

COMPARAÇÃO DA COMPOSIÇÃO MINERAL DE RITMITOS DO ARARIPE POR ANÁLISE PETROFÍSICA E DRX

Rayssa Lima Costa Coura¹; José Agnelo Soares¹; Igor Fernandes Gomes²

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica –
rayssacouraeng@hotmail.com

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia de Minas – agnelosoares@gmail.com

² Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Geotecnia – gomes@ufpe.br

RESUMO

Neste trabalho as propriedades petrofísicas medidas em amostras de ritmitos da Bacia do Araripe foram utilizadas para avaliar a composição mineral dessas rochas. Os ensaios realizados consistiram na medição da densidade de grãos e total, e porosidade. A partir da adoção de um modelo bifásico foi analisada a composição mineral das amostras. Análises por difração de raios x (DRX) foram realizadas para comprovar os resultados do método de análise petrofísica. Observou-se que ambos os métodos chegaram a composições minerais semelhantes para as amostras, as quais contêm calcita e dolomita. Desta forma, ficou comprovada a eficiência do novo método aqui proposto para a determinação da composição mineral de rochas com até dois componentes minerais através da análise petrofísica. Este trabalho tem como objetivo determinar a composição mineral de rochas, a qual é de grande importância para a engenharia de reservatórios de petróleo, pois a mesma controla algumas propriedades petrofísicas, tais como as velocidades elásticas, a molhabilidade, a permeabilidade e, como consequência desta, o fluxo de fluidos nos reservatórios.

Palavras-chave: ritmitos, calcita, dolomita.

1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Araripe está localizada no Nordeste do Brasil, entre os lineamentos de Patos e Pernambuco. É uma extensa bacia interior dominada pela Chapada do Araripe e que também compreende a região do Vale do Cariri. Seus limites se estendem pelos estados do Ceará, Piauí, Pernambuco e Paraíba numa área de aproximadamente 10.000 km².

O Andar Alagoas na Bacia do Araripe corresponde ao intervalo cronoestratigráfico que registra o estágio pós-rifte da evolução cretácea das bacias marginais brasileiras

[ASSINE, 1992]. Esse intervalo estratigráfico é composto pelas formações Barbalha e Santana. A Formação Santana se subdivide nos membros Crato (inferior) e Membro Romualdo (superior). O Membro Crato é constituído por bancos de calcários laminados intercalados com folhelhos, siltitos e arenitos.

De acordo com Neumann et al. (2003), as principais características e distribuição da matéria orgânica tem sido estudadas em várias unidades lacustrinas Aptianas–Albianas da Bacia do Araripe. Seis fácies principais foram



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

distinguidas em termos de suas características litológicas – sedimentológicas e do tipo e quantidade de matéria orgânica: (1) laminitos e arenitos massivos a grosseiramente laminados, de ambientes lacustrinos deltaicos marginais, encontrados na forma de lentes e preenchimento de canais; (2) laminitos massivos a pobremente laminados característicos de ambiente lacustrino marginal oxidante; (3) laminitos de ambiente lacustre interior, oxidante a suboxidante, e laminitos bioclásticos laminados; (4) laminitos escuros típicos de ambiente lacustre interior redutor; (5) ritmitos carbonato - argila escura típico de ambiente lacustre interior redutor; e (6) calcários micríticos escuros finamente laminados típicos de ambiente lacustre interior redutor.

Neste trabalho foram analisadas as propriedades petrofísicas de 64 amostras pertencentes à fácies (5): os ritmitos da Formação Crato.

Utilizando o modelo petrofísico proposto por Soares et al. (2014) e adaptando-o para a determinação da composição da matriz mineral destas amostras, o cenário composicional foi investigado. Análises por difração de raios x também foram realizadas a fim de comprovar os resultados do método de análise petrofísica. O método da determinação da composição mineral por análise petrofísica é um método simples e de baixo custo, quando comparado com o DRX.

O estudo aqui realizado tem como objetivo a análise da composição mineral de amostras através de dois métodos diferentes. Tal propriedade é de grande contribuição para a engenharia de reservatório de petróleo, pois é uma variável que controla algumas propriedades petrofísicas, tais como as velocidades elásticas, a molhabilidade e, como consequência, a permeabilidade.

2. METODOLOGIA

2.1. Preparação de plugues

As amostras de rochas utilizadas para confecção de plugues, neste trabalho, foram obtidas através do uso de uma plugadeira

[www.conepetro.com](http://www.conepetro.com.br)
.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

manual pela equipe do Laboratório de Geotecnia da UFPE.

Após o recebimento das amostras, foi realizada a confecção dos plugues na sala de preparação de amostras do Laboratório de Petrofísica da UFCG. Para esta etapa foram utilizadas a serra e a retificadora de plugues (Figura 1). A serra foi utilizada para cortar os testemunhos obtidos pela plugadeira manual, deixando-os com comprimento adequado. A retificadora foi utilizada para deixar as extremidades dos plugues planas e paralelas. Ao término desta etapa os plugues devem apresentar forma cilíndrica e dimensões de aproximadamente 5 cm de comprimento e 1,5 polegada de diâmetro.



Figura 1: (a) Serra e (b) Retificadora.

Posteriormente, os plugues são colocados em uma estufa onde são submetidos à secagem por 24 horas sob temperatura constante de 80°C. Em seguida, faz-se a pesagem dos plugues em uma balança eletrônica de precisão. Por fim, é realizada a medição de suas dimensões, comprimento e diâmetro, com o auxílio de um paquímetro digital.

2.2. Ensaio de densidade de grãos e porosidade

Finalizada a primeira etapa, correspondente a confecção dos plugues, secagem, pesagem e medição de suas dimensões, inicia-se a realização dos ensaios para caracterização petrofísica, sendo o ensaio de densidade de grãos e porosidade o primeiro a ser realizado.

Utiliza-se para isto o equipamento UltraPorPerm 500®, modelo da Corelab, que é um permoporosímetro a gás. Para a medição da porosidade o operador deve informar o peso, comprimento e diâmetro dos plugues.

O equipamento dispõe de um copo matriz (Figura 2) que mede o volume de grãos do plugue. Ele contém até cinco discos com volumes diferentes que servem para preencher os espaços vazios deixados pelas amostras, assim economizando no consumo de gás.



Figura 2: (a) Copo matriz e (b) Porosímetro.

A diferença entre o volume de grãos e o volume total do plugue consiste no volume de vazios da amostra. Para calcular a porosidade basta determinar a razão entre o volume de vazios e o volume total da amostra. A densidade total é calculada como a razão entre a massa e o volume total da amostra.

A análise de porosidade e de densidade de grãos em permoporosímetro a gás se baseia na lei de Boyle, a qual indica que, em sistemas fechados e sem variação de temperatura, o produto entre o volume de gás e a sua pressão se mantém constante antes (V_1, P_1) e depois (V_2, P_2) da interligação de dois subsistemas (teoria de vasos comunicantes), como representado na equação (1):

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad [1]$$

Onde:

$$V_2 = V_1 + V_{\text{copo}} - V_{\text{discos}} - V_{\text{grãos}} \quad [2]$$

Conhecendo os volumes ($V_1, V_2, V_{\text{copo}}, V_{\text{discos}}$), tem-se apenas uma única incógnita ($V_{\text{grãos}}$), obtendo-se assim o

volume de grãos através da equação (2). Pode-se determinar a densidade de grãos, que é a razão entre a massa dos grãos e o volume de grãos. Finalizando o ensaio calcula-se a porosidade, que é dada pela equação (4).

$$\rho_g = \frac{M_{\text{grãos}}}{V_{\text{grãos}}} \quad [3]$$

$$\phi = \frac{V_p}{V_T} = \frac{V_T - V_s}{V_T} \quad [4]$$

Onde V_p é o volume de poros, V_s é o volume dos sólidos e V_T é o volume total da amostra.

2.3. Composição mineral por análise petrofísica

Para o cálculo da composição mineral a partir das propriedades petrofísicas, fez-se uma adaptação do modelo de Soares et al. (2014). Uma vez que os plugues se encontram secos, a densidade total de um dado plugue pode ser dada por:

$$\rho_B = \rho_G (1 - \phi) \quad [5]$$

onde ρ_G é a densidade de grãos e ϕ é a porosidade.

A densidade de grãos é uma média ponderada das densidades dos componentes da matriz. Considerando que a matriz é composta por apenas dois minerais:

$$\rho_G = FV_{\text{min1}} \rho_{\text{min1}} + FV_{\text{min2}} \rho_{\text{min2}} \quad [6]$$

onde FV_{min1} e FV_{min2} são as frações volumétricas de calcita e do mineral

desconhecido, respectivamente, que compõem as amostras de rocha. Substituindo a equação (6) na equação (5) e considerando que $FV_{\min 1} = 1 - FV_{\min 2}$, temos a equação (7):

$$FV_{\min} = \frac{\rho_B - \rho_{\min 1}(1 - \phi)}{(\rho_{\min 2} - \rho_{\min 1})(1 - \phi)} \quad [7]$$

Através da equação (7), foi possível estimar a composição da matriz mineral dos plugues analisados considerando o cenário em que as amostras seriam compostas basicamente por calcita e dolomita. Martill et al. (2008) descreve a ocorrência de estruturas, na forma de chaminés, compostas por dolomitas brechadas ricas em ferro. No cálculo das frações volumétricas foram adotadas as densidades apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Densidades adotadas para cálculo das frações volumétricas.

Mineral	Densidade
Calcita	2,69
Dolomita	2,84

2.4. Composição mineral por DRX

Para a análise da composição mineral por DRX foi utilizado o método do pó. Este método tem uso principal em mineralogia como um instrumento determinativo. Pode ser

usado sem que se conheça a simetria ou a estrutura do cristal. Cada substância cristalina produz seu próprio padrão de pó que, sendo dependente da estrutura interna, é característico para aquela substância. O difratograma do pó corresponde à impressão digital de um mineral, pois ele difere do padrão do pó de qualquer outro mineral. A American Society for Testing Materials (ASTM) mantém um arquivo de dados de difração de raios x para milhares de substâncias cristalinas. O difratograma registrado para uma determinada amostra deve ser comparado com os padrões de minerais conhecidos armazenados no banco de dados da ASTM [DANA, 1969].

O método mais utilizado para a quantificação dos minerais reconhecidos em um difratograma é o Método de Rietveld [RIETVELD, 1969]. Este método consiste em fazer um ajuste por mínimos quadrados entre a curva do difratograma de uma dada amostra e os difratogramas teóricos de minerais previamente conhecidos. Atualmente, são utilizados softwares especialistas que aplicam o método de Rietveld de forma automática.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 7 apresenta a densidade de grãos medida para as 64 amostras carbonáticas analisadas. Nela observa-se que

há três grupos de amostras: o maior grupo de amostras, que exibe densidade de grãos em torno de $2,75 \text{ g/cm}^3$, que é compatível com uma composição majoritariamente calcária, mas não exclusivamente (representado pelos símbolos pretos); um segundo grupo com densidade de grãos próxima de $2,68 \text{ g/cm}^3$, o que sugere a presença de minerais menos densos que a calcita (símbolos azuis); e duas amostras que apresentam densidade de grãos próxima a $2,84 \text{ g/cm}^3$, o que indica a presença expressiva de minerais mais densos que a calcita (símbolos vermelhos).

A Figura 8 apresenta a relação entre a densidade de grãos e a porosidade das amostras. Os valores de porosidade variam desde aproximadamente 1% até 18%. A mesma separação das amostras em três grupos é também observada em termos dos valores de porosidade. Há uma relação inversa entre estas duas variáveis, a qual é inesperada. Isto sugere que as amostras de densidade de grãos mais baixas podem conter argilominerais e/ou matéria orgânica, o que reduz a sua densidade e aumenta a porosidade. Já o grupo de maior densidade de grãos, supostamente está afetado por processos diagenéticos (dolomitização / ankeritização) que promoveram a redução dos valores de porosidade e o aumento da densidade média dos grãos.

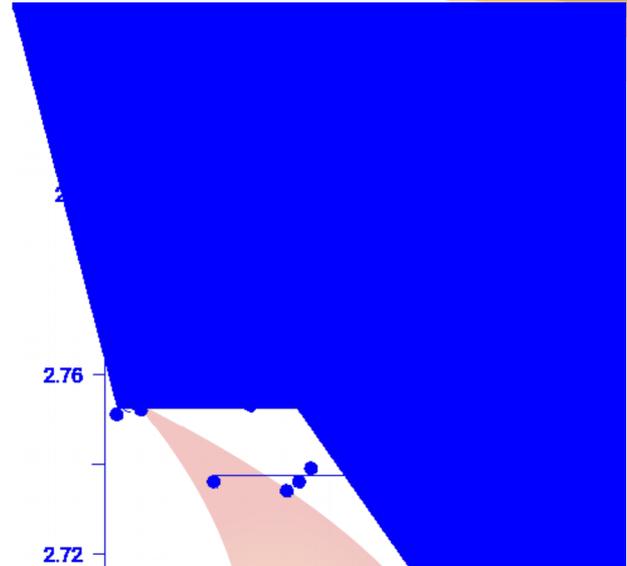


Figura 7: Densidade de grãos das amostras.

A Figura 9 apresenta a relação entre a densidade total e a porosidade. Nela observa-se mais uma vez a separação entre os três grupos de amostras, de acordo com a composição mineral. Há uma relação inversa, como esperado, entre as duas variáveis. Na figura são apresentadas as equações das retas de ajuste para os três grupos de amostras.

Aplicando a metodologia para estimativa da composição mineral por análise petrofísica, como discutido no item 2.3. Considerando que as amostras são compostas por calcita e dolomita, a Figura 10 apresenta as densidades de grãos e as frações volumétricas para todas as amostras analisadas.

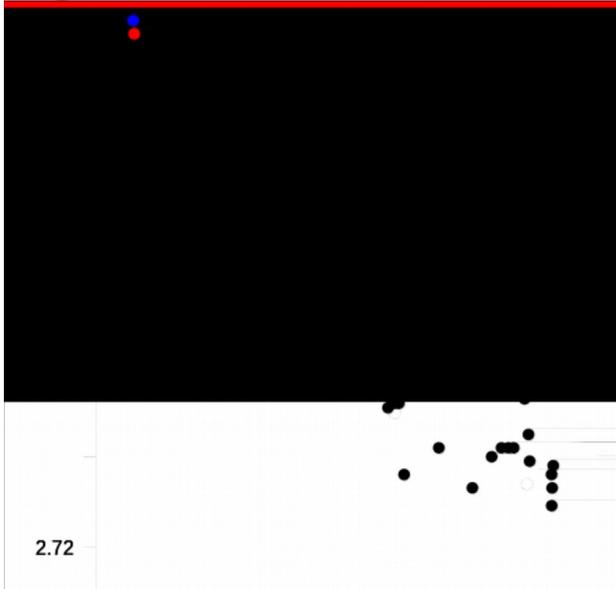
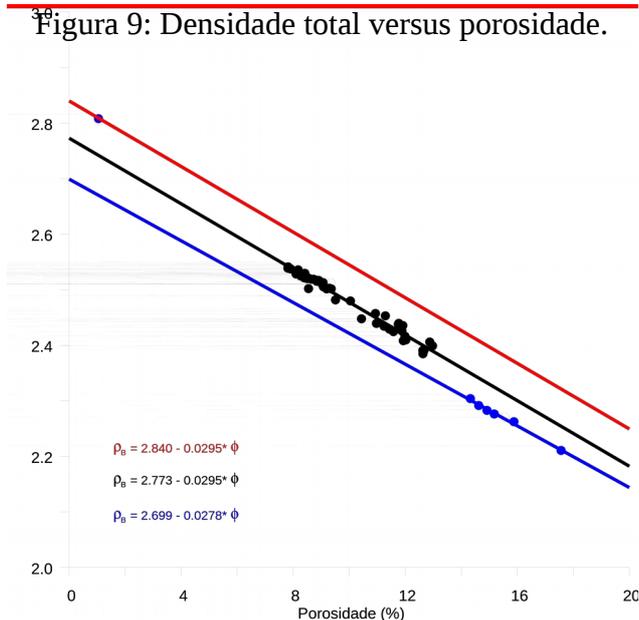


Figura 8: Densidade de grãos versus porosidade.

Figura 9: Densidade total versus porosidade.



Com a finalidade de comprovar os resultados do novo método, que é a determinação da composição mineral por análise petrofísica, com um método tradicional (DRX), 6 amostras foram selecionadas para a análise da composição mineral por DRX.

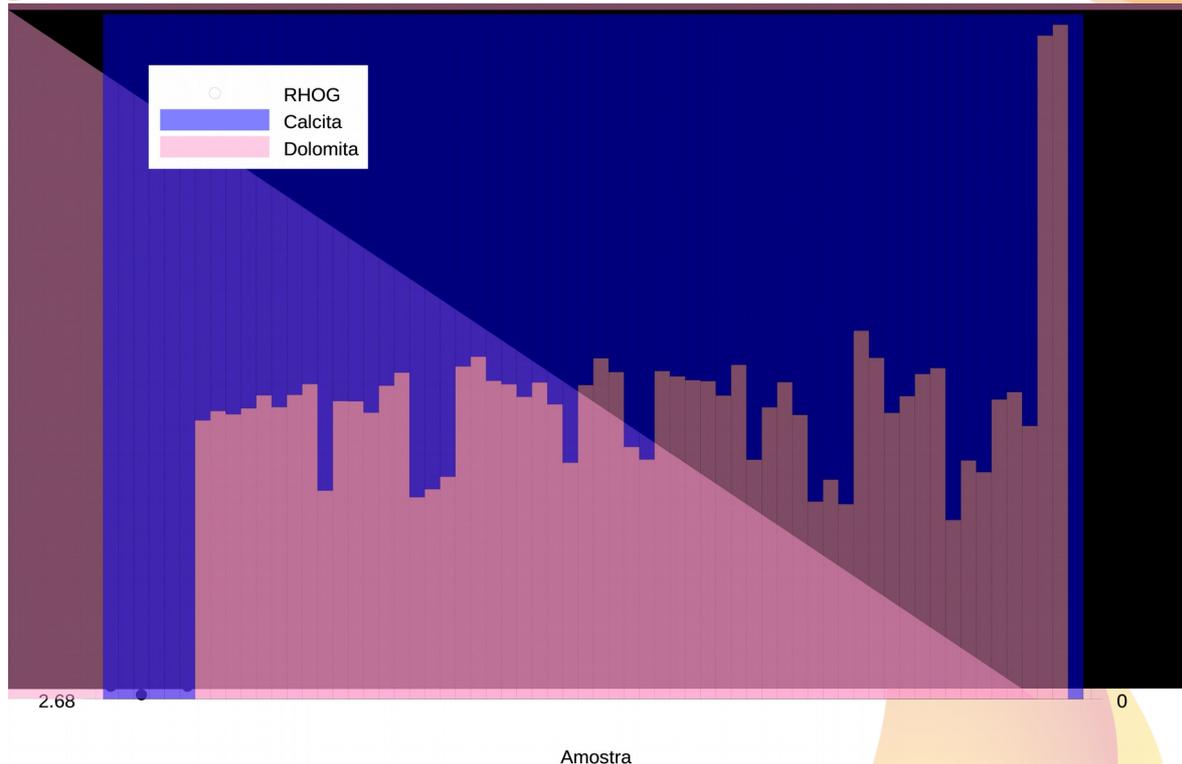
As Figuras 11 a 16 apresentam os difratogramas obtidos para as amostras 45.4, 49.2, 49.10F, 49.11A, 41.2B e 45.8. Para estes difratogramas, a composição mineral foi quantificada pelo método de Rietveld.

A Figura 17 apresenta uma comparação entre a composição mineral determinada pela análise petrofísica (para cada amostra, a coluna da esquerda) e por DRX (a coluna da direita). Observa-se que há uma excelente correspondência entre os resultados obtidos pelos dois métodos. Ambos os métodos indicam que uma das amostras é composta por dolomita pura, duas outras são integralmente compostas por calcita, e que as três restantes são compostas por aproximadamente 60% calcita e 40% dolomita. Portanto, ficou comprovado que as amostras são compostas por calcita e dolomita.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO



Amostra
Figura 10: Composição mineral supondo a presença de dolomita.

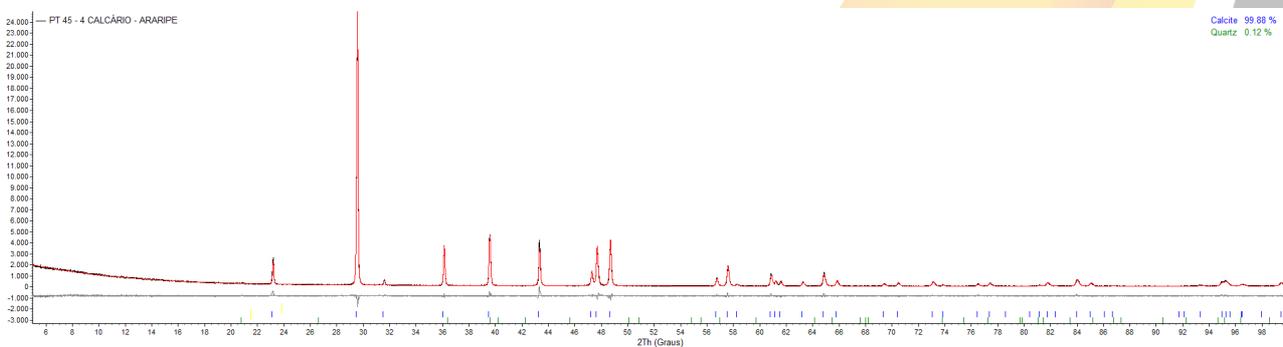


Figura 11: Difratoograma da amostra 45.4.

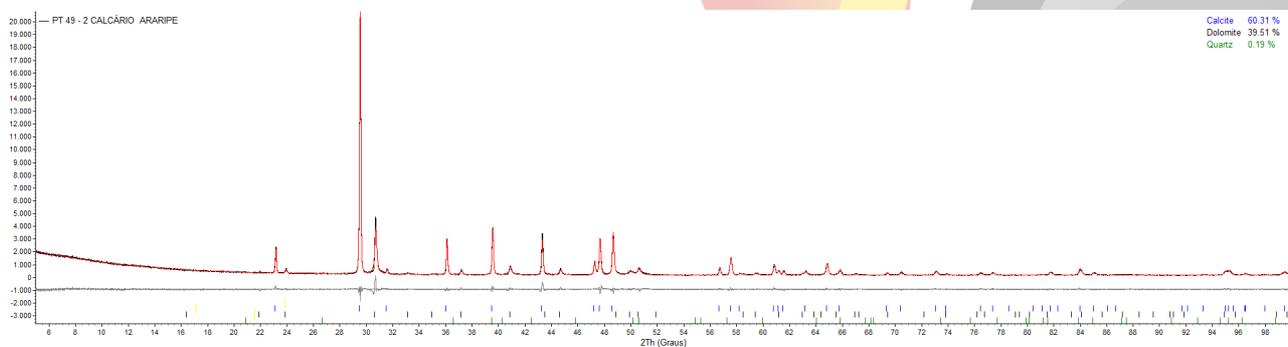


Figura 12: Difratoograma da amostra 49.2.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

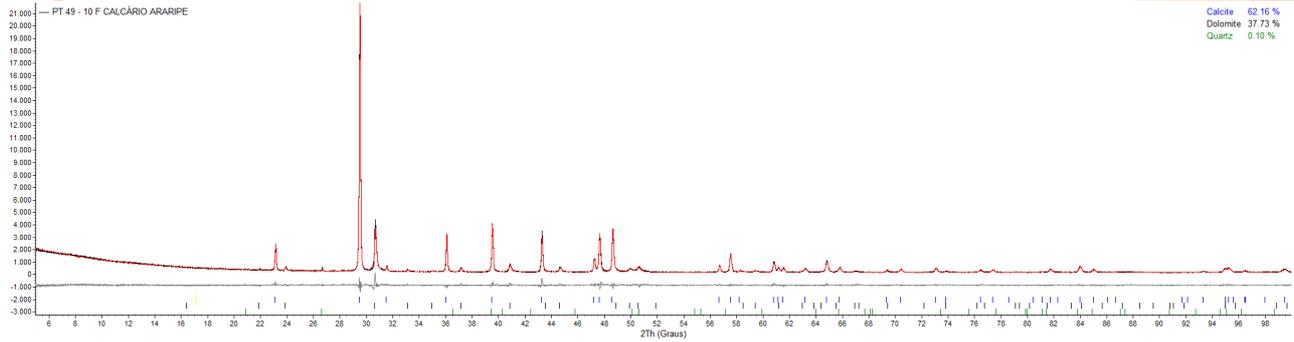


Figura 13: Difratoograma da amostra 49.10F.

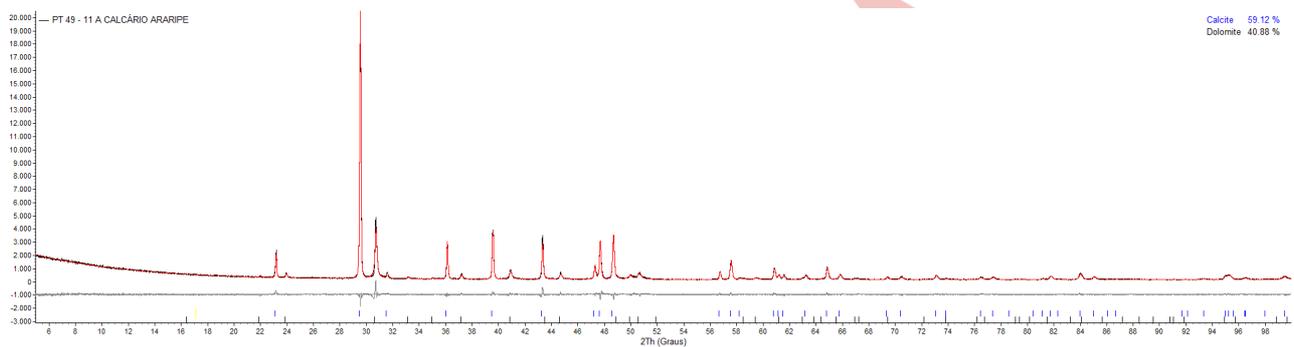


Figura 14: Difratoograma da amostra 49.11A.

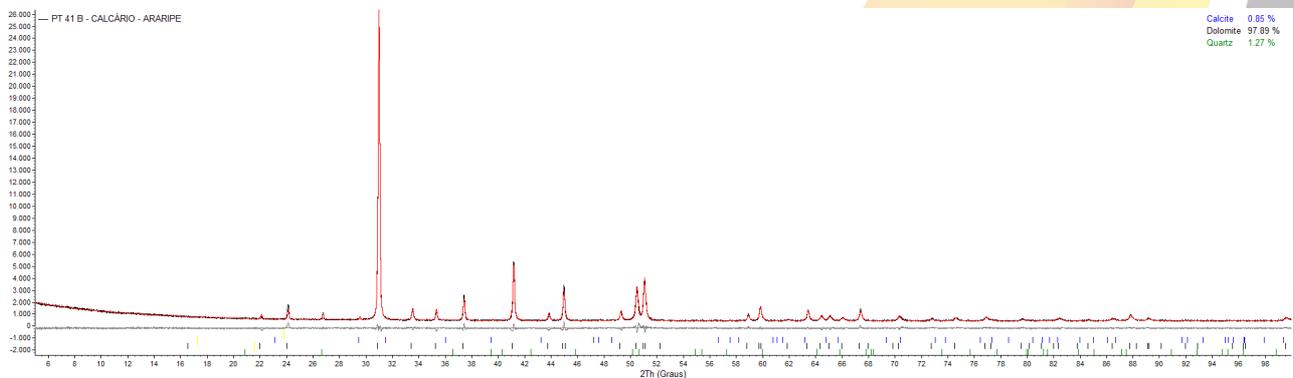


Figura 15: Difratoograma da amostra 41.2B.

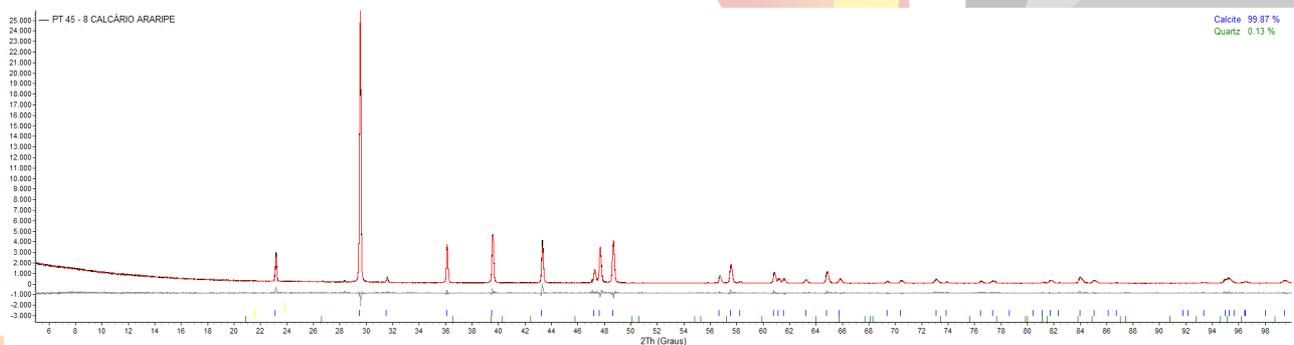


Figura 16: Difratoograma da amostra 45.8.

[www.conepetro.com](http://www.conepetro.com.br)

.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO



Figura 17: Análise comparativa da composição mineral de 6 amostras por análise petrofísica (esquerda) e por DRX (direita).

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram identificados três grupos de amostras de ritmitos da Bacia do Araripe, os quais podem ser individualizados através dos valores de densidade de grãos e de porosidade. Isto ocorre devido à variação na composição mineral da matriz rochosa.

Análises por difração de raios x foram realizadas a fim de definir a composição mineral das amostras. Estas análises indicaram que as amostras de ritmito são compostas por calcita e dolomita. Este mesmo resultado foi obtido na análise petrofísica que se utiliza dos valores medidos de densidade de grãos e porosidade para o cálculo das frações volumétricas.

Portanto, pode-se concluir que a análise da composição mineral de amostras pelo cálculo de suas frações volumétricas por análise petrofísica é bastante eficiente, desde que a matriz mineral possua até dois componentes. O método da determinação da composição mineral por análise petrofísica é um método simples, rápido e de baixo custo, inclusive se comparado com métodos mais tradicionais, como é o caso do DRX.

O estudo aqui realizado é de grande contribuição para a engenharia de reservatórios, pois a composição mineral é uma variável que controla algumas propriedades petrofísicas, tais como as velocidades elásticas, a molhabilidade e, como consequência, a permeabilidade.

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos convênios firmados entre a PETROBRAS e as Universidades Federais de Pernambuco e de Campina Grande, através da Rede Carmod, que permitiram a realização deste trabalho. As análises de DRX foram gentilmente realizadas pelo Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (CRTi) da Universidade Federal de Goiás.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSINE, M. L. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, 22 (3) : 289-300, setembro de 1992.

DANA, J.D. Manual de Mineralogia. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1969.

MARTILL, D. M.; LOVERIDGE, R. F.; HEIMHOFER, U. Dolomite pipes in the Crato Formation fossil lagerstätte (Lower Cretaceous, Aptian), of northeastern Brazil. Cretaceous Research 29, 2008, pp. 78-86.

NEUMANN, V.H.; BORREGO, A.G.; CABRERA, L.; DINO, R. Organic matter composition and distribution through the Aptian–Albian lacustrine sequences of the Araripe Basin, northeastern Brazil.

International Journal of Coal Geology 54, 21–40, 2003.

RIETVELD, H.M. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. J. Appl. Crystallogr., 2, 65-71, 1969.

