

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

COMPOSIÇÃO PRIMÁRIA E DIAGENÉTICA DOS MICROBIAIS DA FORMAÇÃO ITAPEMA (BACIA DE SANTOS) E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE DE RESERVATÓRIOS PRÉ-SAL

AUTORES:

Stephani Pereira Simon¹; Mariane Cristina Trombetta^{1,2}; Amanda Goulart Rodrigues¹

INSTITUIÇÃO:

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS; ²Instituto do Petróleo e Recursos Naturais - IPR/PUCRS

COMPOSIÇÃO PRIMÁRIA E DIAGENÉTICA DOS MICROBIAIS DA FORMAÇÃO ITAPEMA (BACIA DE SANTOS) E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE DE RESERVATÓRIOS PRÉ-SAL

Resumo

As rochas do Pré-sal representam grande parte da produção de óleo e gás no Brasil e sua descoberta apresentou desafios geológicos, pois não existem análogos contemporâneos para esse sistema. Nesse contexto, o Campo de Búzios, situado na Bacia de Santos, é atualmente o segundo maior produtor no Brasil, e as rochas-reservatórios são majoritariamente coquinas da Formação Itapema e depósitos *in situ* e retrabalhados da Formação Barra Velha. Os depósitos carbonáticos da Formação Itapema consistem em grainstones, wackstones e packstones bioclásticos, intercalados com boundstones de origem microbial, além de intraclastos microbiais e oncoides em grainstones, packstones e wackstones oncolíticos. A presença de microbiais *in situ* indica condições paleoambientais específicas do sistema lacustre, além de apresentar características diferentes dos demais reservatórios. Diante disso, o objetivo deste trabalho é caracterizar o intervalo de ocorrência microbial que ocorre intercalado com as coquinas da Formação Itapema, no poço 9-BUZ-1-RJS, Campo de Búzios, a fim de determinar os processos deposicionais que deram origem a esses depósitos, como também entender os processos diagenéticos que os modificaram, analisando o potencial dessas rochas como reservatórios. Para isso, foi realizada a descrição petrológica qualitativa de quatorze lâminas delgadas, por meio das análises de morfologia, textura, composição primária e diagenética, tipos de poros e classificação. O intervalo microbial pode ser dividido em: 1) Estromatolitos trombolíticos colunares, com laminação convexa, textura grumosa, dolomitizados, com material entre colunas composto por bioclastos de moluscos e ostracodes, peloides e intraclastos microbiais substituídos e circundados por dolomita microcristalina a blocosa; 2) Trombolitos, colunares ou não, com estrutura irregular e fragmentada, textura interna grumosa, dolomitizados e dissolvidos, por vezes apresentam bioclastos de moluscos e peloides trapezados, substituídos e circundados por dolomita microcristalina a blocosa, e 3) Dendrolitos dômicos, dolomitizados, com textura interna filamentosa de aspecto arborescente, material externo ao domo composto por bioclastos de moluscos, bivalves e peloides silicificados e dissolvidos. Nos estromatolitos trombolíticos e dendrolitos, a porosidade ocorre principalmente nas regiões entre colunas, por meio da dissolução dos bioclastos, apresentando poros vugulares, mólidos, e localmente de dissolução da bioconstrução. Os trombolitos apresentam poros vugulares de dissolução da bioconstrução. A diagênese é caracterizada pela cimentação por dolomita blocosa e rara calcita macrocristalina, que preserva e reduz os poros, enquanto a dissolução dos constituintes primários e diagenéticos redistribui a porosidade original. O entendimento desses aspectos é extremamente relevante para estabelecer modelos deposicionais e propriedades dos reservatórios em áreas de exploração.

Palavras-chave: Pré-sal; Formação Itapema; Trombolito; Reservatórios.

Abstract

Pre-salt rocks represent a large part of oil and gas production in Brazil and their discovery presented geological challenges, as there are no contemporary analogues for this system. In this context, the Búzios Field, located in Santos Basin, is currently the second biggest producer in Brazil, and the

reservoir rocks are mainly coquinas from the Itapema Formation and *in situ* and resedimented deposits from the Barra Velha Formation. The carbonate deposits of the Itapema Formation consist of bioclastic grainstones, wackstones, and packstones, interlayered with boundstones of microbial origin, in addition to microbial intraclasts and oncoids in oncolitic grainstones, packstones, and wackstones. The presence of *in situ* microbials may indicate specific paleoenvironmental conditions of the lake system, furthermore presenting different characteristics from other reservoirs. Therefore, the objective of this work is to characterize an interval of microbial occurrence that occurs intercalated with coquinas from the Itapema Formation, in well 9-BUZ-1-RJS, Buzios Field, to determine the depositional processes that originated them, as well as understand the diagenetic processes that modified the deposits, analyzing the potential of these rocks as reservoirs. To this end, a qualitative petrological description of fourteen thin sections was carried out, through analyses of morphology, texture, primary and diagenetic composition, porosity and classification. The microbial interval can be divided: 1) Columnar thrombolytic stromatolites, with convex lamination, grumose texture, dolomitized, with material between columns composed of mollusk and ostracod bioclasts, peloids, and microbial intraclasts replaced and surrounded by microcrystalline to blocky dolomite; 2) Thrombolites, columnar or not, with an irregular and fragmented structure, grumose internal texture, dolomitized and dissolved, sometimes present mollusks bioclasts and peloids trapped, replaced and surrounded by microcrystalline to blocky dolomite, and 3) Domic dendrolites, dolomitized, with an internal filamentous texture with an arborescent appearance, the material external to the dome is composed of mollusks and bivalves bioclasts and peloids, silicified and dissolved. In thrombolytic stromatolites and dendrolites, porosity occurs mainly in the regions between columns, through the bioclasts dissolution, presenting vugular, moldic, and locally bioconstruction dissolution pores. Thrombolites have large pores of bioconstruction dissolution. Diagenesis is characterized by the cementation of blocky dolomite and rare macrocrystalline calcite, which preserves and reduces pores, while the dissolution of primary and diagenetic constituents redistributes the original porosity. Understanding these aspects is extremely relevant for establishing depositional models and reservoir properties in exploration areas.

Keywords: Pre-salt; Itapema Formation; Trombolite; Reservoirs.

Introdução

O Pré-Sal é considerado uma das maiores descobertas de reserva energética de hidrocarbonetos e contempla as bacias petrolíferas brasileiras de Santos, Campos e Espírito Santo, com cerca de 800 quilômetros de extensão (Moreira *et al.*, 2007; Riccomini *et al.*, 2012). De acordo com o Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural (ANP, 2023), a produção média nacional de petróleo atingiu 4,344 milhões de barris por dia (bbl/d) em 2023, com destaque para os principais produtores que foram os campos de Tupi e Búzios, localizados na Bacia de Santos, responsável atualmente por 74% da produção no Brasil.

O Supergigante Campo de Búzios na Bacia de Santos é reconhecido como o maior campo em águas ultraprofundas no mundo, não apenas pelo seu tamanho, mas também devido à alta produtividade obtendo, no mês de abril de 2024, cerca de 819 mil barris de óleo equivalente por dia (boe/d), segundo a ANP (2024). A Figura 1 indica a localização do poço estudado neste trabalho (9-BUZ-1-RJS) no Campo de Búzios.

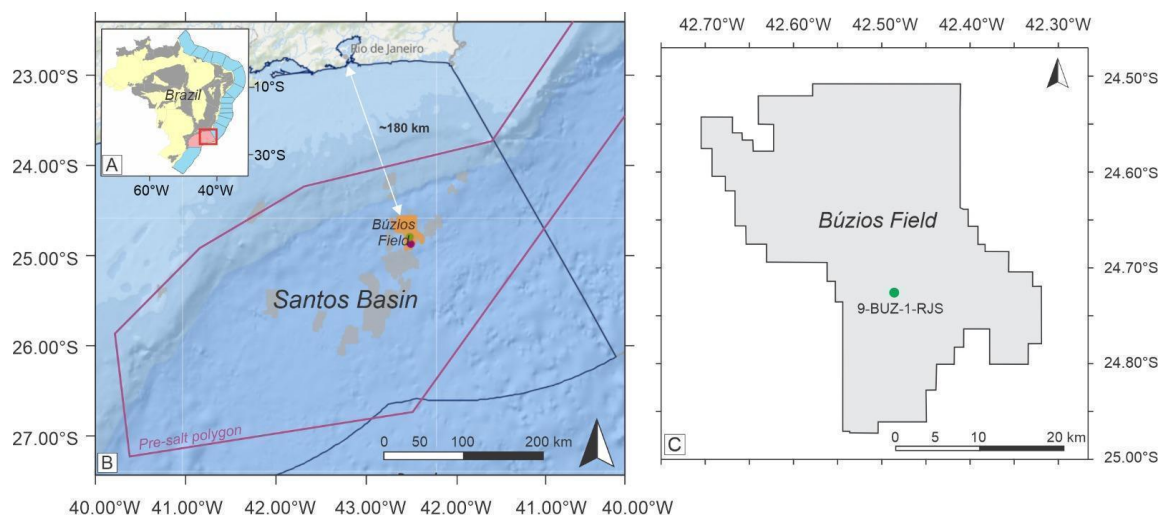


Figura 1 – Mapas de localização. A) Mapa de localização da Bacia de Santos. B) Localização do Campo de Búzios na Bacia de Santos. C) Localização do poço 9-BUZ-1-RJS no Campo de Búzios. Fonte: produzido pela autora a partir dos dados da ANP.

Os depósitos carbonáticos lacustres da Formação Itapema encontram-se na Supersequência Rife e correspondem ao intervalo Barremiano/Aptiano da Bacia de Santos (Fig. 2). As rochas-reservatórios incluem grainstones a “coquinas”, wackstones e packstones bioclásticos dolomitizados e silicificados (Moreira *et al.*, 2007; Chinelatto *et al.*, 2020), além de intercalações com boundstones de origem microbial, presença de intraclastos microbiais e oncoides em grainstones, packstones e wackstones oncolíticos (De Carvalho Antunes *et al.*, 2024).

GEOCRONOLOGIA			LITOESTRATIGRAFIA	DISCORDÂNCIA	SEQUÊNCIAS	
Ma	CRETÁCEO INFERIOR	APTIANO	BARRA VELHA	INTRA ALAGOAS	K46-K48	PÓS-RIFTE
					K44	
		BARREMIANO	ITAPEMA	PRÉ-ALAGOAS	K38	RIFTE
		HAUTERIVIANO	PIÇARRAS	TOPO BASALTO	K36	
		VALANGINIANO	CAMBORIU		K20-K34	
		ALAGOAS				
		JUIQUÁ				
		BURACICA				
		ARATU				

Figura 2 – Carta cronoestratigráfica dos intervalos Rife e Pós-rife da Bacia de Santos, modificado de Moreira *et al.*, 2007. A unidade geológica estudada encontra-se destacada em vermelho.

A presença de intervalo microbial *in situ* pode indicar condições paleoambientais específicas como a composição química da água e da atmosfera atuantes no sistema lacustre (Riding, 2011). Além de exibir características diferentes dos demais reservatórios desta unidade devido a variabilidade das

fácies que resultam em propriedades heterogêneas, tanto vertical quanto lateralmente. Sendo assim, o objetivo principal do trabalho é caracterizar um intervalo microbial da Formação Itapema, do poço 9-BUZ-1-RJS no Campo de Búzios (Bacia de Santos), a fim de compreender qual o impacto dos processos diagenéticos na qualidade de reservatórios e determinar suas heterogeneidades, identificando estrutura e textura deposicional, composição primária, processos e produtos diagenéticos e tipos de poros.

Metodologia

O principal método utilizado para caracterizar o intervalo microbial da Formação Itapema foi a descrição petrográfica qualitativa de quatorze lâminas delgadas do poço 9-BUZ-1-RJS, adquiridas na Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), impregnadas com resina epóxi azul, a fim de ressaltar a porosidade presente. Além disso, as lâminas delgadas foram tingidas com uma solução Alizarina vermelha S e ferrocianeto de potássio, visando distinguir as espécies minerais de carbonatos (Dickson, 1965).

As descrições petrográficas foram baseadas em características de morfologia, textura e estrutura deposicional, utilizando a classificação proposta por Riding (2011). Foram descritos aspectos de composição primária e diagenética, que inclui hábito, localização e relação paragenética dos constituintes, além dos tipos de poros e sua distribuição na amostra, com base na classificação sugerida por Choquette & Pray (1970). A petrografia e documentação fotomicrográfica foram realizadas com o uso dos microscópios Leitz Laborlux e Leica DM750P de luz polarizada transmitida e com o auxílio do *software Petroledge®* para otimizar a aquisição e processamentos dos dados (De Ros *et al.*, 2007).

Resultados e Discussão

A análise petrográfica do intervalo microbial permitiu separar três grupos litológicos, de acordo com a morfologia, textura e estrutura deposicional das lâminas. Os estromatólitos trombolíticos, com laminação interna convexa, níveis com textura grumosa (Fig. 3A), enquanto os trombolíticos são compostos por feições grumosas e ambos apresentam bordas com estilolitização incipiente. Os dendrolitos apresentam estrutura colunar, com textura arborescente formada por filamentos de origem bacteriana (Fig. 3B).

Os constituintes carbonáticos primários identificados são grãos bioclásticos e peloides, distribuídos na região entre as colunas microbiais e raramente trapeados. Compreendem bioclastos de moluscos e ostracodes desarticulados (Fig. 3C) e peloides (Fig. 3D), apresentam-se predominantemente dolomitizados e recristalizados.

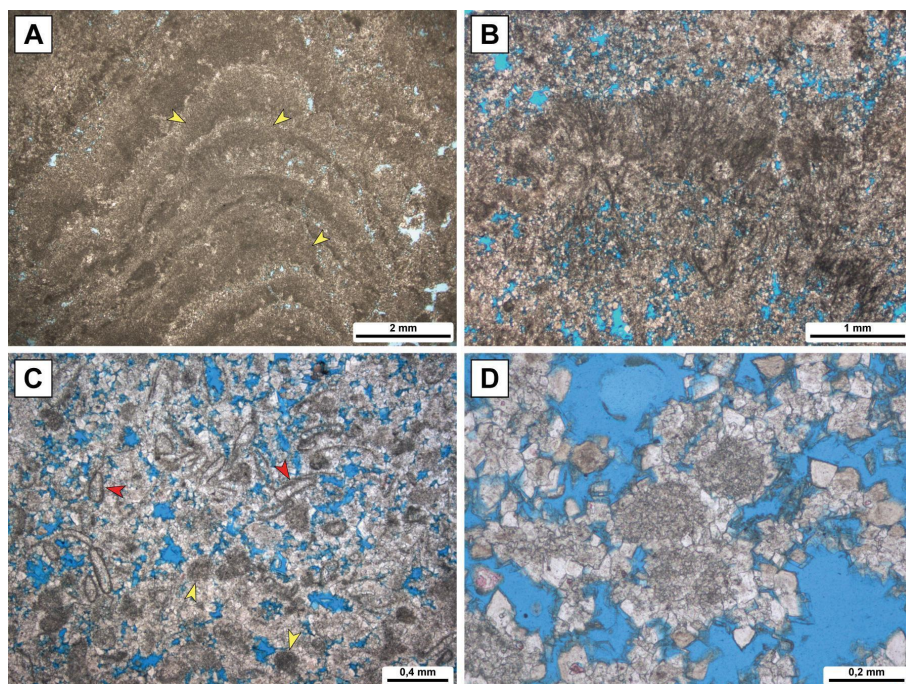


Figura 3 – Características texturais e composicionais dos microbiais da Formação Itapema. Todas as fotomicrografias foram adquiridas com polarizadores descruzados. A) Textura grumosa (amarelo) em estromatolito trombolítico laminado. B) Filamentos microbiais formando textura arbustiforme em dendrolito. C) Bioclastos (vermelho) e peloides (amarelo) intensamente substituídos e preenchidos por dolomita blocosa. D) Peloides substituídos por dolomita microcristalina e circundados por dolomita blocosa.

Os constituintes diagenéticos identificados incluem dolomita, calcita e quartzo em menores proporções (Fig. 4A e 4B). Os principais processos e produtos diagenéticos que ocorrem são: 1) substituição por dolomita microcristalina; 2) dissolução dos bioclastos e da bioconstrução; 3) cimentação por franjas de dolomita blocosa; e 4) rara calcita macrocristalina preenchendo poros de dissolução da bioconstrução e de bioclastos.

A porosidade é constituída por poros primários de bioconstrução e entre colunas, enquanto a porosidade secundária ocorre como poros vulgares de dissolução da bioconstrução (Fig. 4C), móldicos de dissolução de bioclastos (Fig. 4D), frequentemente reduzidos por cimentação.

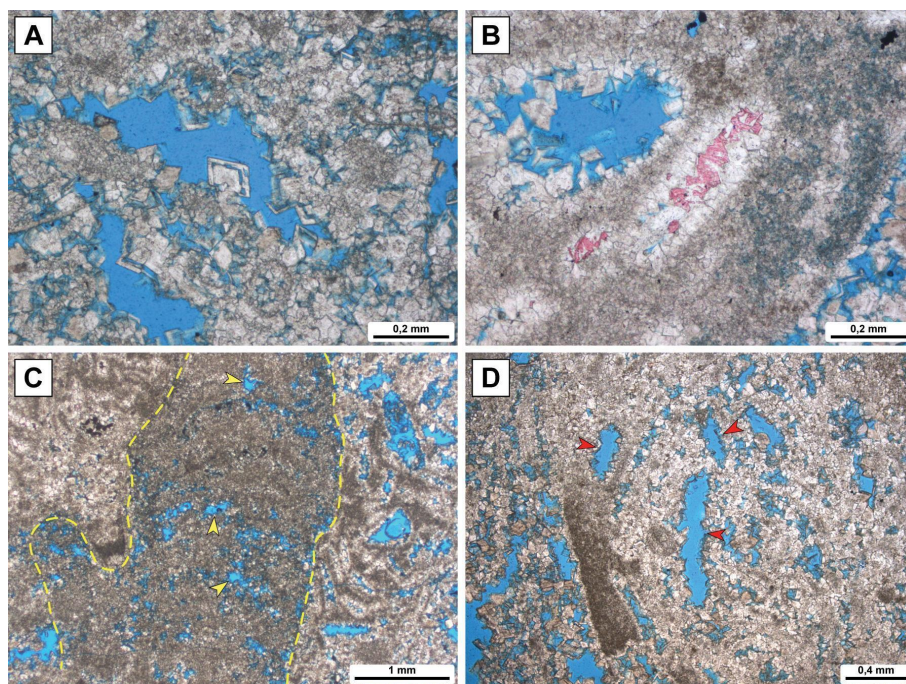


Figura 4 – Principais constituintes diagenéticos e tipos de poros nos microbiais da Formação Itapema. Todas as fotomicrografias foram adquiridas com polarizadores descruzados. A) Dolomita romboédrica zonada em poros vulgares, parcialmente dissolvida. B) Dolomita blocosa e calcita macrocristalina preenchendo poros de dissolução de bioclastos de molusco. C) Poros de dissolução (setas) dentro das lâminas micríticas da bioconstrução. D) Poros móldicos de dissolução de bioclastos de moluscos.

Conclusões

A dolomitização precoce das bioconstruções dos microbiais permitiu a preservação das estruturas e texturas primárias. A dolomitização intergranular, assim como outros processos diagenéticos, colaborou na redução da porosidade por meio da cimentação. Além disso, a dissolução dos constituintes contribuiu na redistribuição da porosidade de maneira que estromatolitos trombolíticos e dendrolitos apresentam porosidade predominantemente na região entre as colunas, e secundariamente porosidade formada pela dissolução das bioconstruções. Em contraste, a porosidade nos trombolitos ocorre principalmente pela dissolução da bioconstrução. Todas essas características observadas permitem afirmar que, dependendo do tipo das bioconstruções e os processos diagenéticos que as afetaram, existe grande variedade de distribuição da porosidade nesses reservatórios.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos

provenientes do investimento de empresas petrolíferas qualificadas na Cláusula de P, D&I da Resolução ANP nº 50/2015.

Referências Bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Boletim Mensal da Produção de Petróleo e Gás Natural - Dezembro 2023. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/arquivo-s-bmppgn/2023/encarte-boletim-dezembro.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Boletim Mensal da Produção de Petróleo e Gás Natural - Maio 2024. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/arquivo-s-bmppgn/2024/maio.pdf>>. Acesso em: 24 jun, 2024.
- CHINELATTO, G. F. et al. A taphofacies interpretation of shell concentrations and their relationship with petrophysics: A case study of Barremian-Aptian coquinas in the Itapema Formation, Santos Basin-Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, v. 116, 2020.
- CHOQUETTE, P. W.; PRAY, L. C. Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates. **AAPG Bulletin**, v. 54, 1970.
- DE CARVALHO ANTUNES, R.; GUERRERO, J. C.; JAHNERT, R. J. Coquina depositional model, Buzios Field, Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, v. 160, p. 106607, 2024.
- DE ROS, L. F.; GOLDBERG, K. Advanced acquisition and management of petrographic information from reservoir rocks using the Petroledge® System. In: **AAPG Annual Convention and Exhibition, Long Beach, Expanded Abstracts**. 2007.
- DICKSON, J. A modified staining technique for carbonate in thin section. *Nature*, 205: 587, 1965.
- MOREIRA, J.L.P., MADEIRA, C.V., GIL, J.A., MACHADO, M.A.P. Bacia de Santos. Boletim Geociências Petrobras, 15 (2): 531–549, 2007.
- RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; TASSINARI, C. C. G. Pré-sal: geologia e exploração. **Revista USP**, n. 95, p. 33–42, 30 nov, 2012.
- RIDING, R. Microbialites, Stromatolites, and Thrombolites. In: Reitner, J., Thiel, V. *Encyclopedia of Geobiology*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. p. 635–654, 2011.