

Estudo da Resistência à Compressão Simples e Diametral de Rochas Evaporíticas para Armazenamento e Abertura de Poços de Petróleo

Claudio Galdino

Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, Brasil,
claudio.galdino1@hotmail.com

Analice Lima

Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, Brasil,
analicelima@hotmail.com

Jayne Araújo

Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, Brasil,
jayne.a.silva@hotmail.com

Nayara Acioli

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, ntbelfort@gmail.com

Samuel Amorim

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, samuel_amorim@msn.com

RESUMO: A importância da resistência de rochas evaporíticas ou salinas está associada à existência de reservatórios de petróleo abaixo dessas rochas como por exemplo no caso do Pré-Sal, onde o cuidado está na estabilidade dos poços injetor e produtor e além disso, na utilização dessas rochas como barreiras naturais para estocagem de gás natural e óleo cru. A disposição estrutural das rochas salinas permite que, submetidas a altas pressões e altas temperaturas, sua estrutura se reorganize e, na ausência de argilo-minerais se cicatrize, fechando fissuras e determinando a estanqueidade essencial para estocagem de óleo e gás. Por outro lado, a execução de abertura de poços pode incorrer na ruptura do reservatório, com o fechamento da coluna de extração e consequentemente na redução da produção do poço, havendo o risco de aprisionamento de equipamentos, além da expansão do reservatório devido ao alívio de tensões locais, entre outras ocorrências que prejudicariam todo o processo de extração do petróleo. Dentro desse contexto foram realizados ensaios de resistência à compressão simples e diametral para entender o comportamento dessas rochas. A área de estudo selecionada foi a bacia do Araripe, onde afloram depósitos carbonáticos e evaporíticos que correspondem à análogos de algumas fácies de formações que compõem os sistemas petrolíferos. Os ensaios foram realizados com amostras de gipsitas utilizando uma prensa servocontrolada a uma velocidade constante de 0,4mm/min, obtendo uma relação entre a resistência à compressão simples e a resistência a tração de aproximadamente 10, valor típico de rochas frágeis.

PALAVRAS-CHAVE: Estudo da Resistência Máxima, Rochas Evaporíticas, Ensaio Uniaxial, Ensaio de Compressão Diametral.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma crescente demanda por reservatórios que estoquem fluídos como gás natural e óleo cru, necessitando de grandes espaços para estocagem. Convencionalmente se realiza a estocagem desses materiais em tanques de aço a céu aberto, mas é considerado um método oneroso e que oferece perigo a população. Assim, a maneira segura seria estocar em cavernas em solos impermeáveis ou em rochas evaporíticas. Porém, as cavernas em rochas evaporíticas necessitam ser estudadas e entendidas como se comportam frente ao armazenamento de fluídos em formações salinas naturalmente fraturadas (Costa, 1984). Diante desse conhecimento, segundo o U. S. Department of Energy (2006), as cavernas em zonas salinas são dispostas de forma a se apresentarem mais seguras como reservatórios e 10 vezes mais baratas do que o armazenamento convencional em tanques.

Outra preocupação, no estudo de rochas evaporíticas, é a execução da perfuração e manutenção dos poços injetor e produtor para extração do petróleo localizado abaixo desse tipo de rocha. E por isso, a importância em estudar as tensões, deformações e resistência dos poços perfurados durante todo o período de extração. Vale ressaltar que o fechamento de algum dos poços traz prejuízo financeiro para a empresa.

Os estudos mostram que a disposição estrutural das rochas salinas permite que, submetidas a altas pressões e altas temperaturas, sua estrutura se reorganize e, na ausência de argilo-minerais se cicatrize, fechando fissuras ocorridas e determinando uma estanqueidade essencial para a obtenção de reservatórios de petróleo e de gás (Mohriak; Szatmari & Anjos, 2008). Por outro lado, a execução de abertura de poços nessas rochas pode incorrer na ruptura do reservatório, com o fechamento da coluna de extração e consequentemente na redução da produção do poço, havendo o risco de aprisionamento de equipamentos, além da expansão do reservatório devido ao alívio de tensões locais, entre outras ocorrências que prejudicariam todo o processo de extração do petróleo devido ao

fenômeno de fluência (*creep*).

Quanto maior a profundidade e a espessura do sal a ser atravessado, maiores as tensões desviatórias e a temperatura, e consequentemente, mais rápido ocorre o fenômeno de cicatrização. No caso dos poços de petróleo, esse fenômeno pode levar ao fechamento do poço com o tempo, se fazendo necessário o desvio do poço ou completo abandono do mesmo.

Tendo em vista os efeitos desses evaporitos na execução e uso dos poços e o alto custo dos mesmos (em torno de US\$ 50 milhões) para a perfuração de um poço de exploração, se faz necessária a avaliação do estado de tensões e deformações dessas rochas.

Desta forma, esta pesquisa tem o objetivo de estudar o comportamento de rochas evaporíticas através de ensaios de compressão simples e diametral (ensaio brasileiro) com a finalidade de utilizar estes dados como valores de referência em ensaios de fluência que determinarão o comportamento dessas rochas quando submetidas a cargas próximas à ruptura, possibilitando uma simulação do que ocorre na prática.

2 ÁREA DE ESTUDO

As amostras de rochas evaporíticas ensaiadas foram coletadas na Bacia do Araripe que localiza-se nas regiões sul do estado do Ceará, oeste do estado de Pernambuco e leste do Piauí e é considerada a maior das bacias interiores do Nordeste do Brasil. A Figura 1 apresenta o mapa de localização da área de estudo (em vermelho).

A área de estudo, na qual estão expostos bons afloramentos das unidades estratigráficas escolhidas, correspondem à porção norte e sul do domínio oeste da Bacia do Araripe, parte localizada no estado de Pernambuco e parte no estado do Ceará.

As amostras foram retiradas da porção localizada no estado de Pernambuco, na região de Ipubi, onde afloram os depósitos carbonáticos e evaporíticos e correspondem à análogos de algumas fácies de formações que compõem os sistemas petrolíferos.

A formação Ipubi é composta principalmente por gipsita e anidrita e seus depósitos encontram-se intensamente afetados por processos de falhamento e fraturamento. Em geral as falhas e fraturas se encontram preenchidas por gipsita fibrosa e por argilominerais.

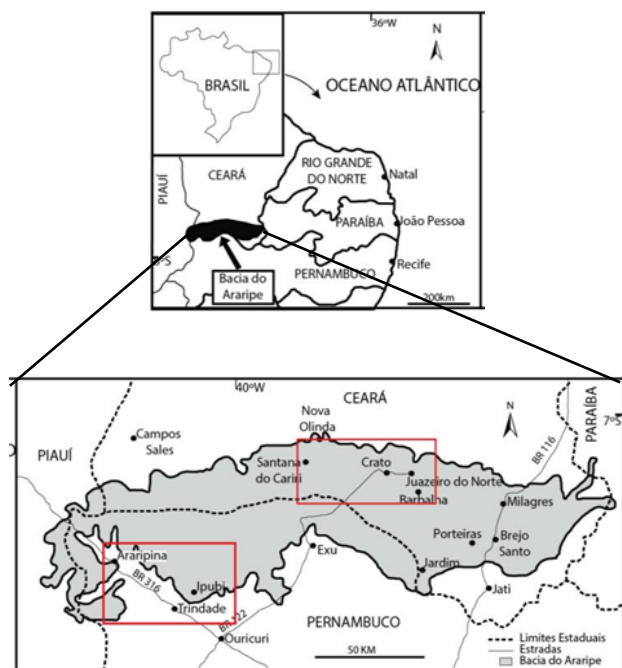


Figura 1. Localização da área de estudo (áreas em vermelho).

2.1 Coleta das amostras

As amostras de gipsita foram coletadas em campo, retirando-se um bloco e cortando o mesmo em laboratório, para a obtenção dos corpos de prova em dimensões apropriadas para realização dos ensaios de compressão simples e diametral. Desta maneira, foram moldados 4 corpos de prova para cada ensaio. Para isso, foram utilizados um serra e uma plugadeira de bancada. A serra foi utilizada para cortar o bloco proveniente do campo, em blocos menores e a plugadeira para retirar as amostras destes blocos menores. Para retificar as extremidades foram utilizadas lixas finas. A Figura 2 apresenta as amostras finais para o ensaio de compressão simples e diametral.

É importante salientar que a obtenção, o armazenamento, o transporte e o preparo de corpos de prova de rochas evaporíticas são extremamente importantes. A falta de cuidado em uma destas etapas pode produzir alterações

no comportamento geomecânico e assim comprometer os resultados dos ensaios.



Figura 2. Amostras utilizadas para a realização dos ensaios de resistência à compressão simples (amostras grandes) e diametral (amostras pequenas).

3 METODOLOGIA

3.1 Equipamento

Os ensaios de compressão simples e diametral foram realizados em uma prensa servo-controlada com anel dinamométrico com capacidade de 5ton e com defletoômetro para medir o deslocamento do anel e assim determinar a tensão cisalhante máxima. Para isso, esse anel foi previamente calibrado com pesos pre-definidos para que a cada deslocamento do anel este corresponda a uma determinada carga. Esta prensa tem um sistema controlado por um motor que sobe uma plataforma a velocidade constante. A amostra é colocada entre esta plataforma localizada na base da prensa e o anel dinamométrico. A medida que a plataforma sobe a amostra vai sendo carregada até a ruptura. Durante os ensaios (uniaxial e diametral) os deslocamentos verticais foram medidos com defletoômetro para determinar a deformação vertical da amostra durante o ensaio. A Figura 3 mostra a prensa e a instrumentação utilizada para realização dos ensaios.

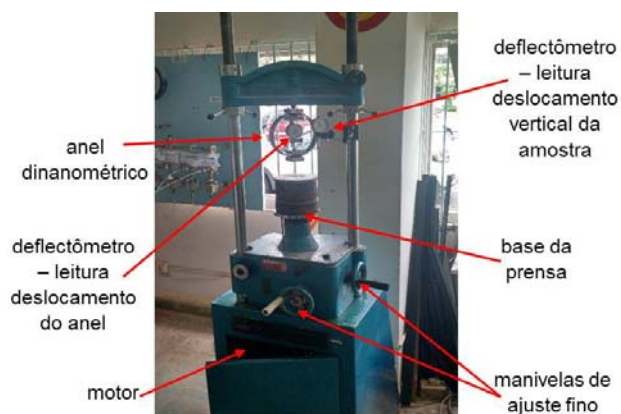


Figura 3. Prensa servo-controlada.

3.2 Ensaio de compressão simples

Nos ensaios de compressão simples, as amostras foram submetidas a uma tensão vertical (σ_1) crescente a uma velocidade constante, distribuída de modo uniforme em toda a seção transversal do corpo de prova. Durante os ensaios a tensão confinante (σ_3) foi igual a zero.

Para o procedimento deste ensaio foram utilizadas amostras com dimensões de aproximadamente 3,7cm de diâmetro e 6cm de altura. O ensaio foi realizado em uma prensa servo-controlada com um anel dinamométrico com capacidade de 5ton onde a tensão vertical (σ_1) foi aplicada a uma velocidade constante de 0,4mm/min até a ruptura da rocha. Com esta finalidade, foram utilizadas duas placas lisas, uma fixa e outra móvel, acionada pelo motor.

As amostras foram colocadas entre as placas e mantidas firme durante a compressão. Durante todo o ensaio foram realizadas leituras de deslocamento do anel dinamométrico (utilizando o deflectômetro do anel) que depois foram transformados em dados de forças. Assim como foram realizadas medidas de deslocamento vertical no deflectômetro para determinação da deformação vertical da rocha durante o ensaio. O resultado obtido em cada amostra foi a resistência máxima da gipsita.

3.3 Ensaio de compressão diametral

No ensaio de compressão diametral (ou ensaio brasileiro) para determinação da resistência à tração, aplica-se duas forças concentradas e diametralmente opostas de compressão em um

cilindro, gerando, ao longo do diâmetro solicitado, tensões de tração uniformes perpendiculares a este diâmetro. As amostras ensaiadas tinham dimensões de aproximadamente 3,7cm de diâmetro e 1cm de altura. Os ensaios foram realizados com a mesma prensa servo-controlada apresentada na Figura 3, utilizando anel dinamométrico com capacidade de 5ton e a velocidade dos ensaios foi constante de 0,4mm/min.

Como mencionado anteriormente (na área de estudo) estas amostras são naturalmente fraturadas e estas fraturas podem estar preenchidas ou não, o que pode afetar os resultados das resistências à compressão simples e diametral, como será discutido posteriormente nos resultados. A Figura 4 mostra o detalhe de fratura preenchida em uma amostra para realização do ensaio á compressão simples e na amostra utilizada para compressão diametral.

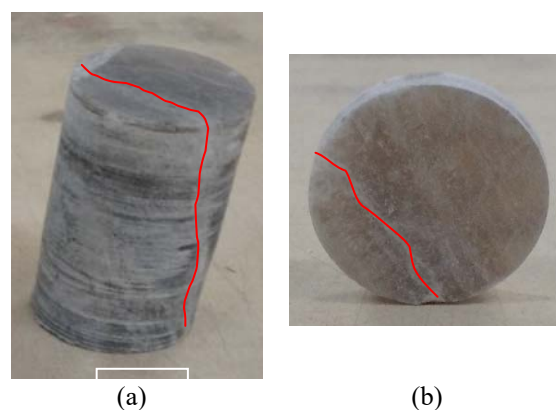


Figura 4. Caminho preferencial de ruptura (fratura natural) da (a) amostra para compressão simples e (b) amostra para compressão diametral.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaio de compressão simples

Os resultados obtidos no ensaio de compressão uniaxial mostraram a resistência máxima da rocha gipsita em cada amostra ensaiada. A Figura 5 apresenta o gráfico tensão x deformação dos resultados obtidos nos ensaios a compressão simples das 4 amostras ensaiadas.

A Tabela 1 mostra a resistência máxima alcançada no ensaio, com sua respectiva deformação axial.

Tabela 1. Resistência máxima a compressão simples e respectiva deformação axial máxima.

Amostra	1	2	3	4
Resistência (MPa)	16,6	7,9	5,4	7,1
Deformação (%)	3,1	1,6	0,8	0,9

Observou-se uma variação entre as resistências máximas alcançadas no ensaio de compressão simples entre as quatro amostras ensaiadas. Esta variação pode ser devida a diferença entre as amostras ensaiadas e as fraturas encontradas em algumas amostras. Verificou-se também que as rupturas, após os ensaios, ocorreram no plano menos resistente, onde se encontrava a fratura preenchida ou próximo as fraturas. Vale salientar que a amostra 1 obteve uma maior resistência comparada a outras amostras porque a fratura se localizava muito mais perto da borda do que do centro da base, o que fez com que a perda de resistência da amostra não fosse tão grande.

Segundo Jeremic (1994), a resistência à compressão simples depende de certa forma de um número de variáveis da amostra como: tamanho, porosidade, umidade e composição mineral, entre outros.

Na literatura, a relação observada é que os diferentes minerais da rocha de sal têm diferentes valores de resistência à compressão simples, principalmente devido às propriedades intrínsecas desta rocha e a composição química diferente.

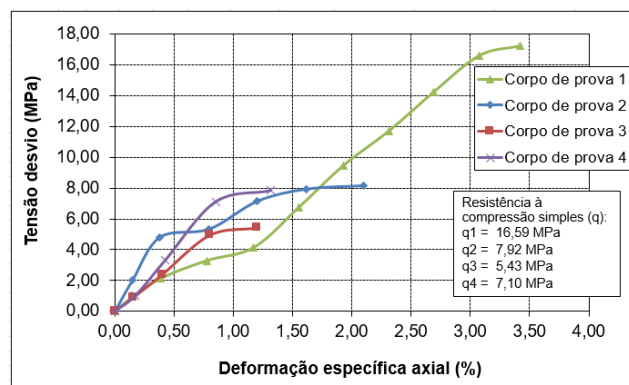


Figura 5. Gráfico tensão x deformação dos resultados à compressão simples.

4.2 Ensaio de compressão diametral

A Figura 6 apresenta o resultado da tensão

cisalhante x deformação axial das quatro amostras ensaiadas. A maior resistência alcançada foi na amostra 1 com valor de 1,67MPa e a menor resistência foi de 0,9 MPa, na amostra 4.

A amostra 1 suportou uma maior tensão dentre todos, provavelmente devido ao seu maior grau de uniformidade, caracterizado por uma menor presença de fraturas. A Tabela 2 mostra a resistência máxima alcançada no ensaio, com sua respectiva deformação axial.

Pode-se observar que a relação entre a resistência à compressão simples e a resistência a tração, obtido neste trabalho, é de aproximadamente 10 que, segundo Jeremic (1994), é um valor característico de rochas frágeis.

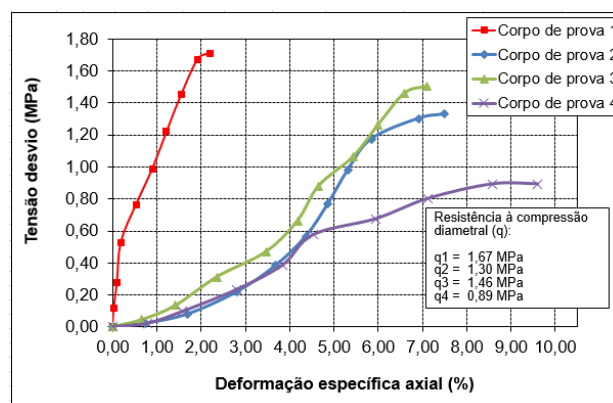


Figura 6. Gráfico comparativo entre as amostras ensaiadas.

Tabela 2. Resistência máxima a compressão diametral e respectiva deformação axial máxima.

Amostra	1	2	3	4
Resistência (MPa)	1,7	1,3	1,5	0,9
Deformação (%)	1,9	6,9	6,6	8,6

5 CONCLUSÕES

O estudo da resistência de rochas evaporíticas, foi realizado através da interpretação dos resultados obtidos nos ensaios de compressão simples e diametral.

Com os valores de resistência obtidos para as referidas amostras de gipsita, pôde-se partir para uma ampliação dos estudos, utilizando esses valores como limiar de cargas para os

ensaios de fluência em gipsitas.

A relação entre a resistência a compressão simples e a resistência a tração é de aproximadamente 10 que caracteriza estas rochas como frágeis.

Os resultados obtidos demonstraram que a presença de fraturas é, de fato, um fator de grande interferência nos valores de resistência, obtidos em ensaios com gipsita.

De acordo com os resultados obtidos e com as comparações realizadas, é ressaltada a importância de se fazer esse tipo de ensaio para que se possa prever o comportamento das rochas salinas em condições ambiente, visto que há uma variação considerável dos resultados dependendo do tipo de rocha salina presente no meio e das constantes fraturas que geram heterogeneidade nos maciços a serem perfurados.

REFERÊNCIAS

Costa, A.M. (1984). Uma aplicação de métodos computacionais e princípios de mecânica das rochas no projeto e análise de escavações destinadas a mineração subterrânea. Tese de doutorado. UFRJ.

Jeremic M.L (2004). In: Rock Mechanics in Salt Mining. United States. Book limited edition.

Mohriak, W., Szatmari, P. & Anjos, S.M.C. 2008. "Sedimentação de evaporitos". In: Mohriak, W., Szatmari, P. & Anjos, S.M.C. (Org.). Sal Geologia e Tectônica. São Paulo, Beca Edições Ltda, p. 64-89.

Poiate Jr, E. (2012). Mecânica das Rochas e Mecânica computacional para projetos de poços de petróleo em zonas de sal. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 462p.

U.S. Department of Energy (DoE). Strategic Petroleum Reserve Storage Sites. Disponível em: <<http://www.fossil.energy.gov/programs/reserves/spr/spr-sites.html>>.