

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



TÍTULO DO TRABALHO:

CARACTERIZAÇÃO PETROLÓGICA DOS IRONSTONES OOIDAIS E ROCHAS ASSOCIADAS DA FORMAÇÃO PIMENTEIRAS (DEVONIANO, BACIA DO PARNAÍBA)

AUTORES:

Cássia Souza dos Santos ^{1*}, Amanda Goulart Rodrigues ¹

INSTITUIÇÃO:

1 Instituto de Geociências, Universidade federal do Rio Grande do Sul

CARACTERIZAÇÃO PETROLÓGICA DOS IRONSTONES OOIDAIS E ROCHAS ASSOCIADAS DA FORMAÇÃO PIMENTEIRAS (DEVONIANO, BACIA DO PARNAÍBA)

Resumo

A Formação Pimenteiras (Devoniano, Bacia do Parnaíba), composta majoritariamente por folhelhos ricos em matéria orgânica, desempenha importante papel de geradora no sistema petrolífero Pimenteiras-Cabeças. Além disso, apresenta em sua sucessão sedimentar rochas contendo concentrações de ooides de argilominerais de ferro, como a bertierina e chamosita, que são considerados bons indicadores estratigráficos, principalmente de eventos transgressivos, devido à sua presença contínua ao longo de toda a bacia. No entanto, ainda não existe consenso quanto ao regime hidrodinâmico para a deposição dos ooides argilosos, quanto a sua relação com episódios de transgressão e regressão marinha, e quanto a sua natureza orgânica ou inorgânica. Diante disso, o objetivo deste trabalho é caracterizar os ironstones ooidais e rochas associadas a fim de compreender a gênese dos ooides argilosos, bem como verificar se estes podem ser utilizados como guias estratigráficos na margem leste da Bacia do Parnaíba. Foram descritas detalhadamente 19 lâminas de dois poços (pertencentes a Agência Nacional de Mineração) e integrados com dados de perfil (raios gama, resistividade e potencial espontâneo) que se encontram disponíveis na literatura. A análise petrográfica modal foi realizada pela contagem 300 pontos para cada lâmina, utilizando o método Gazzi-Dickinson, incluindo a descrição textural, composição primária, diagenética, porosidade, classificação e proveniência. Os resultados preliminares mostram que as rochas consistem em argilitos, siltitos a arenitos muito finos a finos, intensamente bioturbados, com ooides argilosos e fragmentos carbonosos, parcialmente substituídos por pirita framboidal e siderita microcristalina. Calcita poiquilotópica a blocosa ocorre subordinadamente substituindo constituintes primários e preenchendo poros intergranulares e móldicos. O perfil de raio gama mostra um valor positivo para as camadas de granulometria fina, incluindo as de ocorrência dos ironstones ooidais, devido a associação com a matéria orgânica. A resistividade é baixa nas camadas com granulometria fina (silte e argila) e alta nas camadas ricas em areia. Nos intervalos com ironstones ooidais, a resistividade segue o padrão das camadas com granulometria fina. No potencial espontâneo, as camadas com ironstones ooidais mostram um padrão mais acentuado do que as camadas com argila e silte. A ocorrência dos ooides argilosos, que se formaram no substrato e em condições de baixo aporte sedimentar, indicam um regime de maior energia com agitação das águas, em um contexto transgressivo. No entanto, a presença de pirita framboidal e siderita microcristalina substituindo fragmentos carbonosos, ooides argilosos e matriz detrítica, permite concluir que houveram condições redutoras, logo após a deposição dos ooides, ou seja, no início da diagênese. A avaliação dos perfis de raios gama, resistividade e potencial espontâneo mostra que os intervalos de ocorrência dos ironstones ooidais podem ser usados como guias estratigráficos, uma vez que apresentam comportamento similar em diversos poços da bacia.

Palavras-chave: Ironstones, Devoniano, Bacia do Parnaíba, Formação Pimenteiras, Bertierina

Abstract

The Pimenteiras Formation (Devonian, Parnaíba Basin), primarily composed of shale rich in organic matter, plays a significant role as a source rock in the Pimenteiras-Cabeças petroleum system. Additionally, its sedimentary succession contains rocks with concentrations of iron clay mineral ooids, such as berthierine and chamosite, which are considered good stratigraphic indicators, especially for transgressive events, due to their continuous presence throughout the basin. However, there is still no consensus regarding the hydrodynamic regime for the deposition of clay ooids, their relationship with episodes of marine transgression and regression, and their organic or inorganic nature. Given this, the objective of this work is to characterize the ooidal ironstones and associated rocks to understand the genesis of clay ooids, as well as to verify if they can be used as stratigraphic markers in eastern margin of the Parnaíba Basin. Nineteen thin sections from two wells (belonging to the National Mining Agency) were described in detail and integrated with profile data (gamma rays, resistivity, and spontaneous potential) available in the literature. Modal petrographic analysis was performed by counting 300 points for each thin section, using the Gazzi-Dickinson method, including textural description, primary composition, diagenetic features, porosity, classification, and provenance. Preliminary results show that the rocks consist of argillites, siltstones to very fine to fine sandstones, intensely bioturbated, with clay ooids and carbonaceous fragments, partially replaced by framboidal pyrite and microcrystalline siderite. Poikilotopic to blocky calcite occurs subordinately, replacing primary constituents and filling intergranular pores. The gamma ray profile shows a positive value for fine-grained layers, including those containing ooidal ironstones, due to their association with organic matter. Resistivity is low in fine-grained layers (silt and clay) and high in sand-rich layers. In intervals with ooidal ironstones, resistivity follows the pattern of fine-grained layers. In spontaneous potential, layers with ooidal ironstones show a more pronounced pattern than clay and silt layers. The occurrence of clay ooids, formed in the substrate and under low sediment input conditions, indicates a higher energy regime with water agitation, in a transgressive context. However, the presence of framboidal pyrite and microcrystalline siderite replacing carbonaceous fragments, clay ooids, and detrital matrix allows concluding that reducing conditions existed shortly after the deposition of the ooids, i.e., at the beginning of diagenesis. The evaluation of gamma ray, resistivity, and spontaneous potential profiles shows that the intervals of ooidal ironstones occurrence can be used as stratigraphic markers, as they exhibit similar behavior in various wells in the basin.

Keywords: Ironstones, Devonian, Parnaíba Basin, Pimenteiras Formation, Berthierine

Introdução

Ironstones ooidais são rochas sedimentares ferríferas compostas principalmente por carbonatos, silicatos e óxidos de ferro, comuns em vários períodos geológicos como Ordoviciano e o Devoniano (Young, 1989 a,b; Young, 1992). Podem servir como bons indicadores estratigráficos devido à sua presença contínua ao longo de toda a bacia, sua associação com ambientes de deposição

de águas rasas e de média profundidade (Van Houten & Bhattacharyya, 1982). Além disso, marcam importantes eventos transgressivos nas bacias intracratônicas brasileiras, como a Bacia do Parnaíba (*e.g.* Abram & Holz, 2020) e a Bacia do Paraná (*e.g.* Oliveira & Pereira, 2011) e ocorrem associados a rochas potencialmente geradoras. No entanto, ainda não há consenso sobre o regime hidrodinâmico para a deposição dos ooides argilosos, sobre sua relação com episódios de transgressão e regressão marinha, ou quanto à natureza orgânica ou inorgânica dos ooides. As condições hidrodinâmicas da formação de ooides argilosos consistem em águas agitadas, com alta turbulência pela ação de ondas, marés e correntes unidirecionais. No entanto, a formação dos ooides argilosos pode estar relacionada à precipitação de argilas ferrosas ao redor de um núcleo, em condições redutoras locais no fundo marinho, o que necessita baixa energia do sistema deposicional.

Diante disso, este trabalho busca responder às seguintes perguntas: Existiria um material precursor desses ooides, que posteriormente é substituído por bertierina e chamosita durante a diagênese? É possível encontrar padrões dos ironstones ooidais nos perfis geofísicos de poços adjacentes?

A Bacia do Parnaíba (Fig. 1), também conhecida nos textos geológicos mais antigos como Bacia do Maranhão ou do Piauí-Maranhão, é uma bacia do tipo intracratônica que ocupa uma área de aproximadamente 600.000 km² e tem espessura total de 3,5 km no seu depocentro (Vaz et al., 2007). O arcabouço estratigráfico desta bacia é dividido em cinco grandes sequências, destacando-se a Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera, a qual se encontra o Grupo Canindé composto pelas formações Pimenteiras, Cabeças, Longá e Itaim.

O potencial petrolífero da bacia baseia-se no sistema Pimenteiras-Cabeças, com folhelhos radioativos da Formação Pimenteiras, como principal geradora, e depósitos deltaicos da Fm. Cabeças como reservatórios. Os estratos devonianos da Bacia do Parnaíba se formaram em ambientes parálicos a marinhos rasos, através de ciclos transgressivo-regressivos desde o Lochkoviano, tornando-se mais significativos a partir do Eifeliano (Pociano et al., 2012). O ápice foi uma ingressão marinha durante o Frasniano, seguida por uma forte progradação litorânea e um evento glacial no final do Fameniano (Pociano et al., 2012). A Formação Pimenteiras, foco deste estudo, é composta principalmente por lutitos e arenitos finos a muito finos, bem como por folhelhos escuros, ricos em matéria orgânica, radioativos e bioturbados, e por níveis com concentração de minerais de ferro, especialmente bertierina e chamosita na forma de ooides argilosos.

Metodologia

A análise petrográfica foi executada em 19 lâminas delgadas de dois poços (ST-15 e PM-21) pertencentes a Agência Nacional de Mineração (ANM), por meio da contagem e descrição de 300 pontos para cada lâmina, utilizando o método Gazzi-Dickinson (Zuffa et al., 1985). A análise foi conduzida em microscópios petrográficos convencionais com *charriot* acoplado, e incluiu a descrição textural, composição primária, diagenética, porosidade, classificação, e proveniência, utilizando o software Petroledge® (De Ros et al., 2007). Além disso, foram adquiridas fotomicrografias das

principais feições petrográficas (Fig. 2). Também foram analisados três perfis geofísicos por poço, que são raios gama, potencial espontâneo e resistividade. Os poços utilizados para essa análise foram PM-06, PM-07 e PM-10, os quais possuíam dados de profundidade, perfil e/ou lâminas delgadas.

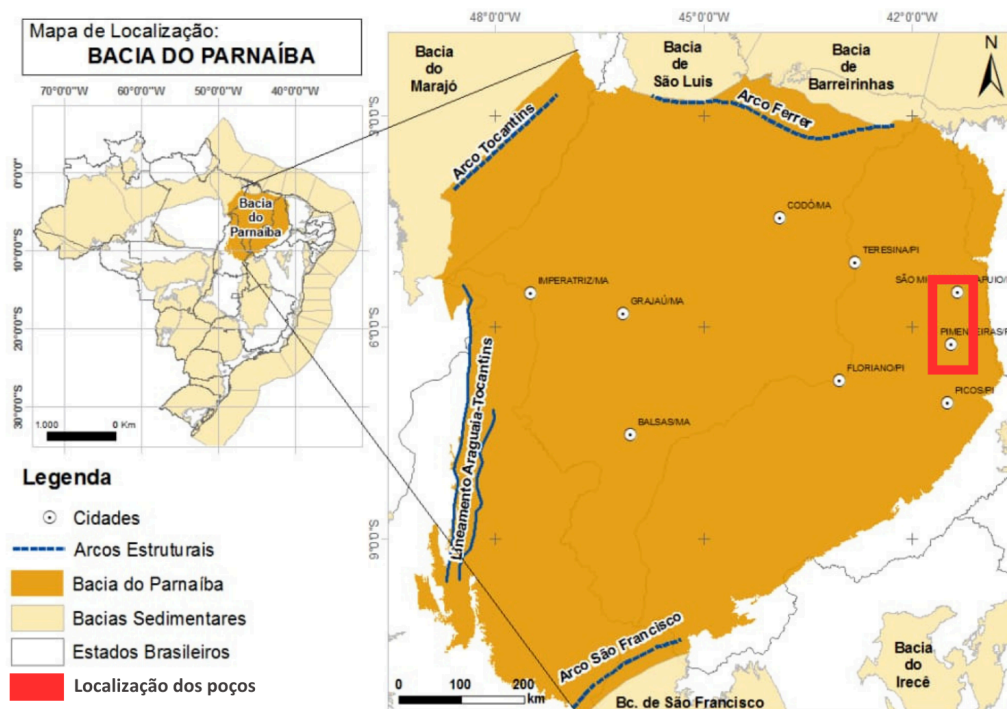


Figura 1. Localização dos poços (área em vermelho) na margem leste da Bacia do Parnaíba. Extraído de Loren Pinto Martins (2019), modificada pela autora.

Resultados e Discussão

A análise preliminar mostrou que as rochas consistem em argilitos, siltitos e arenitos. Os arenitos são predominantemente finos, por vezes, muito finos, arcóseos, maciços ou com laminação paralela marcada por diferença granulométrica. Os grãos de quartzo, monocristalino são de origem metamórfica, hidrotermal e ígnea. Os feldspatos (plagioclásio, ortoclásio, pertita e microclínio) mostram variações como vacuolização, ilitização e dissolução (Fig 2A). Além disso, foi possível observar cutículas de argila envolvendo grãos de quartzo, caulinita lamelar substituindo muscovita, e pirita framboidal. Foi possível observar em algumas amostras, calcita blocosa substituindo constituintes primários e preenchendo poros intergranulares.

Os argilitos e siltitos são laminados e possuem intensa bioturbação (Fig. 2B), que muitas vezes destrói a fábrica original. São compostos por matriz argilosa, parcialmente substituída por siderita (Fig 2B e 2C), presença de algas tasmanites. Os ooides argilosos são mais frequentes nessas

rochas podendo medir até 5 mm, às vezes fortemente achatados (Fig. 2C) e dissolvidos, mas também parcialmente substituídos por siderita, pirita e calcita.

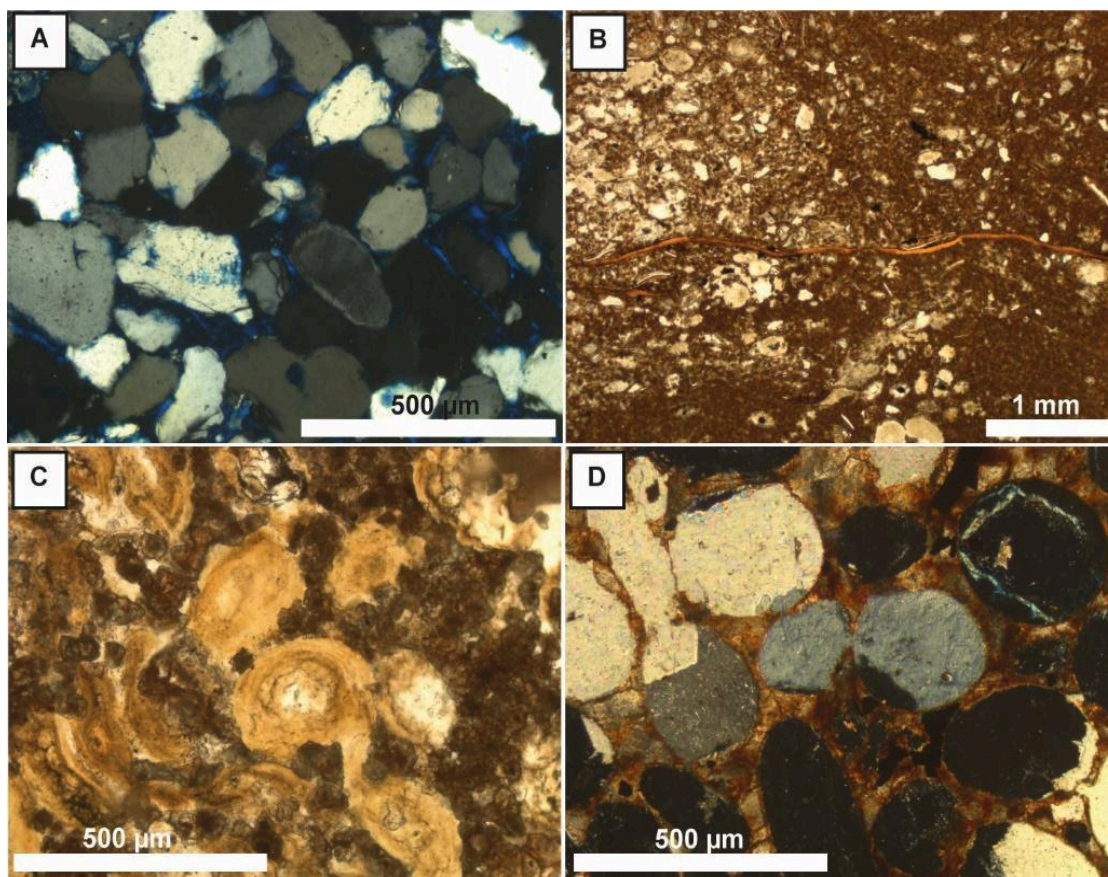


Figura 2: Principais características petrográficas dos ironstones ooidais e rochas associadas. A) Ortoclásio com vacuolização e dissolução e quartzo monocristalino como componentes primários dos arenitos muito finos a finos. Polarizadores cruzados (XP). B) Bioturbação intensa perturbando a fábrica original. Preenchimento da bioturbação por ooides argilosos. No centro da imagem, destaque para a alga *Tasmanites*. Polarizadores descruzados (//P). C) Ooides argilosos, levemente achatados e substituídos por siderita. (//P). D) Detalhe dos ooides argilosos dissolvidos, formando poros móldicos, que foram posteriormente preenchidos por calcita macrocristalina.

A avaliação dos perfis de raios gama, resistividade e potencial espontâneo de poços próximos aos ST-15 e PM-21 mostra que os intervalos de ocorrência dos ironstones ooidais podem ser usados como guias estratigráficos, uma vez que apresentam comportamento similar em diversos poços da bacia (PM-06; PM-07; PM-10; VL-03). Numa análise preliminar, observa-se um padrão indicativo de folhelhos e siltitos enriquecidos em matéria orgânica, pouco porosos, que são mais pronunciados nesses intervalos em comparação com o restante do perfil. O padrão de resistividade mostra uma baixa resistividade nas camadas mais ricas em sedimentos finos e uma resistividade mais alta nas camadas mais ricas em areia. Nas profundidades onde ocorrem os ironstones ooidais, a resistividade acompanha

o padrão das rochas de granulometria fina. Por exemplo, no poço PM-07, a resistividade é baixa, enquanto no poço PM-10 apresenta um perfil um pouco mais alto, podendo indicar a ocorrência de ironstones ooidais associados a uma quantidade maior de grãos de tamanho de areia. Em relação ao gama, as camadas onde ocorrem os ironstones ooidais apresentam um padrão intermediário entre as camadas arenosas e lutíticas. Além disso, pode indicar uma maior presença de elementos radioativos, como o urânio, em relação aos arenitos, devido à maior quantidade de matéria orgânica. As camadas ricas em areia nos perfis seguem um padrão de baixa intensidade, em contraste com as camadas de silte e argila, incluindo as de ocorrência dos ironstones ooidais. No potencial espontâneo, as camadas onde ocorrem os ironstones ooidais possuem um padrão mais acentuado do que as camadas com presença de argila.

Conclusões

A ocorrência dos ooides argilosos, que se formaram no substrato e em condições de baixo aporte sedimentar, indicam um regime de maior energia com agitação das águas em um contexto transgressivo. A presença de pirita framboidal e siderita microcristalina substituindo fragmentos carbonosos, ooides argilosos e matriz detrítica, permite concluir que houveram condições redutoras, logo após a deposição dos ooides, ou seja, no início da diagênese. A análise dos perfis de raios gama, resistividade e potencial espontâneo de poços próximos aos poços estudados mostra que os intervalos de ocorrência dos ironstones ooidais podem ser usados como guias estratigráficos, uma vez que apresentam comportamento similar em diversos poços da bacia.

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

- 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.
- PONCIANO, L. C. M. de O.; CASTRO, A. R. de S. F.; FONSECA, V. M. M. da; MACHADO, D. M. da C. Tafocenoses da formação Pimenteira, Devoniano da Bacia do Parnaíba, Piauí: Mapeamento, inventário e relevância patrimonial. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 35, n. 1, p. 5-27, 2012.

OLIVEIRA, L. C. de; PEREIRA, E. Ocorrência de Ironstones no Devoniano da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 3, 2011.

VAN HOUTEN, F. B.; BHATTACHARYYA, D. P. Phanerozoic oolitic ironstones: geologic record and facies model. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 10, n. 1, p. 441-457, 1982.

VAZ, P. T.; REZENDE, N. G. A. M.; WANDERLEY FILHO, J. R.; TRAVASSOS, W. A. S. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, 2007.

YOUNG, T. P. Phanerozoic ironstones: an introduction and review. In: YOUNG, T. P.; TAYLOR, W. E. G. (Eds.). **Phanerozoic Ironstones. Geological Society Special Publication**, 46: ix-xxv, 1989a.

YOUNG, T. P. Eustatically controlled ooidal ironstone deposition: facies relationships of the Ordovician open-shelf ironstones of Western Europe. In: YOUNG, T. P.; TAYLOR, W. E. G. (Eds.). **Phanerozoic Ironstones. Geological Society Special Publication**, 46: 51-63, 1989b.

YOUNG, T. P. Ooidal ironstones from Ordovician Gondwana: a review. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 99, p. 321-347, 1992.

ZUFFA, G. G. Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results (petrographic classes). In: ZUFFA, G. G. (Ed.). **Provenance of Arenites. Proceedings of Cetraro, Cosenza**, 1984. 1985.