEDO, R.L.M. 2009. O Pré-Sal: Oportunidades para o Brasil. Simpósio de Geologia do Sudeste, São Paulo.

BERRY, J. 2014. Biggest discoveries of the last 10 years. Disponível em <http://www.oedigital.com/component/k2/item/7620-biggest-discoveries>. Acessado em: 27 de fevereiro de 2015.

CORBETT, P. W. H. 2015, Reservoir Characterization challenges in Pre-Salt Brazilian Carbonates. *AAPG Search and Discovery Article #51083*.

ESTRELLA, G. de O. 2008. Pré-Sal: conhecimento, estratégia e oportunidades. Fórum Nacional - INAE, Rio de Janeiro.

HOWELL, J.A.; MARTINIUS, A.W.; GOOD, T.R. 2014. The application of outcrop analysis in geological modelling: a review, present status and future outlook. In: HOWELL, J.A.; MARTINIUS, A.W. & GOOD, T.R. (eds.) *Sediment-body Geometry and Heterogeneity: Analogue Studies for Modelling the Subsurface*. Geological Society, London, Special Publications, 387, 1-25.

PETROBRAS, 2016. Produção operada no Pré-sal se mantém acima de 1 milhão de boed em janeiro. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/producao-operada-no-pre-sal-se-mantem-acima-de-1-milhao-de-boed-em-janeiro.htm>. Acessado 01 de março de 2016.

REMEYSEN, K.; SWENNEN, R. Applications of microfocus computed tomography in carbonate reservoir characterization: possibilities and limitations. *Marine and petroleum geology*, v.25, p. 486-499, 2008.

TUCKER, M.E.; WRIGHT, V.P. *Carbonate sedimentology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1990.

WRIGHT, P.; BARNETT, A. 2015. Cyclicality and carbonate-silicate gel interactions in Cretaceous Alkaline Lakes: *AAPG Search and Discovery Article #51011* (2014).

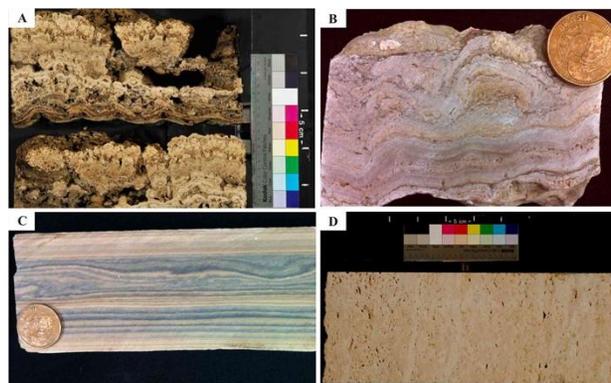


Figura 1. Rochas análogas aos reservatórios microbiais da seção Pré-sal selecionadas neste trabalho: A) Estromatólito de Lagoa Salgada, litoral norte fluminense, Rio de Janeiro; B) Estromatólito da Formação Yacoraite, Bacia de Salta, Argentina; C) Calcário laminado do membro Crato, Formação Santana, Bacia do Araripe, Ceará; D) Travertinos quaternários de Tivoli, região central da Itália

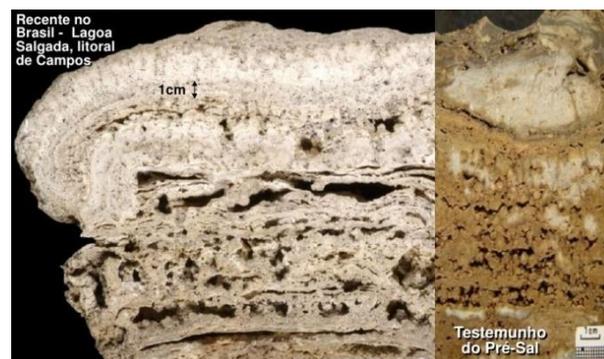


Figura 2. Estromatólito de Lagoa Salgada, situado no litoral norte fluminense, Rio de Janeiro, utilizado como rocha carbonática análoga ao Pré-sal. Fonte: Estrella (2008) e Azevedo (2009)

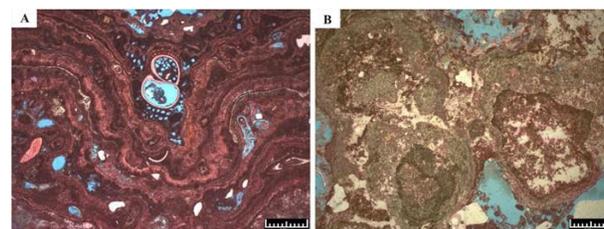


Figura 3. Fotomicrografias do estromatólito de Lagoa Salgada com destaque à estrutura sedimentar: A) formas dômicas coalescentes, com laminações internas crenuladas e bioclastos de gastrópodes situados entre os domos, com porosidade intrapartícula; B) formas arborescentes a arbustiformes formadas por massas micríticas a microespáticas de textura grumosa com contornos irregulares.

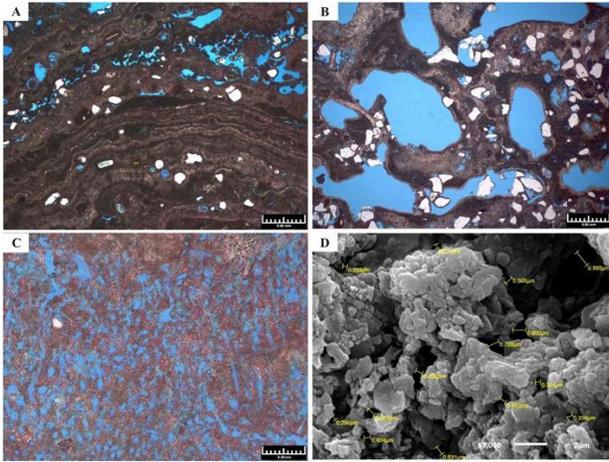


Figura 4. Porosidade associada aos estromatólitos de Lagoa Salgada. A) Poros fenestrais ao longo das laminações. B) Poros vugulares alargados por dissolução. C) Porosidade primária de crescimento do arcabouço (*growth framework*) ampliada por dissolução. D) Imagens de microscopia eletrônica (MEV) por elétrons secundários com destaque à microporosidade pouco conectada e com gargantas de poros inferiores a $1\ \mu\text{m}$

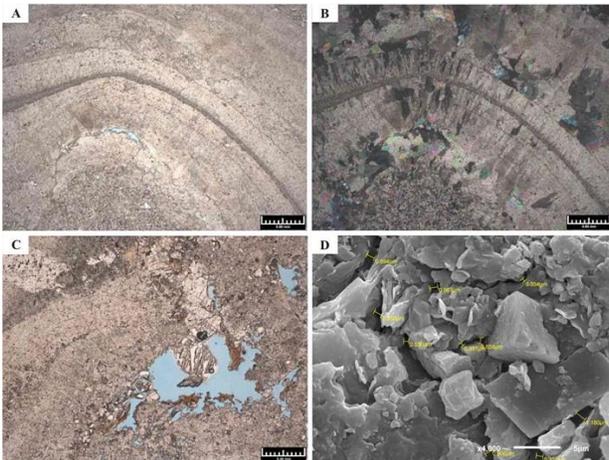


Figura 5. Fotomicrografias do Estromatólito da Formação Yacoraité, Bacia de Salta, Argentina. A e B) estrutura sedimentar dômica formada pela alternância de crostas de calcita fibro-radial a prismática e laminações microespáticas, com poros fenestrais (cor azul) reduzidos por cimento de calcita em mosaico de cristais grossos; nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. C) Poros vugulares (cor azul) sem conexões. D) Imagens de MEV por elétrons secundários com gargantas de poros inferiores a $1\ \mu\text{m}$.

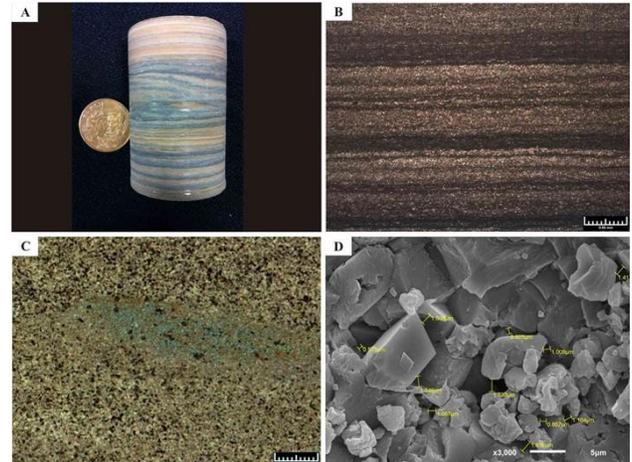


Figura 6. Calcário laminado do Membro Crato, Formação Santana, Bacia do Araripe, Ceará. A) Plug do calcário laminado utilizado para análises de petrofísica, sem poros visíveis. B) Fotomicrografia do arcabouço do calcário formado por laminações micríticas e matéria orgânica. C) Fotomicrografia de detalhe com destaque aos microporos inferiores a $5\ \mu\text{m}$. D) Imagem por microscopia eletrônica (MEV) exibindo as gargantas de poros inferiores a $1.5\ \mu\text{m}$.

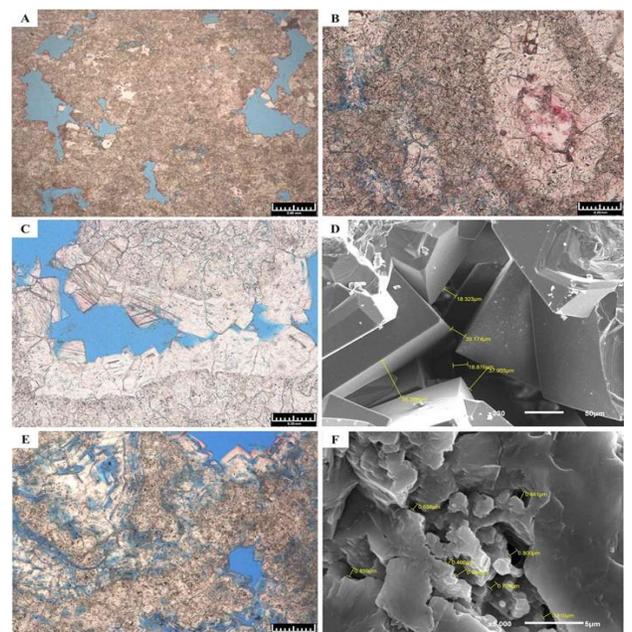


Figura 7. Aspectos microscópicos dos travertinos de Tivoli, Itália. A) Fotomicrografia com visão geral da textura do travertino formado por um mosaico de cristais anédricos a subédricos de calcita com porosidade vugular sem conexões. B) Fotomicrografia exhibe cimento de calcita preenchendo porosidade vugular (formas elípticas); localmente os há porosidade intercrystalina (cor azul, lado esquerdo da foto). C) Fotomicrografia de detalhe com destaque à porosidade vugular (cor azul) parcialmente reduzida por cristais de calcita drusiforme. D) Imagem por microscopia eletrônica (MEV) de poro preenchido por cristais euédricos de calcita. E) Poros intracrystalinos relacionados à dissolução parcial de cristais zonados de calcita. F) Imagem por microscopia eletrônica (MEV) mostrando microporos ($<1\ \mu\text{m}$) e mesoporos sem conexões.

Tabela 1. Ensaios petrofísicos de rotina com valores de densidade, porosidade e permeabilidade das rochas análogas aos reservatórios microbiais Pré-sal

Litologia/ Formação	Amostras	Densidade (g/cm ³)	Porosidade (%)	Porosidade Média (%)	Permeabilidade (mD)		Permeabilidade Média (mD)
					Ar	Klinkenberg	
Estromatólito Lagoa Salgada	E1	2,59	32,2	31,1	0,066	0,041	150
	E2	2,59	29,8		0,046	0,027	
	E5	2,58	31,4		481	450	
Estromatólito Fm.Yacoraite	ES	2,70	8,5	8,5	0,587	0,387	0,387
Calcário Laminado Bacia do Araripe	EA1	2,71	10,2	11,0	0,0015	0,0004	0,0006
	EA2	2,71	11,2		0,0021	0,0006	
	EA3	2,71	10,9		0,0020	0,0006	
	EA4	2,71	11,8		0,0033	0,0011	
Travertino Tivoli	T1	2,65	16,1	13,9	0,319	0,207	466
	T3	2,66	18,9		1020	967	
	T4	2,66	13,7		0,695	0,454	
	T5	2,66	14,1		1540	1470	
	T6	2,66	10,8		142	127	
	T7	2,66	12,7		736	695	
	T8	2,65	10,9		6,91	5,18	