

PRESSÃO CAPILAR CENTRÍFUGA

Método de Ensaio

Cabe à CONTEC - Subcomissão Autora, a orientação quanto à interpretação do texto desta Norma. O Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma é o responsável pela adoção e aplicação dos seus itens.

CONTEC
Comissão de Normas
Técnicas

Requisito Técnico: Prescrição estabelecida como a mais adequada e que deve ser utilizada estritamente em conformidade com esta Norma. Uma eventual resolução de não segui-la ("não-conformidade" com esta Norma) deve ter fundamentos técnico-gerenciais e deve ser aprovada e registrada pelo Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma. É caracterizada pelos verbos: "dever", "ser", "exigir", "determinar" e outros verbos de caráter impositivo.

Prática Recomendada: Prescrição que pode ser utilizada nas condições previstas por esta Norma, mas que admite (e adverte sobre) a possibilidade de alternativa (não escrita nesta Norma) mais adequada à aplicação específica. A alternativa adotada deve ser aprovada e registrada pelo Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma. É caracterizada pelos verbos: "recomendar", "poder", "sugerir" e "aconselhar" (verbos de caráter não-impositivo). É indicada pela expressão: **[Prática Recomendada]**.

Cópias dos registros das "não-conformidades" com esta Norma, que possam contribuir para o seu aprimoramento, devem ser enviadas para a CONTEC - Subcomissão Autora.

SC - 30

Reservatórios

As propostas para revisão desta Norma devem ser enviadas à CONTEC - Subcomissão Autora, indicando a sua identificação alfanumérica e revisão, o item a ser revisado, a proposta de redação e a justificativa técnico-econômica. As propostas são apreciadas durante os trabalhos para alteração desta Norma.

"A presente Norma é titularidade exclusiva da PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS, de uso interno na Companhia, e qualquer reprodução para utilização ou divulgação externa, sem a prévia e expressa autorização da titular, importa em ato ilícito nos termos da legislação pertinente, através da qual serão imputadas as responsabilidades cabíveis. A circulação externa será regulada mediante cláusula própria de Sigilo e Confidencialidade, nos termos do direito intelectual e propriedade industrial."

Apresentação

As normas técnicas PETROBRAS são elaboradas por Grupos de Trabalho - GTs (formados por especialistas da Companhia e das suas Subsidiárias), são comentadas pelos Representantes Locais (representantes das Unidades Industriais, Empreendimentos de Engenharia, Divisões Técnicas e Subsidiárias), são aprovadas pelas Subcomissões Autoras - SCs (formadas por técnicos de uma mesma especialidade, representando os Órgãos da Companhia e as Subsidiárias) e aprovadas pelo Plenário da CONTEC (formado pelos representantes das Superintendências dos Órgãos da Companhia e das suas Subsidiárias, usuários das normas). Uma norma técnica PETROBRAS está sujeita a revisão em qualquer tempo pela sua Subcomissão Autora e deve ser reanalisada a cada 5 anos para ser revalidada, revisada ou cancelada. As normas técnicas PETROBRAS são elaboradas em conformidade com a norma PETROBRAS N-1. Para informações completas sobre as normas técnicas PETROBRAS, ver Catálogo de Normas Técnicas PETROBRAS.

1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma fixa o método da centrifugação para a determinação das curvas de pressão capilar em amostras de rocha em função das suas saturações de fluido.

Nota: Podem ser empregados os fluídos: H₂O de formação, óleo mineral, óleo cru e ar.
[Prática Recomendada]

1.2 As prescrições desta Norma se aplicam aos métodos realizados a partir da data de sua edição.

1.3 Esta Norma contém Requisitos Técnicos e Práticas Recomendadas.

2 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

Os documentos relacionados nos itens 2.1 e 2.2 são citados no texto e contém prescrições válidas para a presente Norma.

2.1 Referências Normativas

- | | |
|----------------------------------|---|
| PETROBRAS N-2015 | - Determinação de Porosidade Efetiva de Rochas; |
| PETROBRAS N-2016 | - Determinação da Permeabilidade Absoluta ao Gás em Rocha Reservatório. |

2.2 Bibliografia

- HASSLER, G.L, BRUNNER, E - *Measurement of Capillary Pressures in Small Core Samplers* - Los Angeles, Out/1944, pp 114-123;
B. SKUSE, A. FIROOZABADI, H.J.RAMSEY JR - *Computation and Interpretation of Capillary Pressure From Centrifuge*, SPE 18297.

3 DEFINIÇÕES

Para os propósitos desta Norma são adotadas as definições indicadas nos itens 3.1 a 3.6.

3.1 Permeabilidade Absoluta

Capacidade que possui uma rocha de se deixar atravessar por um fluido quando submetida à uma diferença de pressão capaz de provocar o escoamento, estando o meio poroso 100 % saturado por esse fluido.

3.2 Pressão Capilar (P_c)

Diferença entre a pressão da fase molhante e a fase não molhante.

3.3 Saturação

Representa o volume de um dado fluido presente no meio poroso, expresso em fração ou porcentagem do volume poroso.

3.4 Plugue

Amostra retirada de testemunhos, em forma cilíndrica, com diâmetro de 1", 1 1/2" ou 2", e comprimento igual ou superior do diâmetro.

3.5 Teste Padrão

Teste no qual o fluido deslocante é menos denso do que o fluido deslocado (óleo deslocando água ou ar deslocando água/óleo).

3.6 Teste Invertido

Teste em que o fluido deslocante é mais denso do que o fluido deslocado (água deslocando óleo).

4 APARELHAGEM

4.1 Ultracentrífuga modelo 18-60/P ("Beckman"), ou similar.

4.2 Unidade estroboscópica.

4.3 Tubos coletores do fluido deslocado, graduados, com capacidades de 6,0 mL, 12,0 mL e 23 mL (transparentes e de cor âmbar).

4.4 Suportes para amostra-copos de titânio para testes padrão e invertido.

4.5 Borracha de Viton em bases cônicas de alumínio.

4.6 Copos de alumínio ("Buckets") para testes padrão e invertido.

4.7 Balança de topo, com precisão de 0,01 g.

4.8 Bomba de vácuo.

4.9 Garrafa de pressão.

4.10 Dessecador.

5 COMPONENTES

5.1 Amostra de rocha.

5.2 Salmoura, (ver item 6.1.1).

5.3 NaCl a 10 % (m/m), (ver item 6.1.1).

5.4 Óleo cru (petróleo).

5.5 Óleo mineral.

5.6 Bactericida - (HgCl_2 - Cloreto de Mercúrio).

6 EXECUÇÃO

Os dados obtidos no decurso das operações devem ser registrados em formulário apropriado (ver ANEXO F).

6.1 Preparação da Água

6.1.1 Preparar uma salmoura de composição similar à da água de formação. Não sendo conhecida essa composição, preparar uma solução com salinidade equivalente à obtida através do gradiente de salinidade do campo (formação). Na ausência de qualquer informação, preparar uma solução de NaCl a 10 % (m/m). Em qualquer caso, acrescentar 0,025 g/L (gramas por litro) de bactericida.

6.1.2 Filtrar, desaerar e medir a massa específica da salmoura.

Nota: É chamada simplesmente “água” a salmoura assim preparada.

6.2 Preparação das Amostras

6.2.1 Utilizar até 3 amostras de rocha, em forma de cilindro reto, com diâmetro de 1 1/2” e altura de máxima de 4,8 cm. As amostras dispensam cuidados especiais de preservação, devendo o óleo, a água e o sal serem extraídos previamente, devem, porém, ser descartadas as amostras que apresentarem heterogeneidade marcante a olho nu.

6.2.2 Determinar o volume poroso das amostras (V_{p1}) conforme a norma PETROBRAS [N-2015](#) e a permeabilidade absoluta conforme norma PETROBRAS [N-2016](#).

6.2.3 Saturar as amostras com água procedendo da forma seguinte:

- a) amostras de baixa permeabilidade (< 100 mD):
- colocar as amostras numa garrafa de pressão;
 - fazer vácuo por no mínimo 4 horas;
 - admitir lentamente a água até encher a garrafa;
 - pressurizar lentamente até uma pressão máxima de 2 000 psi, na dependência do grau de consolidação e da permeabilidade das amostras;
 - após um período de 24 horas, no mínimo, despressurizar lentamente a garrafa e transferir as amostras para um recipiente contendo salmoura onde elas devem ser mantidas submersas;
- b) amostras de média e alta permeabilidade (≥ 100 mD):
- colocar as amostras, imersas em salmoura, em um dessecador e fazer vácuo por no mínimo 2 horas.

6.2.3.1 Tomar as massas das amostras saturadas com água em balança de topo, com precisão de 0,01 g.

6.2.3.2 Calcular o volume poroso das amostras, em cm^3 , utilizando a seguinte expressão:

$$V_{p_2} = \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{seca}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

Nota: Quando a amostra é encapsulada, usar a fórmula:

$$V_{p_2} = \frac{(M_{\text{sat}} - M_{\text{seca}}) - 0,3}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

Onde:

- M_{sat} = massa da amostra saturada, em g;
 M_{seca} = massa da amostra seca, em g (ver Notas 1 e 2);
 $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ = massa específica da água a temperatura ambiente, em g/cm^3 ;
0,3 = volume poroso das telas.

- Notas:
- 1) O valor da massa seca da amostra foi obtido durante a determinação do volume poroso.
 - 2) No caso de amostras friáveis, repetir o procedimento de tomada de massa conforme a norma PETROBRAS [N-2015](#), antes do processo de saturação para a obtenção da massa seca da amostra.

6.2.3.3 Comparar o valor assim calculado com o volume poroso obtido no item 6.2.2, observando um desvio máximo de $\pm 10\%$, como limite de tolerância. Se este não for satisfeito, proceder de acordo com alíneas a) ou b), apresentados em seguida, observando visualmente uma possível perda de grãos; em caso de perda apreciável, descartar a amostra.

- a) $V_{p_2} > 1,1 \times V_{p_1}$:
- prosseguir o ensaio e, depois de concluído, recalculer o volume poroso segundo o item 6.2.2, para nova comparação;
- b) $V_{p_2} < 0,9 \times V_{p_1}$:
- ressaturar as amostras com água, de acordo com item 6.2.3.

6.3 Preparação do Teste

6.3.1 Definição dos Parâmetros de Testes

6.3.1.1 Temperatura

Definida em função do tipo de óleo usado no teste.

Nota: Testes realizados com óleo cru (petróleo) normalmente à temperatura de teste $\geq 40^{\circ}\text{C}$.

6.3.1.2 Velocidades de Rotação

Normalmente a faixa de velocidades investigada é de 500 rpm a 8 000 rpm. Recomenda-se que a velocidade máxima de teste seja definida em função de uma das situações que se segue **[Prática Recomendada]**:

- a) de forma que a pressão capilar (P_c) máxima de teste seja equivalente (igual) à pressão capilar representativa do reservatório definida pelo usuário;
- b) no caso de se estar analisando amostras de rocha friáveis, a velocidade de rotação não deve ultrapassar o valor de 4 500 rpm.

Nota: Recomenda-se que sejam usados os seguintes valores de velocidade de rotação: 500 rpm, 750 rpm, 1 000 rpm, 1 250 rpm, 1 500 rpm, 1 750 rpm, 2 000 rpm, 2 500 rpm, 3 000 rpm, 3 500 rpm, 4 000 rpm, 4 500 rpm, 5 000 rpm, 6 000 rpm, 7 000 rpm e assim por diante até o valor máximo estabelecido. **[Prática Recomendada]**

6.3.2 Montagem do Teste Padrão (Ver ANEXO A)

6.3.2.1 Lubrificar todos os anéis de borracha ("O-Rings").

6.3.2.2 Selecionar o tubo coletor graduado adequado, em função do volume poroso da amostra.

Nota: Caso a temperatura de teste seja superior a 40°C deve-se usar os tubos coletores de cor âmbar.

6.3.2.3 Encher o tubo coletor graduado com o fluido deslocante (fluido menos denso).

6.3.2.4 Encaixar o copo de titânio (copo da amostra) no topo do tubo coletor graduado.

6.3.2.5 Inserir no copo de titânio a base cônica e a borracha de Viton, nesta sequência.