

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES MINERAIS DE ROCHAS CARBONÁTICAS DA FORMAÇÃO JANDAÍRA POR MICROTOMOGRÁFIA DE RAIOS X

Mábia Ruana Silva de Sena¹; José Agnelo Soares²

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia –
mabia_ruana@hotmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia –
agnelosoares@gmail.com

RESUMO

As construções de modelos digitais de rochas a partir de um conjunto de imagens de tomografia de raios x é uma técnica bastante utilizada atualmente. Esta permite a identificação das propriedades petrofísicas e, recentemente, foi proposta a caracterização mineral de rochas baseada no processamento destas imagens. A determinação da composição mineral de rochas reservatório é importante, pois controla propriedades fundamentais como as propriedades elásticas, que são utilizadas no método sísmico, o qual se constitui no principal método de exploração e de monitoramento de reservatórios de petróleo e gás. O objetivo deste trabalho é a identificação dos prováveis minerais presentes em seis amostras de rochas carbonáticas da Formação Jandaíra através do método de caracterização mineral, a partir de imagens digitais de microtomografia de raios x (μ CT), comparando os resultados com a análise de difração de raios x (DRX). Os resultados alcançados demonstram que as amostras são formadas essencialmente por calcita e/ou dolomita, composição confirmada pela análise de difração de raios x, com exceção dos minerais com teores pequenos e amorfos que a técnica DRX não identifica. Embora o imageamento por μ CT se constitua em uma técnica relativamente custosa, ela permite identificar e quantificar não só os principais minerais constituintes, mas também elementos traços e elementos amorfos, além de ter inúmeras outras aplicações, como determinação de porosidade, densidade, permeabilidade, propriedades elásticas e elétricas, forma e tamanho de poros e grãos, dentre outras.

Palavras-chaves: caracterização mineral, microtomografia de raios x, difração de raios x.

1. INTRODUÇÃO

A Bacia Potiguar está localizada no extremo Nordeste do Brasil, abrangendo uma área de aproximadamente 48000 km², sendo 45% encontrados emersos e 55% submersos, englobando predominantemente o norte do estado do Rio Grande do Norte e uma

pequena parte do Nordeste do Ceará. O Alto de Fortaleza determina o seu limite oeste com a Bacia do Ceará e o Vale de Canguaretama define seu limite leste com a Bacia Paraíba. Ao sul é limitada pelo embasamento cristalino, enquanto que ao norte vai até a isóbata de 2000m (NETO *et al.*, 2007; SANTOS, 2009; ARARIPE & FEIJÓ, 1994).

A Figura 1 apresenta o mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar.

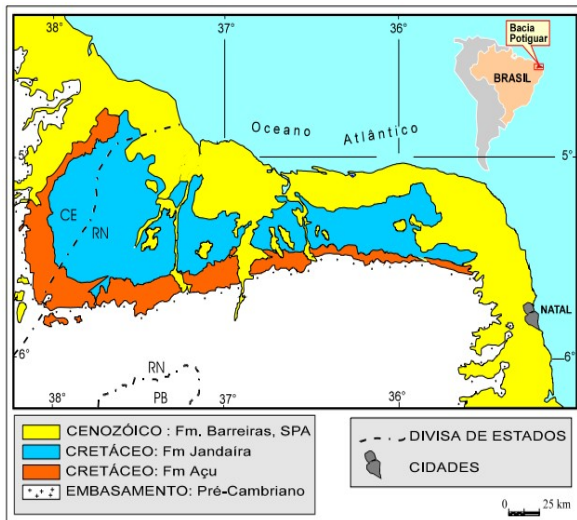


Figura 1: Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar.

Fonte: Dantas, 1998.

De acordo com França & Szatmari (1987), *apud* Dantas (1998), a Bacia Potiguar tem sua formação no Neojurássico. Sua origem está relacionada à fragmentação do continente *Gondwana*, e diretamente ligada à abertura do Atlântico Sul. As amostras de rochas carbonáticas utilizadas neste trabalho pertencem a Formação Jandaíra da Bacia Potiguar.

A Formação Jandaíra tem sua origem no Turoniano ao Campaniano, sendo constituída por rochas carbonáticas que recobriram toda a porção emersa da bacia. Apresenta como litotipos os calcarenitos bioclásticos, às vezes associados com algas verdes, e calcilitos com marcas de raízes e

gretas de contração, com cores variando do cinza claro ao amarelo, com um certo nível evaporítico na base. A sua maior espessura é estimada em 600 metros e as menores estão localizadas nos extremos leste e oeste da bacia. Esta unidade é considerada o litotipo mais predominante da bacia na parte emersa e apresenta um contato concordante com a Formação Açú. Na superfície, os afloramentos se estendem na direção W-E por quase toda a chapada do Apodi, excetuando a zona litorânea, onde se encontram cobertos por sedimentos cenozóicos (ARARIPE & FEIJÓ, 1994; NETO *et al.*, 2007).

A região do Rio Grande do Norte e do Ceará, locais onde está localizada a bacia Potiguar, está entre as maiores produtoras de petróleo *onshore* (em terra) do Brasil, com campos em águas rasas e campos terrestres. O primeiro campo descoberto no Rio Grande do Norte foi o de Ubarana, na costa de Guamaré, em operação desde 1976. No Ceará o primeiro campo descoberto foi Xaréu, em 1977. O primeiro poço terrestre entrou em operação em dezembro de 1979 e permanece em atividade, com a diferença de ser movido à energia solar.

1.1. Microtomografia de raios-x

Uma técnica que vêm sendo bastante utilizada nos dias atuais é a construção de

modelos digitais de rochas a partir de um conjunto de imagens de tomografia de raios-x de alta resolução adquiridas em amostras de rochas. Essa técnica permite o reconhecimento das propriedades petrofísicas presentes na rocha. Porto (2015) estudou a estimação das propriedades petrofísicas a partir de imagens microtomográficas de raios-x, onde obteve resultados que demonstra a viabilidade da caracterização das propriedades físicas das rochas a partir do imageamento destas por microtomografia computadorizada de raios x e propôs um novo método para a análise da composição mineral de rochas baseado no processamento das imagens microtomográficas.

Este trabalho tem o objetivo de identificar os prováveis minerais presentes nas rochas carbonáticas da Formação Jandaíra, através do método de caracterização mineral proposto por Porto (2015) a partir de imagens digitais de microtomografia de raios x (μ CT) comparando os resultados com a análise de difração de raios x (DRX).

2. METODOLOGIA

Foram utilizadas seis amostras de rochas carbonáticas da Formação Jandaíra, nomeadas como P1, P2, P3, P4, P5 e P6. A análise petrofísica realizada é constituída por simulações computacionais a partir de

imagens digitais de μ CT adquiridas em subamostras de plugues. Esta análise foi realizada no Laboratório de Petrofísica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

As imagens microtomográficas foram adquiridas no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da Universidade Federal de Santa Catarina, no equipamento XRADIA, modelo Versa XRM – 500. Este opera uma fonte de raios-x de 30 a 160 kV, potência de 2 a 10 W, trabalha com um tamanho máximo de objetos de até 300 mm de comprimento, apresenta uma resolução espacial 3D de até $0,7\mu\text{m}$ e lentes com aumento óptico e geométrico de até 40 vezes. As imagens são adquiridas por uma câmera tipo CCD de 2048×2048 pixels e suporta amostras de até 15kg de massa.

Os dados do microtomógrafo são registrados na forma de projeções do objeto, em diversos ângulos, sobre o detector plano, obtendo as chamadas radiografias. Em seguida essas radiografias passam por um processo de reconstrução a fim de gerar os tomogramas bidimensionais (*slices*), os quais quando empilhados, geram uma imagem tridimensional do objeto imageado (Figura 2).

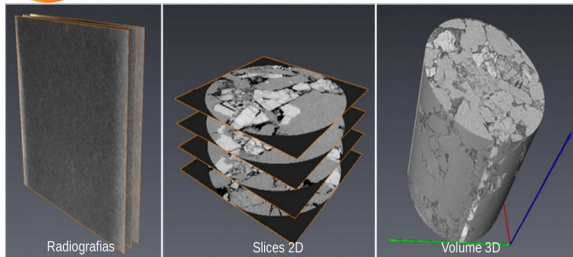


Figura 2: Conjunto de radiografias, *slices* horizontais e reconstrução 3D de uma subamostra.

O programa computacional utilizado para caracterização mineral por meio de imagens de microtomografia é o *Avizo Fire* que realiza análises tridimensionais na linha de ciências dos materiais. Nas imagens se reconhece cada fase mineral pela sua tonalidade e pelas formas apresentadas (Figura 3). Em seguida se extrai um subvolume da imagem para cada fração mineral observada e, a partir dos histogramas de cada fração, se determina o intervalo e o valor médio de tom de cinza característico de cada fração mineral. Constrói-se um gráfico de dispersão, no qual são plotados os valores de tons de cinza médio e de densidade das frações minerais e de poros conhecidas e ajusta-se uma função contínua de potência aos pontos do gráfico. Para as frações minerais desconhecidas, por interpolação pela função de ajuste de potência, determina-se a densidade. E por fim com a densidade calculada para uma dada fase desconhecida identifica-se o mineral que apresenta aquela

densidade e que ocorre em associação com os minerais típicos de rochas carbonáticas. O fluxograma da Figura 4 sintetiza este procedimento.

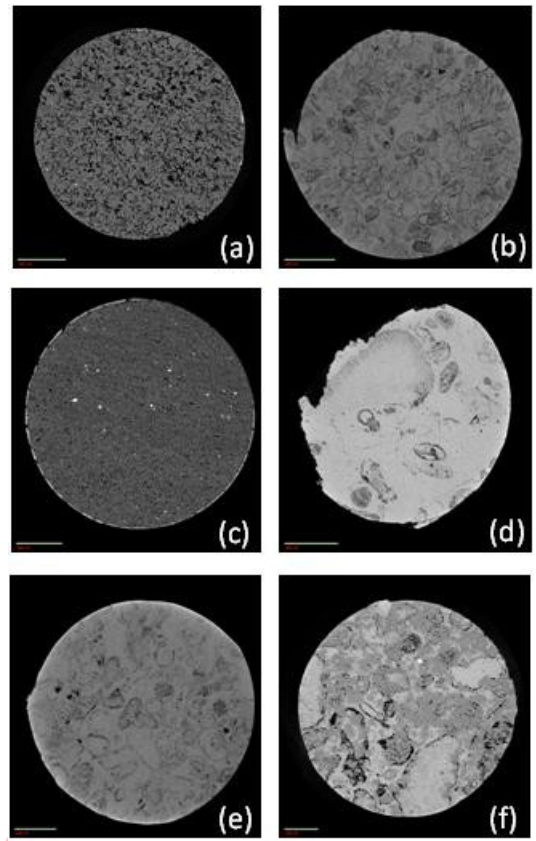


Figura 3: Imagens microtomográficas das seis amostras analisadas (a): P1, (b): P2, (c): P3, (d): P4, (e): P5 e (f): P6.

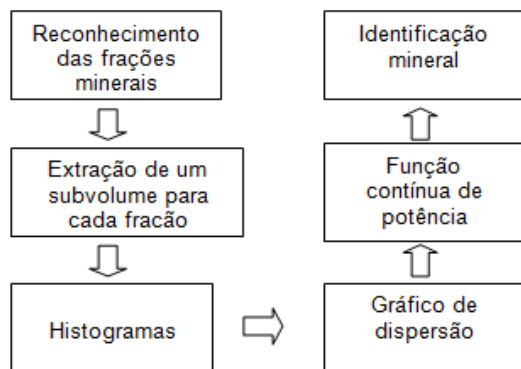


Figura 4: Fluxograma do procedimento para determinação da composição mineral por μ CT.

Na análise por DRX o método qualitativo empregado foi o do pó e o equipamento utilizado foi o SHIMADZU

XRD-6000 com radiação de $\text{CuK}\alpha$, intervalo de $5^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$, filtro de níquel, passo de 0,02/seg e fendas Soller. Os dados de DRX foram adquiridos no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da UFCG.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise por microtomografia forneceu a identificação e a quantificação dos minerais presentes nas amostras de rochas, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1: Composição mineral das amostras determinada pela análise das imagens de microtomografia de raios x.

Amostra	ϕ (%)	Calcita	Dolomita	Quartzo	Ankerita	Magnesita	Limonita	Argila	Matéria Orgânica	Fóssil mais poroso	Fóssil menos poroso
P1	15,80	-	69,54	30,42	-	0,04	-	-	-	-	-
P2	3,80	36,69	-	-	-	0,02	-	-	-	21,31	41,98
P3	0,70	83,77	-	-	-	-	0,02	15,00	1,21	-	-
P4	0,12	77,55	-	-	0,002	-	-	-	-	5,61	16,84
P5	0,66	43,46	-	-	-	0,0003	-	-	-	-	56,54
P6	2,60	-	48,65	-	40,33	0,04	-	10,98	-	-	-

Pode-se observar que os componentes mineralógicos essenciais de uma rocha carbonática, calcita e dolomita, foram identificados em todas as amostras analisadas.

Das seis amostras, quatro apresentaram matriz calcítica e duas matriz

dolomítica (ver Tabela 1). Em níveis acessórios foram identificados quatro minerais: quartzo, ankerita, magnesita e limonita. Em algumas amostras foi identificada a presença de fósseis com porosidade variável, os quais, apesar de não se constituírem em minerais, apresentam

valores próprios de densidade (devido à variação nos valores de porosidade). Adicionalmente, foram identificados teores de argila em duas amostras e de matéria orgânica (em uma amostra).

A análise por DRX apenas identificou a presença de minerais, sem quantificá-los. Os resultados foram obtidos a partir de difratogramas conforme apresentados nas Figuras 5 a 10.

Figura 5: Difratograma da amostra P1.

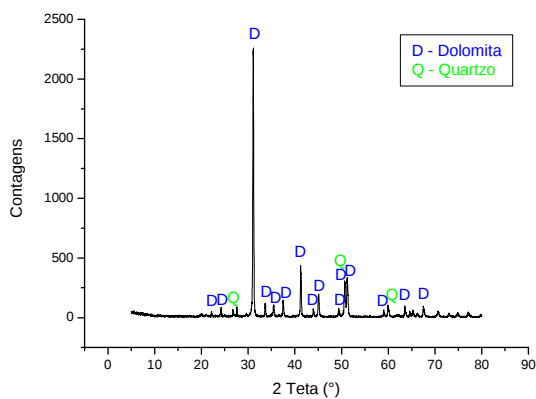


Figura 6: Difratograma da amostra P2.

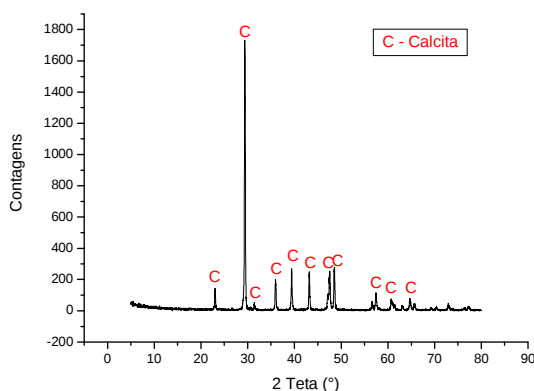


Figura 7: Difratograma da amostra P3.

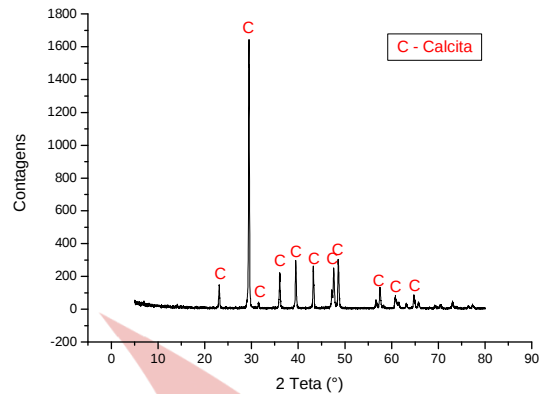


Figura 8: Difratograma da amostra P4.

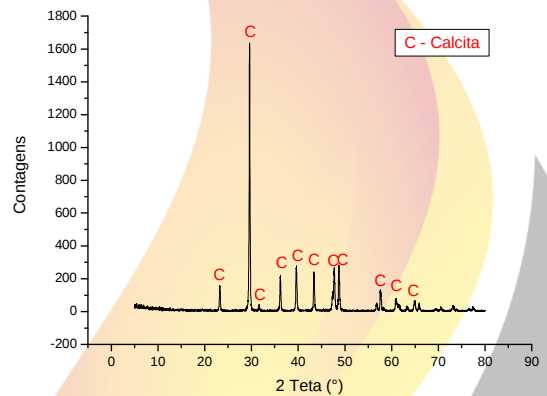


Figura 9: Difratograma da amostra P5.

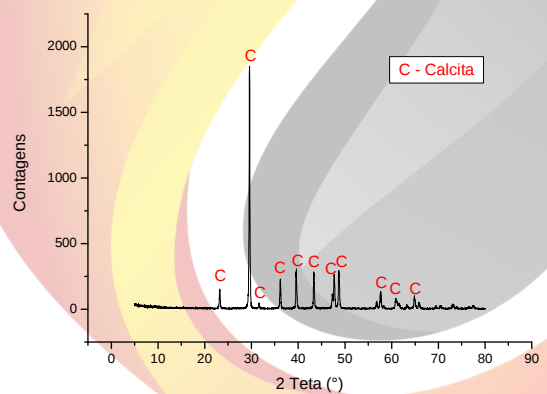
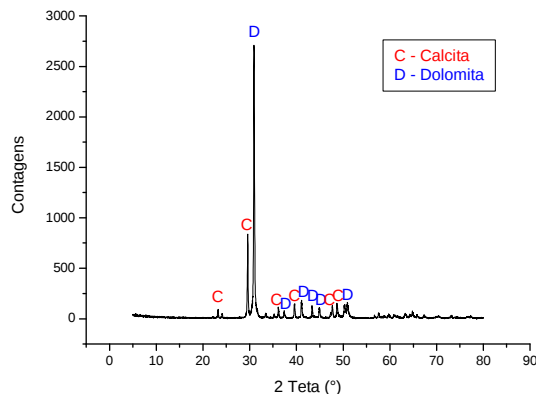


Figura 10: Difratoograma da amostra P6.



A Tabela 2 evidencia a composição mineral das amostras estudadas de acordo com as análises de DRX. A letra X indica a ocorrência do mineral correspondente naquela amostra e o hífen indica ausência do mineral.

Tabela 2: Composição mineral por DRX.

Amostras	Calcita	Dolomita	Quartzo
P1	-	X	X
P2	X	-	-
P3	X	-	-
P4	X	-	-
P5	X	-	-
P6	X	X	-

X: mineral presente, -: mineral ausente

Os minerais identificados através da análise por DRX foram: calcita, dolomita e quartzo. Não é possível a identificação de minerais com teores pequenos (traços) e elementos amorfos como a matéria orgânica.

Os resultados indicam pontos de concordância e de discordância entre os dois métodos de análise. Ambos os métodos identificaram a presença de calcita em todas as amostras analisadas (com exceção da amostra P6 que não foi identificada presença de calcita na análise por μ CT, apenas pela análise por DRX). A presença de dolomita foi identificada nas amostras P1 e P6 tanto na análise por μ CT como pela análise por DRX. O quartzo foi identificado apenas na amostra P1 em ambas as análises. Os demais minerais acessórios (ankerita, magnesita e limonita) foram identificados apenas na análise por μ CT. Os minerais de argila e a matéria orgânica, por serem potencialmente amorfos, não podem ser identificados por DRX. Os teores relativos aos fósseis, quantificados por μ CT, não são identificados como tal pelo DRX, uma vez que estes elementos são compostos por minerais, como a calcita.

4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados presente neste trabalho ficou demonstrada a capacidade de se determinar a composição mineral de rochas a partir da análise de imagens de microtomografia de raios x, a qual foi confirmada pela análise de difração de raios x.

Embora o imageamento por μ ct se constitua em uma técnica relativamente custosa, ela permite identificar e quantificar não só os principais minerais constituintes, mas também elementos traços e elementos amorfos. Além do mais, muitas outras propriedades petrofísicas e petrográficas podem ser extraídas dessas imagens, sendo a análise da composição mineral apenas uma informação a mais a ser obtida.

A composição mineral de rochas reservatório controla propriedades importantes como as propriedades elásticas, que são utilizadas no método sísmico, o qual se constitui no principal método de exploração e de monitoramento de reservatórios de petróleo e gás. Outra propriedade que depende da composição mineral é a molhabilidade e, conseqüentemente, a permeabilidade da rocha e o índice de recuperação do reservatório.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao convênio PETROBRAS/UFCG “Petrofísica convencional e digital de rochas carbonáticas do nordeste brasileiro” pelo suporte financeiro e permissão para publicação destes resultados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARARIPE, P. T; FEIJÓ, F. J. *Bacia Potiguar. Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p-127-141, jan/mar. 1994.

DANTAS, F, E. P. *Gravimetria e Sensoriamento Remoto*: uma aplicação ao estudo da tectônica recente entre Macau e São Bento do Norte (RN). 1998. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Programa em Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1998.

NETO, O. C. P; SOARES, U. M; SILVA, J.G. S; ROESNER, E. H; FLORENCIO, C. P; SOUZA, C. A. V. *Bacia Potiguar. Boletim de Geociências da Petrobrás*. Rio de Janeiro, v. 15, n.2, p. 357-369, maio/nov. 2007.

PORTO, A. L. *Estimação de propriedades petrofísicas de rochas sedimentares a partir de imagens microtomográficas de raios-x*. 2015. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

SANTOS, S. C. N. *Análise estratigráfica e caracterização faciológica de depósitos sedimentares neocretácicos pertencentes à Formação Açú, Bacia Potiguar emersa-RN*.



II CONEPETRO

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

2009. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.



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

(83) 3322.3222
contato@conepetro.com.br