

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E DIAGENÉTICA DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO
PENEDO, BACIA ALAGOAS

AUTORES:

Andressa Amâncio dos Santos¹, Zenilda Vieira Batista², Glydianne Mara Diógenes
Fernandes³

INSTITUIÇÃO:

¹²³Universidade Federal de Alagoas

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E DIAGENÉTICA DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO PENEDO, BACIA ALAGOAS

Abstract

Petrographic and diagenetic studies are techniques that help the geological characterization of oil reservoirs and have been widely used by the oil industry, as it has been very promising. Diagenesis is an important conditioner that markedly impacts the quality of many oil reservoirs, which is determined by porosity and permeability, which in turn are controlled by various factors such as depositional, compositional and diagenetic. The little study carried out in the Penedo Formation and the petrographic and diagenetic complexity that influence the quality of oil storage rocks motivated this work. In this context, this project aims to make a petrographic and diagenetic characterization of the reservoir sandstones of the Penedo Formation, Alagoas Basin, aiming to identify and discuss the diagenetic processes and their influence on the quality of these reservoirs, as well as to supply the knowledge of academic interest about the sandstones of the Penedo Formation, Alagoas Basin. The Alagoas Basin is considered a rift type basin and comprises a set of basins that form the continental margin of eastern Brazil. In it is the Penedo Formation, composed of medium to fine and conglomeratic (poorly selected) sandstones, as well as siltstone and claystone, deposited in an intertwined fluvial environment. The results show that Penedo Formation sandstones are predominantly quartz, followed by feldspars and, to a lesser extent, lytic fragments. The particle size ranges from coarse sand to clay, with gravelly levels; The grains are angular to under-rounded and poorly selected, indicating low textural maturity. These sandstones are classified as quartzarenite and subarcose. The diagenetic processes identified were: mechanical compaction and chemical compaction; clay infiltration, occupying porous spaces, iron oxide / hydroxide cement; grain change and substitution. The predominant porosity is the primary intergranular, but also secondary porosity due to fracture of rigid grains. From the identified diagenetic processes, it was observed that there was loss of porosity and original permeability. The identified petrofacies suffered diagenetic modifications with feldspar alteration, causing kaolinite.

Introdução

Nos últimos anos a predição da qualidade de rochas reservatório de petróleo tornou-se uma das ferramentas mais importantes, passando a ser imprescindível para descobertas de novas fronteiras potenciais a exploração petrolífera. Nesse contexto, estudos petrográfico e diagenético constituem ferramentas essenciais na análise da qualidade de reservatório, visto que identifica a constituição da rocha e suas alterações diagenéticas (física e química). Além disso, estas técnicas representam instrumentos de relativa precisão, com baixo custo. Esses estudos ajudam a prevê o comportamento e qualidade dos reservatórios de petróleo, a partir da caracterização petrográfica da rocha e identificação dos processos diagenéticos presentes.

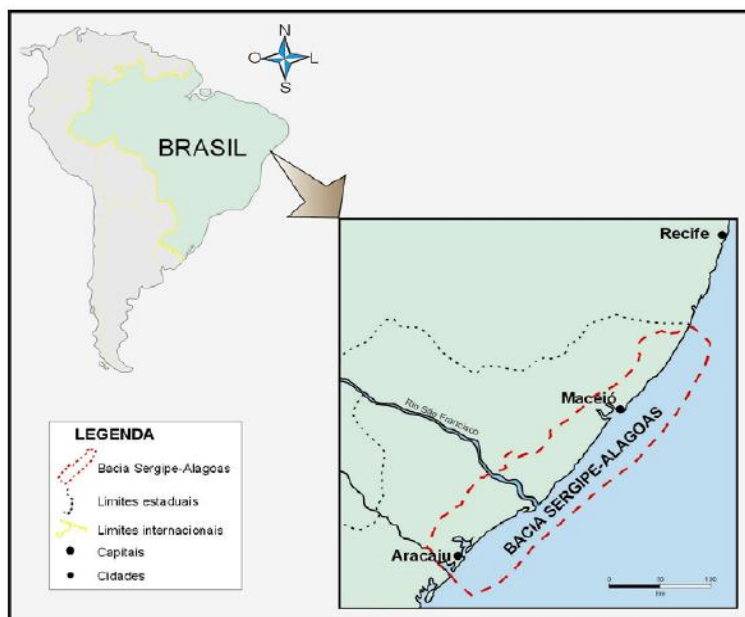
Os fenômenos diagenéticos que ocorrem no interior de arenitos desempenham um papel de suma importância na qualidade dos reservatórios ao longo tempo. A diagênese é um condicionante importante que impacta de forma marcante a qualidade de muitos reservatórios (DAUDT, 2009).

A Bacia Alagoas (Figura 1), considerada uma bacia do tipo rifte, compõe um conjunto de bacias que formam a margem continental do leste brasileiro. Seus limites ao norte e ao sul são: o Alto de Maragogi, onde faz fronteira com a Bacia Pernambuco e o Alto de Japoatã-Penedo, fazendo fronteira com a Bacia de Sergipe (SANTOS, 2004). A Formação Penedo, pertencente à supersequência rifte dessa bacia, é composta por arenitos de granulação grossa a média, de ambiente fluviodeltaico, com retrabalhamento eólico (SCHALLER, 1970; SOUZA-LIMA et al., 2002; CAMPOS NETO et al., 2007).

Apesar da Formação Penedo já ter sido alvo de vários trabalhos, ainda há escassez de estudos sobre diagênese. Além disso, a complexidade petrográfica e diagenética que influenciam na qualidade de rochas armazenadoras de petróleo, motivou a realização desse trabalho. Desta forma, o objetivo desse trabalho é fazer uma caracterização petrográfica e diagenética dos arenitos reservatórios da

Formação Penedo, Bacia Alagoas, visando identificar os processos diagenéticos e sua influência na qualidade desses reservatórios.

Figura 1. Mapa de localização da Bacia Sergipe-Alagoas. FONTE: Nogueira et. al (2003).



Material e Método

O material utilizado nesse trabalho é oriundo de amostras de afloramentos, coletas na Formação Penedo, Bacia Alagoas. Foram coletadas 16 amostras de rochas, das quais, 08 foram separadas para confecção de lâminas petrográficas e analisadas ao microscópio petrográfico de luz polarizada, e 3 foram examinadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Foi realizada uma análise petrográfica quantitativa a partir da contagem de 300 pontos (incluindo poros) em cada lâmina petrográfica examinada. Utilizou-se o método de quantificação de Gazzi-Dickinson (cf. ZUFFA, 1985), onde a contagem de pontos foi feita por meio de quatro travessias perpendiculares à orientação principal da rocha. Em cada lâmina foi contada a porcentagem de quartzo monocristalino e policristalino, feldspatos, fragmentos líticos, porosidade e minerais acessórios. Os dados obtidos através da quantificação de grãos por lâmina petrográfica foram plotados em diagramas triangulares QFL de Folk (1968), para classificar os arenitos.

Quanto aos aspectos texturais, foram analisados a granulometria, arredondamento e seleção dos grãos; também foi definida mineralógica. O índice de empacotamento foi definido com base em Kahn (1956).

Resultados e Discussão

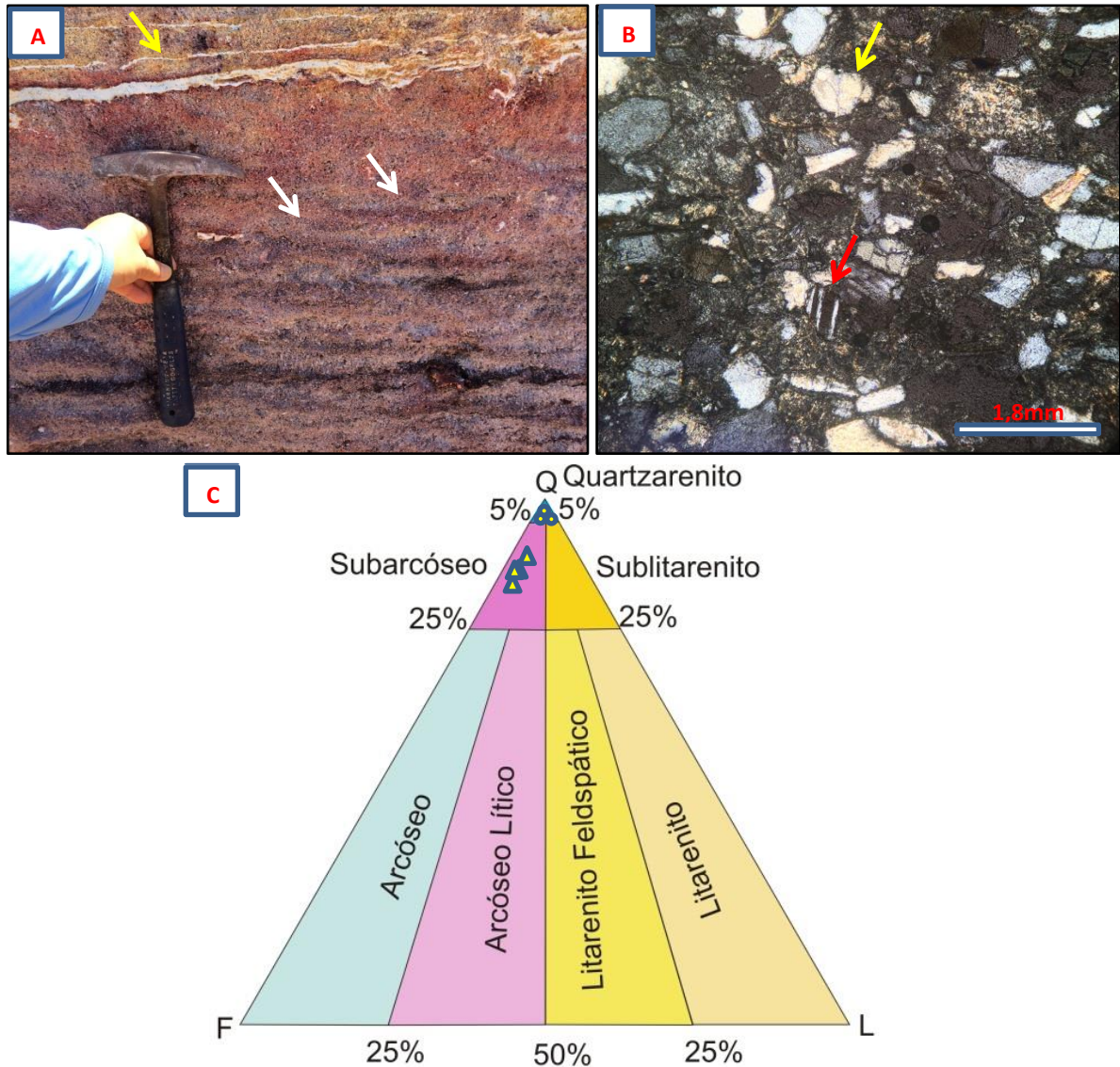
Petrografia e Diagenese

A Formação Penedo (Fm.) é composta por arenitos médios a finos e conglomeráticos, mal a moderadamente selecionados, além de siltito e argilito, típico de ambiente fluvial de padrão entrelaçado (Figura 2A).

O estudo petrográfico realizado nessas rochas mostrou que os arenitos dessa unidade são compostos por quartzo (mono e policristalino, com média de 96% e 83%), seguido do feldspato (microclima e plagioclásio, média de 3,5% e 16%) e, em menor proporção, fragmentos líticos (média de 0,5% e 1% (Figura 2B). Os minerais acessórios identificados foram muscovita, biotita e opacos. A granulometria varia de areia grossa a argila, com níveis cascalhosos; os grãos são angulosos a subarredondados, mal a moderadamente selecionados, indicando baixa e média maturidade textural.

De acordo com as proporções de quartzo, feldspato e fragmentos líticos, os arenitos da Formação Penedo são classificados como quartzo-arenito e subarcóseo (*sensu* Folk, 1968; Figura 2C).

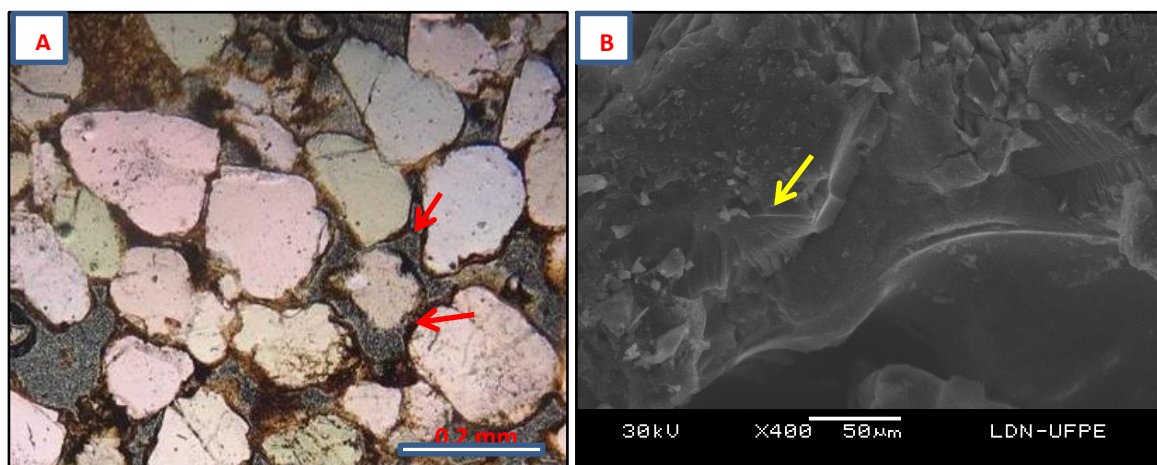
Figura 2: Fácies e fotomicrografia dos aspectos composicionais dos arenitos da Fm. Penedo. A) Fácies de arenito médio a grosso com níveis de caulinita (seta amarela) e presença de pequenos sigmóides (setas brancas). B) Grãos de quartzo monocristalino (seta amarela) e plagioclásio (seta vermelha), (PX). C) Diagrama ternário de Folk (1968) para classificação composicional dos arenitos estudados.



Essas rochas apresentam composição rica em quartzo, seguida de feldspato. Ressalta-se que, o predomínio de arenitos ricos em quartzo em amostras de afloramentos pode estar relacionado a processos diagenéticos, devido à alteração de fragmentos líticos e feldspatos por dissolução, bem como a alteração e substituição de minerais micáceos e feldspato por argilominerais. A (Figura 2A) corresponde a uma fácies de arenito médio a grosso onde é comum a presença de níveis de caulinita oriunda da alteração de feldspato.

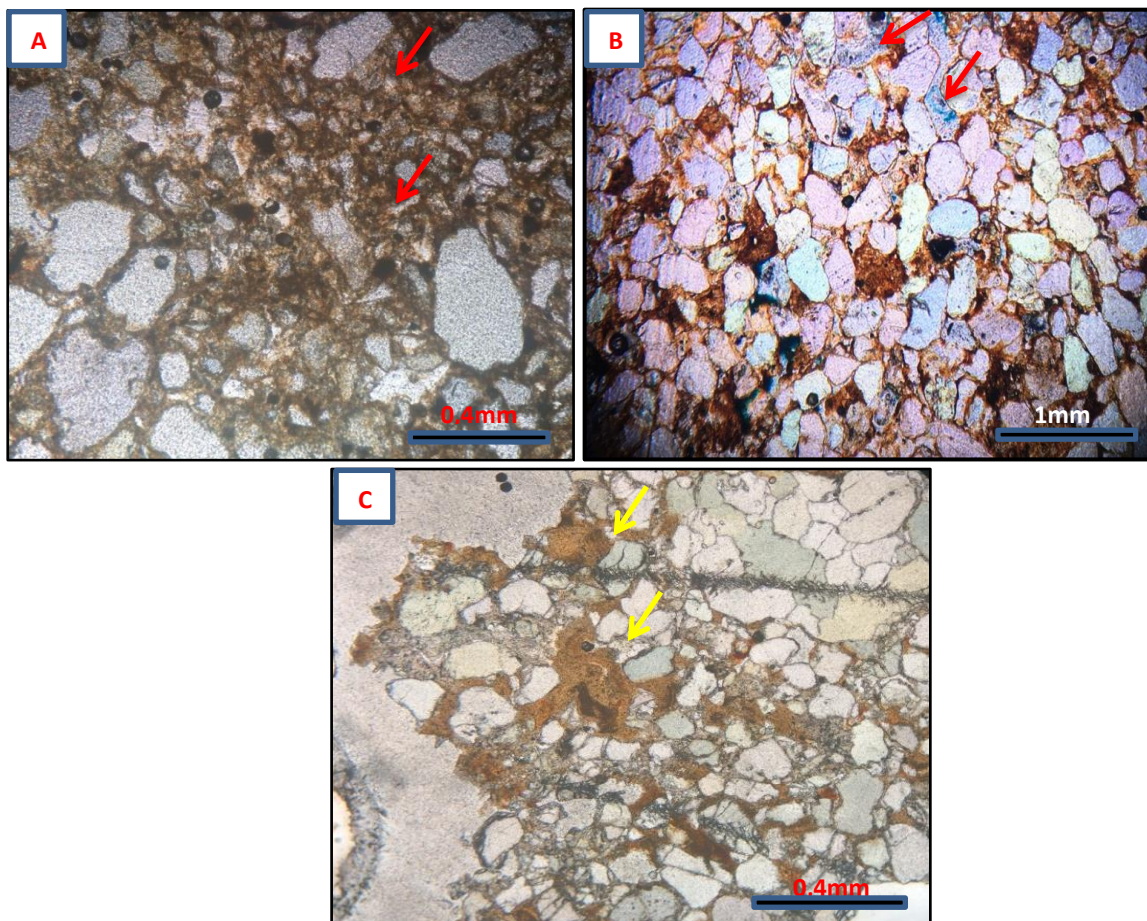
O arcabouço dessas rochas é sustentado pelos grãos e pela matriz, com empacotamento fechado e normal, cujos contatos são pontuais, côncavo-convexos e suturados; a porosidade é em torno de 6%, sendo representada principalmente pela primária intergranular (Figura 3A), seguida da secundária originada por fratura de grãos rígidos. O cimento é predominantemente de óxido/hidróxido de ferro (provável goetita e hematita), e a matriz é areno-argilosa. A argila identificada nesses arenitos foi caulinita (Figura 3B).

Figura 3: Fotomicrografias mostrando: A) Porosidade primária intergranular (setas) e grãos de quartzo (P//). B) Argila do tipo caulinita sob a forma de livrinhos, vista ao MEV (seta).



Os processos diagenéticos identificados correspondem aos estágios da eodiagênese, mesodiagênese e telodiagênese. Durante a eodiagênese ocorreu a infiltração de argila, que ocorre preenchendo os poros na forma de cutícula e agregado (Figura 4A e B), e compactação mecânica no final desse estágio. Esta compactação é representada por pseudomatriz, grãos fraturados (Figura 4C) e micas (muscovita e biotita) dobradas. A mesodiagênese está sendo representada pela compactação química, revelada por contatos côncavo-convexos, além da substituição de feldspato por caulinita e cimentação de óxido de ferro (hematita). Na telodiagênese, os processos identificados foram cimentação de óxido/hidróxido de ferro e alteração de biotita gerando cimento.

Figura 4: Fotomicrografias. A) Infiltração de argila (setas) e grãos de quartzo (P//). B) Infiltração de argila (setas amarelas) e poros primários (setas vermelhas; P//). C) Pseudomatriz (setas), (P//).



Os processos diagenéticos mais atuantes nesses arenitos foram à compactação mecânica e infiltração de argila, esta última, indicando proximidade da superfície deposicional.

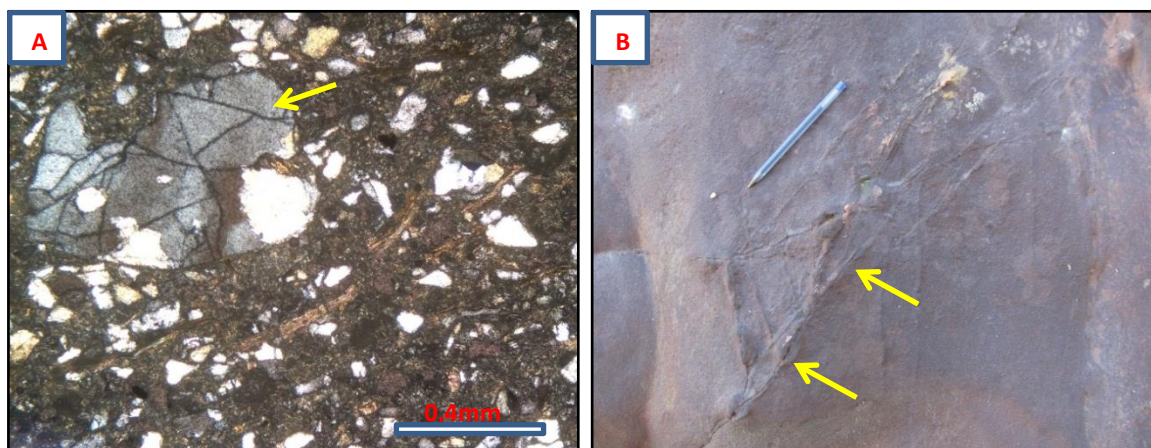
Segundo De Ros & Moraes (1984), a compactação mecânica ocorre em resposta à crescente pressão de soterramento com o aumento da profundidade, na mesodiagênese, mas pode acontecer a pequenas profundidades, logo após o soterramento, no domínio eodiagênético. Para Worden & Morad (2000), a compactação em uma rocha é mais atuante a partir dos primeiros 2 km de soterramento, onde também ocorre a cimentação de quartzo autigênico, com o aumento da temperatura. A compactação mecânica corresponde a processos advindos de soterramento que originam a redução tanto dos espaços porosos, quanto do volume total de sedimentos (MARTINI, 2010).

Segundo Martini (2010), a compactação mecânica corresponde a processos advindos de soterramento que originam a redução tanto dos espaços porosos, quanto do volume total de sedimentos. Os processos mecânicos envolvem deformação de interclastos e de minerais lamelares, como micas, e fraturamento e rotação de grãos (CAETANO-CHANG & FU TAI, 2003).

Ressalta-se ainda que, nos arenitos analisados as rochas apresentam-se bastante fraturadas (devido à cataclase), com bandas de deformação, gerando porosidade secundária. Contudo, algumas dessas fraturas às vezes mostram-se preenchidas por cimento, tornando-se selante (Figura 5A e B).

Fossen et al. (2007), definiu as bandas de deformação como zonas de compactação, cisalhamento e/ou dilatação, de espessuras milimétricas em rochas porosas deformadas. Esta compactação pode reduzir a permo-porosidade original das rochas, a partir do esmagamento de grãos dúcteis, bem como provocar a dissolução de alguns minerais e, posteriormente, geração de cimento.

Figura 5: A) Fotomicrografia mostrando grãos de quartzo bastante fraturado (seta), (PX). B) Arenito visto em afloramento, com fraturas preenchidas, bandas de deformação (seta).



A compactação química marca o fim da eodiagênese e início da mesodiagênese, produzindo contatos suturados e côncavos-convexo entre os grãos, em decorrência do aumento de profundidade de soterramento (BATISTA, 2015).

De acordo com De Ros (1986), a argila pode ser introduzida após a deposição de sedimentos, pela água de enxurradas episódicas, quando o lençol freático é rebaixado a níveis profundos, conduzindo a argila pelas gargantas dos poros, através da zona vadosa (quando os poros estão parcialmente preenchidos por gases e água), decantando nas superfícies dos grãos.

Segundo Walker (1976, apud Morad, 1991), parte do cimento de hematita em arenitos seria formado pela alteração diagenética de minerais detríticos portadores de ferro (biotita, anfibólio, piroxênio, magnetita, óxidos de Fe e Ti).

A alteração e substituição de feldspato por caulinita pode ocorrer devido à percolação de fluidos lixiviantes em profundidades rasas, dissolvendo este mineral (BATISTA, 2015). A dissolução de grãos de feldspatos influencia na precipitação de caulinita, que se deposita nos poros secundários devido à reação entre os grãos instáveis e com a presença de água intersticial ácida (WOLELA & GIERLOWSKII-KORDESCH, 2007).

Conclusões

A caracterização petrográfica mostrou que a composição dos arenitos estudados é predominantemente quartzosa (quartzo mono e policristalino), seguida de feldspática (feldspatos microclina, ortoclásio e plagioclásio), com escassos fragmentos líticos, sendo classificados como quartzo-arenito e subarcóseos. Os minerais acessórios apresentam baixa variedade, sendo representados por muscovita, biotita e opacos.

Essas rochas apresentam baixa maturidade textural, evidenciada pelo arredondamento e seleção dos sedimentos, bem como maturidade mineralógica moderada a baixa, demonstrada pela grande presença de feldspatos. O argilomineral encontrado foi a caulinita; a porosidade predominante é a primária do tipo intergranular, sendo que, também ocorre à porosidade intragranular como produto da compactação mecânica, fraturando grãos rígidos. As bandas de deformação encontradas nesses arenitos podem estar provocando compactação mecânica e pode estar associada a zonas de cisalhamento. Observou-se que nos arenitos estudados as amostras próximas a estas bandas apresentam-se bastante fraturados.

A história diagenética ocorreu nos três estágios: eodiagênese, mesodiagênese e telodiagênese. Foram identificados os seguintes processos diagenéticos: compactação mecânica; infiltração de argila; compactação química; cimentação de óxido/hidróxido de ferro; alteração de grãos de biotita, gerando cimento ferruginoso; muscovita e feldspato; e substituição de feldspato por caulinita. Contudo, os processos diagenéticos mais atuantes foram a compactação mecânica, a infiltração de argila e a substituição de feldspato por caulinita e provável illita.

A compactação mecânica, a infiltração de argila e a formação de argila autigênica (pela substituição de feldspato por caulinita) exerceram forte atuação nessas rochas, destruindo a porosidade original.

A partir dos estudos diagenéticos foi possível perceber que, na eodiagênese a compactação mecânica e a infiltração de argila foram os processos mais presentes. Na mesodiagênese, atuou, principalmente, o processo de substituição de grãos de feldspato por caulinita. Essa substituição de feldspato indica que, originalmente, esses arenitos apresentavam composição mais feldspática (arcóseana) e, atualmente, esses arcóseos tornaram-se quartzo-arenito (ricos em quartzo).

O estágio da telodiagênese foi o que menos apresentou processo diagenético, sendo à precipitação de cimento óxido/hidróxido de ferro o mais presente nesse estágio.

A análise petrográfica detalhada mostrou uma mineralogia restrita, que pode indicar resquícios de dissolução de uma assembleia de mineral mais diversificada, visto que muitos minerais instáveis (como epidotos, piroxênios, olivinas, anfibólios, entre outros), poderiam estar presentes nos sedimentos originais da Formação Penedo, mas que, possivelmente, podem ter sido atingidos por dissolução pós-deposicional. No entanto, não foi observada dissolução de grãos (a exceção de contatos suturados) que possa justificar essa pouca variedade mineralógica.

Os resultados obtidos mostram que os arenitos da Formação Penedo, aqui analisados, apresentam baixa porosidade (média de 6%) e, consequentemente, baixa permeabilidade para serem considerados bons reservatórios de petróleo. Essa baixa permo-porosidade deve-se aos processos diagenéticos, os quais os mesmos foram submetidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Alagoas, ao Laboratório de Sedimentologia, Estratigrafia e Geologia do Petróleo, pelo espaço disponibilizado e todo o suporte dado com o uso dos microscópios. A primeira autora agradece a orientadora Zenilda Vieira Batista pela oportunidade que foi dada.

Referências Bibliográficas

BATISTA, Z.V. Caracterização faciológica, petrográfica e diagenética das sequências basais das bacias do Parnaíba, Araripe, São José do Belmonte e Lavras da Mangabeira: contribuição às possíveis correlações dos arenitos basais e suas implicações geotectônicas. 2015. 236p. Tese

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

(Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

Campos Neto, O. P. A., Souza-Lima, W., Cruz, F. E. G. (2007). Bacia de Sergipe-Alagoas. *Boletim de Geociências Petrobras*, 15(2), 405-415.

CAETANO-CHANG, M. R.; WU, F. T. **Diagênese de arenitos da Formação Pirambóia no Centro-leste Paulista**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual de São Paulo, 2003.

DAUDT, J. A. B. **Definição de unidades de fluxo genéticas em reservatórios clásticos com base em heterogeneidades deposicionais e diagenéticas: o caso da Formação Echinocyamus, eoceno inferior, Bacia de Talara, Peru**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 220 p. 2009.

DE ROS, L. F. & MORAES, M. A. S. Seqüência diagenética em arenitos; uma discussão inicial. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 34. Goiânia, 1986. Anais..., SBG. v. 1. Goiânia. 1984. p.894-902.

DE ROS, L.F. **Petrologia e características de reservatórios da Formação Sergi (Jurássico) no Campo de Sesmária, Bacia do Recôncavo, Brasil**. Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, 1986.

FOLK, R. L. **Petrology of sedimentary rocks**. Austin: Hemphill's, 1968.

Fossen, H., R. A. Schulz, Z. K. Shipton, and K. Mair, **Deformation bands in sandstone** — A review: Geological Society (London), 2007.

KAHN, J. S. **The analysis and distribution of the properties of packing in sand size sediments**. *Journal Geology*, v. 64, n. 4, p. 385–395, 1956.

MARTINI, M. **Controles deposicionais sobre a composição primária, padrões diagenéticos e porosidade dos depósitos mistos siliciclásticos-carbonáticos dos Campos de Fazenda Santa Luzia e Fazenda São Rafael, Bacia do Espírito Santo**. Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MELO, A. M. Q.; ROSA, M. L. S.; CONCEIÇÃO, H. **Idades U-Pb de zircão detríticos e suas implicações na proveniência de sedimentos da Formação Penedo, Bacia de Sergipe-Alagoas, NE Brasil**. *GEOLOGIA USP. SÉRIE CIENTÍFICA*, v. 18, p. 21-33, 2018.

MORAD, S. **Diagenesis of clastic sedimentary rocks**. Depart. Of Mineralogy and Petrology. Uppsala University, Sweden, inédito, 1991.

NOGUEIRA, M.S; LEMOS, V.B; TERRA, G. J. S. **As “Coquinas” do Membro Morro do Chaves, Cretáceo Inferior da Bacia de Alagoas, e seu Potencial Para Reservatório de Petróleo**. 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Rio de Janeiro, 2003.

Schaller, H. (1970). Revisão estratigráfica da Bacia de Sergipe/ Alagoas. *Boletim de Geociências Petrobras*, 12(1), 21-86.

SANTOS, R.C.A.L. **Evolução da linha de costa a médio e curto prazo associada ao grau de desenvolvimento urbano e aos aspectos geoambientais na planície costeira de Maceió- Alagoas**. Recife, Brasil. 2004.

Souza-Lima, W., Andrade, E. J., Bengtson, P., Galm, P. C. (2002). *A Bacia de Sergipe-Alagoas: evolução geológica, estratigrafia e conteúdo fóssil*. Aracaju: Fundação Paleontológica Phoenix.

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

Walker T.R. **Diagenetic origin of continental Permian in west, central and south Europe.** **Proceedings of the NATO Advanced Study Institute, D. Reidel Pub. Co.,** Germany, p.240-282, 1976.

Worden, R.H. & Morad, S. (2000) Quartz Cementation in Sandstones. Spec. Publs. Int. Assoc. Sediment., No. 29, 342 pp. Blackwell Science, Oxford.

WOLELA & GIERLOWSKII-KORDESCH. **Diagenetic history of fluvial and lacustrine sandstones of the Hartford Basin (Triassic–Jurassic), Newark Supergroup, USA.** March Sedimentary Geology, 2007.

Zuffa G.G. 1985. Optical analysis of arenites: influence of methodology on compositional results. In: Zuffa G.G. (ed.) Provenance of Arenites. Dordrecht, Germany, D. Reidel Pub. Co., p. 165-189.