

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA		ET-2000.00-1210-780-PPQ-001	
	CLIENTE: DP&T/POCOS		FOLHA: 1 DE 15	
	PROGRAMA:			
	ÁREA:			
POCOS/CTPS/QC	TÍTULO: ESPUMA COLAPSÁVEL PARA MITIGAÇÃO DE APB		NP-1	
			POCOS/CTPS/QC	

ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0	EMISSÃO ORIGINAL
A	Substituídos os responsáveis pelo projeto, execução, verificação e aprovação pelas respectivas gerências.

	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	25/05/2017	27/04/2018							
PROJETO	GT Espuma	CTPS/QC							
EXECUÇÃO	CENPES/PCP	CENPES/PCP							
VERIFICAÇÃO	CTPS/DT	CTPS/DT							
APROVAÇÃO	CTPS/QC	CTPS/QC							

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA PETROBRAS, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.

FORMULÁRIO PADRONIZADO CONFORME NORMA PETROBRAS N-0381 REV. L.

ÍNDICE

1	OBJETIVO	3
2	DOCUMENTOS COMPLEMENTARES	3
3	SÍMBOLOS OU SIGLAS	4
4	ESPUMA COLAPSÁVEL	4
5	APLICAÇÃO DAS ESPUMAS.....	6
6	FORNECIMENTO	7
7	DOCUMENTAÇÃO	8
8	INSPEÇÃO E TESTES	9
9	COMPATIBILIDADE QUÍMICA	13
10	PARÂMETROS DE PROJETO	14
11	AUTORES DA ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	16

1 OBJETIVO

A espuma colapsável é uma espuma rígida contendo microesferas ocas, formando alvéolos que, uma vez colapsados, não se regeneram.

A espuma é desenhada, de modo que o seu volume seja reduzido toda vez que uma determinada pressão seja atingida, com o objetivo impedir o aumento de pressão em anulares confinados.

O presente documento tem como objetivo apresentar as condições técnicas e funcionais mínimas para dimensionamento das espumas colapsáveis, para a sua adesão em tubos e, também, as condições para o seu fornecimento.

2 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

- **API 17F** - *Specification for Subsea Production Control Systems*
- **API 17N** - *Recommended Practice 17N, Subsea Production System Reliability and Technical Risk Management*
- **ISO 11960** - *Petroleum and Natural Gas Industries - Steel Pipes for use as Casing or Tubing for Wells* (equivalente à antiga norma API 5CT)
- **ISO 15156** - *Petroleum and Natural Gas Industries - Materials for use in H₂S-containing Environments in Oil and Gas Production*
- **API SPEC Q1/ISO TS 29001** - *Specification for Quality Programs for the Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industry*
- **N-1710** - Codificação de Documentos Técnicos de Engenharia
- **N-381** - Execução de Desenhos e Outros Documentos Técnicos em Geral
- **N-1965** – Movimentação de Carga Inspeção, Manutenção e Operação de Equipamentos Terrestres
- **ISO 4309** – Equipamentos de Movimentação de Carga - Cabos de Aço - Cuidados, Manutenção, Instalação, Inspeção e Descarte
- **DNV IMO MSC/Circ. 860** – *Guidelines for the Approval of Containers Handled in Open Seas*
- **ISO 23936-1** - *Petroleum, petrochemical and natural gas industries -- Non-metallic materials in contact with media related to oil and gas production -- Part 1: Thermoplastics*

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº	ET-2000.00-1210-780-PPQ-001	REV.	A
	DP&T/POCOS			FOLHA	4 de 16
	TÍTULO:			NP-1	
			Espuma Colapsável para Mitigação de APB		
			POCOS/CTPS/QC		

- **ISO 23936-2** - *Petroleum, petrochemical and natural gas industries -- Non-metallic materials in contact with media related to oil and gas production -- Part 2: Elastomers*
- **ISO 1817** - *Rubber, vulcanized or thermoplastic -- Determination of the effect of liquids*
- **ISO 8501-1** - *Pictorial Standards of Cleanliness*
- **ASTM D3045** - *Standard Practice for Heat Aging of Plastics Without Load*
- **ASTM D573** - *Standard Test Method for Rubber—Deterioration in an Air Oven*
- **ASTM D2736** - *Practice for Determination of Hydrostatic Compressive Strength of Syntactic Foam*
- **BE EN ISO 1183-3** - *Plastics. Methods for Determining the Density of Non Cellular Plastics. Gas Pycnometer Method.*
- **BS ISO 11357-2** - *Plastics - Differential Scanning Calimotery Part 2. Determination of Glass Transition Temperature.*

3 SÍMBOLOS OU SIGLAS

- RM – Requisição de Material
- FAT – *Factory Acceptance Test*
- PIT – Plano de Inspeção e Testes
- CLM – Certificado de Liberação de Material
- DNV – Certificado de conformidade *Det Norske Veritas*

4 ESPUMA COLAPSÁVEL

4.1 Especificação

- a) O envelope de colapso consiste em um intervalo de pressão e temperatura, onde se garante o colapso de um volume de controle. No cálculo de volume colapsado deve ser descartado, obrigatoriamente, a compressibilidade do fluido de teste.
- b) A espuma colapsável consiste em um conjunto de esferas ocas dispersas em matriz de epóxi projetada de modo a colapsar dentro do envelope de colapso.

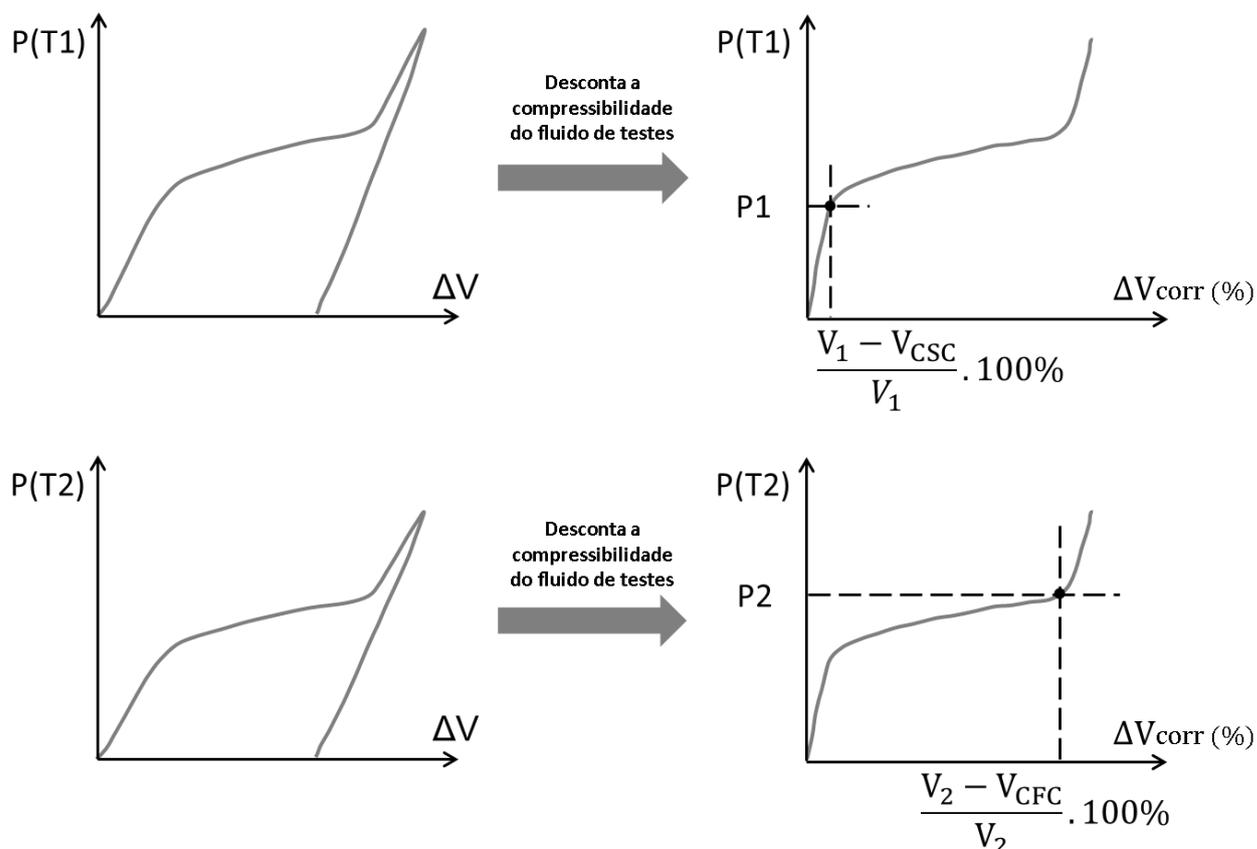


Figura 1 – Comportamento da Espuma durante o Colapso

- c) A Condição Final de Colapso (CFC), a ser definida na RM, consiste em uma pressão P_2 e uma temperatura T_2 acima das quais a espuma deverá estar consideravelmente colapsada.
- d) A Condição Sem Colapso (CSC), a ser definida na RM, consiste em uma pressão P_1 e uma temperatura T_1 abaixo das quais a espuma não pode ter sofrido colapso
- e) O percentual útil de colapso, p_{ut} , é definido como:

$$p_{ut} = \left(\frac{V_2 - V_{CFC}}{V_2} - \frac{V_1 - V_{CSC}}{V_1} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

Onde,

V_{CSC} é o volume na Condição Sem Colapso;

V_{CFC} é o volume na Condição Final de Colapso; e

V_1 e V_2 correspondem ao volume inicial da amostra ou da espuma em cada condição..

O percentual útil mínimo de colapso será definido na RM para cada envelope de colapso.

Os termos entre parêntesis podem ser obtidos a partir dos testes de colapso, conforme apresentado na figura 1.

- f) Deve ter compatibilidade química com os fluidos de perfuração e solventes apresentados no capítulo 9.
- g) Projetada para ciclar entre 4 °C e 80 °C, no mínimo 4 vezes e suportar a temperatura de trabalho de 125 °C sem alterar suas propriedades.
- h) Resistência ao cisalhamento conforme RM.

5 APLICAÇÃO DAS ESPUMAS

As espumas colapsáveis poderão ser aplicadas por colagem/envelopamento ou por moldagem sobre o tubo de revestimento. Em ambos os casos, a aderência mínima deve ser maior que a resistência da espuma obtida no teste de cisalhamento (*ring shear test*).

5.1 MONTAGEM COM ADESIVO (“COLA”)

- a) O adesivo deverá garantir que a interface espuma-tubo tenha resistência ao cisalhamento superior à da espuma, de modo a garantir que não seja um ponto frágil.
- b) O adesivo deverá ter compatibilidade química com os fluidos de perfuração apresentados no item 9.1, não afetando os demais requisitos.
- c) O adesivo não deverá adicionar restrições aos fluidos utilizados.
- d) O adesivo deve suportar 04 ciclos térmicos entre 4 °C e 150 °C mantendo o atendimento às demais especificações.
- e) O adesivo deverá manter a aderência nas condições de pressão e temperatura especificadas na RM.
- f) O fornecedor deve apresentar o procedimento de aplicação do adesivo de forma a garantir as condições de adesão sobre os tubos com uma dispersão inferior a 5% na condição de uso.
- g) Grau de limpeza da superfície: SA 2,5

5.2 CENTRALIZADORES

É recomendável que as espumas colapsáveis sejam montadas e permitam a instalação de centralizadores rígidos ou flexíveis integrais nas duas extremidades de cada tubo de revestimento.

O centralizador deverá estar em conformidade com a RM.

5.3 DISTRIBUIÇÃO

Os quadrantes das espumas deverão ser distribuídos ao longo dos tubos conforme definição da RM.

6 FORNECIMENTO

As seguintes condições devem ser atendidas para o fornecimento das espumas:

- a) Deve ser elaborado um PIT para aprovação pela Petrobras.
- b) Deve ser elaborado um FAT para aprovação da Petrobras.
- c) Somente poderá ser entregue após a emissão do CLM.
- d) As espumas devem possuir codificação de cor para cada envelope de colapso determinado.
- e) O nome do fabricante e lote de produção deve ser estampado em cada quadrante.

O fornecimento poderá ocorrer de três maneiras, conforme definido na RM, conforme itens a seguir.

6.1 FORNECIMENTO DE CONJUNTO TUBULARES COM ESPUMA COLAPSÁVEL COLADA COMO ITEM DE UM CONTRATO DE BENS

- a) O fornecedor de tubos de revestimento deverá entregar o conjunto de tubulares já com a espuma colapsável aderida aos mesmos.
- b) O conjunto de tubulares com espumas coladas deverá atender ao previsto na RM.
- c) O conjunto de tubulares deverá ser entregue acondicionado em berços, dentro de cestas, devidamente unitizadas e certificadas para transporte marítimo.

6.2 FORNECIMENTO DE TUBOS DE REVESTIMENTO E COLAGEM DAS ESPUMAS COMO ITEM DE CONTRATO DE SERVIÇOS

- a) O fornecedor utilizará o contrato de bens para os tubos de revestimento e o contrato de serviços para colagem da espuma colapsável.
- b) O tipo da espuma poderá ser especificado no momento da colocação do pedido do serviço de colagem, permitindo a utilização de espumas não previstas na RM.
- c) O conjunto de tubulares deverá ser entregue acondicionado em berços, dentro de cestas, devidamente unitizadas e certificadas para transporte marítimo.

6.3 FORNECIMENTO DAS ESPUMAS COLAPSÁVEIS E PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE COLAGEM DAS ESPUMAS NO REVESTIMENTO

- a) Os tubulares serão entregues pela PETROBRAS para colagem das espumas pelo fornecedor em local por este indicado, devendo este estar no território brasileiro e acessível por rodovias.
- b) O fornecedor deverá fornecer as espumas colapsáveis, conforme apresentado no item 4 e colar essas espumas, conforme apresentado no item 0.
- c) Deverão ser entregues acondicionadas em berços, dentro de cestas, devidamente unitizadas e certificadas para transporte marítimo.

7 DOCUMENTAÇÃO

Os documentos descritos a seguir são escopo de fornecimento e devem estar disponíveis para análise e aprovação técnica. Todos os documentos devem ser disponibilizados em meio eletrônico, no formato PDF.

- a) Memória de cálculo do dimensionamento das espumas.
- b) Desenho do tubo-espumas, contendo dimensões e folgas com detalhamento suficiente para simulações de hidráulica do poço.
- c) *Data book* contendo certificação do material, com dados de inspeção e rastreabilidade, descrição e comprovantes dos resultados dos testes realizados, normas e padrões utilizados para qualificação do produto, o plano de inspeção e testes e os resultados do controle de qualidade realizado pelo fornecedor.

8 INSPEÇÃO E TESTES

8.1 REQUISITOS DE QUALIFICAÇÃO

- a) Deverão ser apresentados comprovantes de qualificação das espumas para garantir a conformidade com as normas reguladoras e adequação às condições previstas para transporte, armazenagem, instalação e operação.
- b) Os testes hidrostáticos de pressão de cisalhamento das espumas deverão seguir, no que couber e complementarmente, normas e padrões internacionais de aceitação e qualificação.
- c) A Petrobras pode solicitar, a qualquer momento, o acesso de seu corpo técnico às instalações do fornecedor para acompanhamento e inspeção do processo de fabricação e qualificação das espumas.
- d) A critério da Petrobras, o acompanhamento e inspeção do processo de fabricação e qualificação das espumas poderá ser feito por terceiros.
- e) O gerenciamento dos riscos e incertezas relacionados à confiabilidade e integridade, ao longo de todo o de projeto, deve atender à norma **API 17N**.
- f) Deverão ser realizados testes de compatibilidade química da espuma com os fluidos informados no item 9.1 para a manutenção das suas propriedades mecânicas e em conformidades com as normas **ISO 23936-1, ISO 23936-2, ISO 1817, ASTM D3045 e ASTM D573**.
- g) Os relatórios gerados são parte integrante do escopo de fornecimento.

8.2 PROCEDIMENTO DE TESTE PARA DETERMINAÇÃO DE VOLUME COLAPSADO DE ESPUMA

8.2.1 Objetivo

Este procedimento tem como objetivo a determinação experimental da curva de pressão x variação de volume percentual de uma amostra de espuma colapsável para mitigação de APB

8.2.2 Amostragem

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº	ET-2000.00-1210-780-PPQ-001	REV.	A
	DP&T/POCOS			FOLHA	10 de 16
	TÍTULO: Espuma Colapsável para Mitigação de APB			NP-1	
			POCOS/CTPS/QC		

As amostras devem ser coletadas de modo aleatório entre os quadrantes produzidos, garantindo que o início, o meio e o final da batelada sejam avaliados. A quantidade dos corpos de prova deve estar conforme a API SPEC Q1/ISO TS 29001.

8.2.3 Preparação da Amostra

A amostra para o ensaio de colapso deve ser cortada em corpos de prova com comprimento e largura superiores a 2 cm e espessura igual à espessura dos quadrantes.

8.2.4 Materiais

- **Vaso de pressão** – vaso capaz de suportar a pressão máxima de teste, de acordo com a faixa de pressão a ser testada, com volumes mínimo de 200 ml e máximo de 300 ml, contendo controle de temperatura de +/- 1 °C.
- **Bomba de pistão** – bomba capaz de injetar com vazão controlada, registro de pressão e registro de volume injetado, com precisão igual ou inferior a 1% nas leituras efetuadas
- **Picnômetro de bronze** de 50 ou 100 ml de capacidade ou picnômetro de bronze.
- **Balança** com precisão de 0,01 g ou superior.

8.2.5 Procedimento Experimental

a) Determinação do volume inicial dos corpos de prova.

- Como os corpos de prova não são totalmente regulares, não é possível medir seu volume por meio da medida das suas dimensões. Em razão disso, o volume inicial deve ser determinando por meio da massa medida de cada corpo individualmente e da densidade média dos corpos obtida com o uso de um picnômetro, conforme a ISO 1183-1, método B ou conforme a ISO 1183-3.

b) Ensaio de colapso

- colocar os corpos de prova de massa previamente conhecida no vaso de pressão, de modo a preencher, pelo menos, ¼ do volume do vaso;
- completar o volume do vaso com água. Fechar as linhas e purgar com água. Pressurizar as linhas com até 100 psi;
- ligar o aquecimento até a temperatura de teste e aguardar a estabilização da temperatura, mantendo a pressão por meio do sistema;
- iniciar o aumento da pressão até 9.000 psi, mantendo uma taxa igual ou inferior a 200 psi/min;
- reduzir a pressão com a taxa de 200 psi/min até 100 psi;
- desligar o aquecimento e aguardar o sistema esfriar. Em seguida, despressurizar as linhas.

Variações de temperatura durante o teste devem ser evitadas porque influenciam no resultado do volume injetado devido à dilatação do fluido (água). Portanto, após o fim do aquecimento, deve-se aguardar tempo suficiente para que não haja variações de temperatura.

Durante o teste devem ser registradas as seguintes informações em função do tempo de ensaio:

- pressão do vaso;
- temperatura do vaso;
- volume injetado.

8.2.6 Interpretação dos Resultados

A curva de volume injetado x pressão obtida experimentalmente a uma dada temperatura, como ilustrado na **figura 2**, deve ser convertida em $p \times \Delta V$. Para isso, deve-se descontar a compressibilidade do sistema, que é obtida pela curva descendente (curva tracejada).

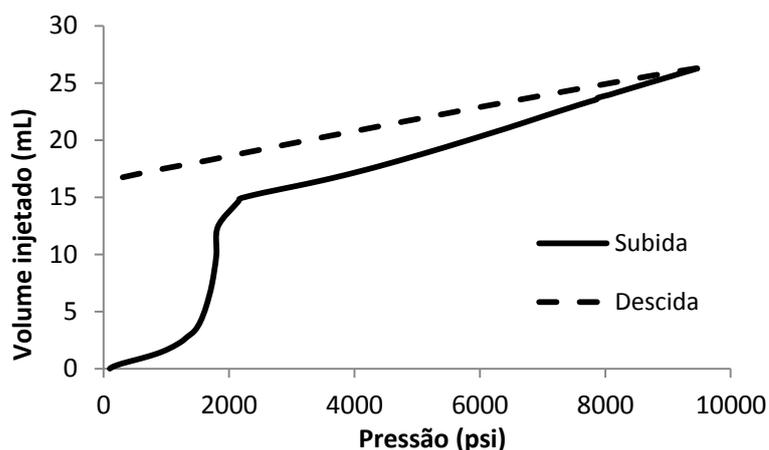


Figura 2 – Exemplo de gráfico $p \times \Delta V$ obtido experimentalmente

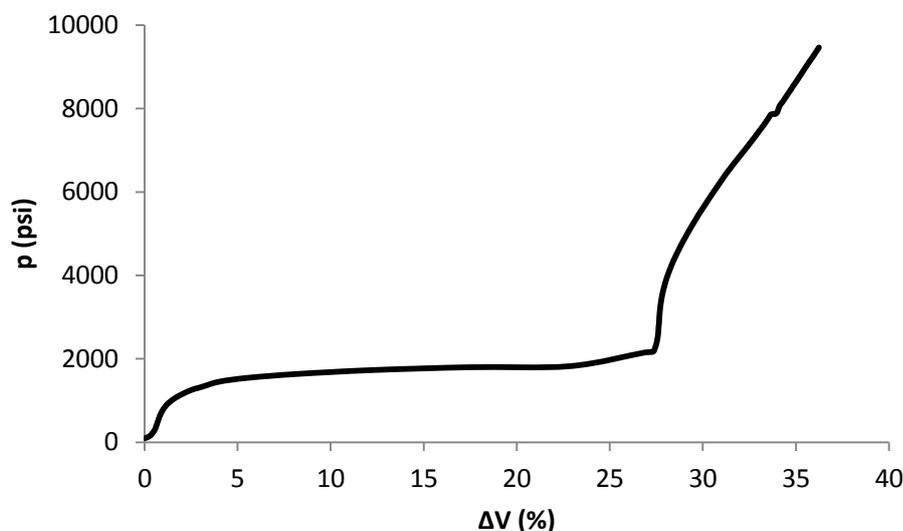


Figura 3 – Exemplo de gráfico p x ΔV(%)

Com base no volume inicial de amostra calculado no item (a) do procedimento experimental, obtém-se a curva de pressão x ΔV(%), como mostrado na **figura 3**.

Para obtenção do percentual útil de colapso, utiliza-se a seguinte equação, equivalente à equação (1):

$$p_{ut} = \Delta V(\%)(P2, T2) - \Delta V(\%)(P1, T1) \quad (2)$$

onde:

$\Delta V(\%)(P2, T2)$ é a redução percentual de volume na Condição Final de Colapso, descontada a compressibilidade do fluido.

$\Delta V(\%)(P1, T1)$ é a redução percentual de volume na Condição Sem Colapso, descontada a compressibilidade do fluido.

8.3 REQUERIMENTOS PARA LIBERAÇÃO DE PRODUÇÃO

- A cada corrida da mistura da espuma deverá ser realizado um teste hidrostático de pressão, conforme item 8.2, de modo a garantir o atendimento às condições de colapso (pressão e temperatura) previstas na RM. Podem ser utilizados materiais ou procedimentos ligeiramente diferentes dos apresentados, mediante aprovação prévia da Petrobras.
- Deve ser elaborado um PIT de fabricação adequado para garantir, durante a produção, as características da amostra qualificada.

- c) O CLM deve atestar que todas as variáveis de fabricação foram verificadas, corrigidas e aprovadas.
- d) Qualquer modificação nas especificações do produto deverá ser comunicada à Petrobras para decisão sobre a sua aceitação.

8.4 EMBALAGEM

Os tubos com as espumas coladas deverão ser entregues em cestas apropriadas para transporte e armazenagem. Cada cesta deve possuir as seguintes informações visíveis:

- Número de pedido de compra;
- Item do pedido de compras;
- Fabricante ou fornecedor;
- Modelo;
- Lote de fabricação;
- Quantidade na cesta;
- Fotos ou desenhos de um exemplar;
- Dimensões e pesos líquido e bruto da cesta;
- Informações sobre manuseio e transporte;
- Indicador passivo de impacto e registro de temperatura máxima e mínima
- Cada cesta deve possuir apenas modelos de um mesmo tipo. Não devem ser entregues modelos diferentes em uma mesma cesta.

9 COMPATIBILIDADE QUÍMICA

9.1 Fluidos de Perfuração Base Óleo

Componente	Função	Concentração
N-parafina	Fase contínua	0,56 (v/v)
Ac. Graxos	Emulsificante primário	22,9 kg/m ³
Ác. Graxo aminado	Emulsificante	11,4 kg/m ³
Sol. NaCl saturado	Fase emulsionada	0,32 (v/v)
Sol Cloreto de Cálcio	Modificador de pH	34,3 kg/m ³
Lignina organofílica	Redutor de filtrado	22,9 kg/m ³
Argila organofílica	Viscosificante	17,2 kg/m ³
Ac. Graxo em parafina	Modificador Reológico	5,7 kg/m ³

CaCO ₃	Tamponador	85,8 kg/m ³
Baritina	Adensante	663,2 kg/m ³

Tabela 1 – Fluido de Perfuração Base Óleo

9.2 Fluidos de Perfuração Base Água

NaCl		9,8 a 10,4	ppg
NaHSO ₃		0,459	gpt
Glutaraldeido		0,534	gpt
Preventor Emulsão		2,012	gpt
Água Doce		excipiente	

Tabela 2 – Fluido de Perfuração Base Água

9.3 Solventes

Solventes
Xileno
Butil Glicol
Mistura dos acima

Tabela 3 – Solventes

10 PARÂMETROS DE PROJETO

Os seguintes dados deverão ser fornecidos para o cálculo do volume de espuma a ser adquirido:

- Temperatura máxima durante a cimentação;
- Pressão máxima correspondente à temperatura máxima;
- Pressão na qual as espumas precisam começar a colapsar para aliviar a pressão no anular (tolerância de ± 500 psi);
- Temperatura na qual deve ter início o colapso da espuma, correspondente à pressão do item anterior;
- O volume de colapso requerido para promover o alívio da pressão no anular considerado;



ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

Nº

ET-2000.00-1210-780-PPQ-001

REV.

A

DP&T/POCOS

FOLHA

15 de 16

TÍTULO:

Espuma Colapsável para Mitigação de APB

NP-1

POCOS/CTPS/QC

- f) Diâmetro(s) externo(s) do(s) revestimento(s) interno(s);
- g) Diâmetro(s) interno(s) do(s) revestimento(s) externo(s);
- h) Espaço livre (folga) mínimo entre o revestimento externo e o revestimento interno com a espuma colapsável instalada para circulação de fluido pelo anular;
- i) Comprimento livre necessário entre as espumas coladas nos tubos de revestimento para manuseio e enroscamento dos tubos;

Qualquer informação adicional que possa ser considerada relevante para o projeto e para a instalação das espumas.

11 AUTORES

Segue abaixo, em ordem alfabética, a relação dos técnicos que participaram da elaboração desta Especificação Técnica.

- Alexandre Thomaz Borges - POÇOS/CTPS/DT
- Aline Souza do Vale Lessa Ribeiro - POÇOS/SPO/PEP/PROJ-EP
- Bianca Pessoa da Silva Malta - LIBRA/SOE/PM/PROJ-PO
- Carlos Henrique Marques de Sá - POÇOS/CTPS/DT
- Cristiano Eduardo Agostini - POÇOS/CAMAP-AUP/PROJ/PROJ-SAN
- Hugo Francisco Lisboa Santos - CENPES/PDDP/PCP
- João Paulo Sanseverino Abdu - POÇOS/CAMAP-AR-AP/PROJ/PROJ-RIO
- José Marcelo Silva Rocha - CENPES/PDDP/FCE
- Mauricio Gimenes Folsta - POÇOS/CAAP-EX/PROJ/PROJ-NENOP
- Renato Pereira Brito - POÇOS/SPO/PEP/PROJ-EP