

PROJETO DE ASSENTAMENTO DE COLUNAS DE REVESTIMENTO DE POÇOS UTILIZANDO O CRITÉRIO DA JANELA OPERACIONAL

Bianca Gabriel de Souza^[1]; Felipe Barreiros Gomes^[2]; Felipe Reis e Silva^[3]; Hariel Udi Santana Mendes^[4]; João Paulo Lobo dos Santos^[5]

^[1] Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo – bianca.sba@hotmail.com

^[2] Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo – barreiros.felipe93@gmail.com

^[3] Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo – felipe.280293@gmail.com

^[4] Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo – harieludi@hotmail.com

^[5] Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo – jplobo2011@gmail.com

RESUMO

A elaboração do projeto de poço é uma das etapas mais importantes da perfuração. Durante essa fase, é feita a análise das geopressões e determinação das curvas de gradientes de sobrecarga, poros e fratura. A partir dessas curvas, a janela operacional é definida e várias características do poço são determinadas, como, por exemplo, profundidade de assentamento de sapatas, pesos dos fluidos de perfuração, dimensionamento dos revestimentos, escolha do BOP, custos e tempo gastos na perfuração. A importância da determinação da janela operacional deve-se ao fato de que o fluido de perfuração precisa estar limitado, superiormente, pela curva de gradiente de fratura e, inferiormente, pelas curvas de gradiente de colapso inferior e poros, pois o excesso de peso de fluido pode gerar fratura da formação e perda de circulação do poço e o baixo peso de fluido pode gerar cascalhos desmoronados. Além disso, pode-se reduzir e/ou evitar custos excessivos, perda de tempo e acidentes durante o processo. Diante disso, esse trabalho elabora um projeto de poço de petróleo com assentamento de sapatas com base na janela operacional, sendo definidos os pesos dos fluidos, diâmetros dos revestimentos e pressão do BOP.

Palavras-chave: Geopressões; Janela Operacional; Assentamento de Sapatas; Peso dos Fluidos.

1. INTRODUÇÃO

Um poço de petróleo é perfurado em várias fases, as quais devem ser revestidas e cimentadas. O número de fases de cada poço irá depender de características como profundidade, número de zonas perfuradas e, principalmente, da análise das geopressões da área a ser perfurada [1].

Sabe-se que a utilização de estratégias inadequadas no processo de perfuração de poços tem encaminhado para problemas diversos. Com isso, a elaboração de um projeto para perfuração de poços de petróleo, analisando as geopressões é de fundamental importância para que haja êxito na perfuração, pois muitos problemas são relacionados às pressões de colapso, de poros, de fratura e de sobrecarga, as quais formam a janela operacional de um poço [2].

Esse trabalho apresenta o resultado de pesquisa bibliográfica, enfocando as principais ideias apresentadas pelos autores fundadores do

aporte teórico na questão das pressões que compõem a janela operacional, dentre eles, [1,2,3] que explanam como estimar os gradientes, analisá-los, fazer o assentamento de sapatas de um poço de petróleo e o dimensionamento de alguns parâmetros como peso de fluido e BOP (*Blowout Preventer*).

Diante disso, o objetivo desse trabalho é a determinação da profundidade de assentamento das sapatas dos revestimentos em um poço de petróleo analisando suas curvas das geopressões e a montagem de um projeto de poço seguro, além de definir os pesos de fluidos de perfuração para cada fase da perfuração, os diâmetros dos revestimentos utilizados e dimensionamento do BOP.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho é uma revisão bibliográfica sobre geopressões e assentamentos de sapatas, visando a elaboração de um projeto de assentamento de sapatas baseado apenas na janela operacional para um poço usando os seguintes dados do poço de correlação: lâmina d'água: 1000m; Profundidade: 4500m; *Air Gap*: 25 m; Valores de LOT dos poços de correlação: 11,1 lb/gal @2000 m; 12,1 lb/gal @3000 m e 15,4 lb/gal @4000 m. Também são utilizados os dados da Tabela 1, que relacionam profundidade com tempo de trânsito.

Prof. (m)	ΔT ($\mu s/ft$)	Prof. (m)	ΔT ($\mu s/ft$)	Prof. (m)	ΔT ($\mu s/ft$)	Prof. (m)	ΔT ($\mu s/ft$)	Prof. (m)	ΔT ($\mu s/ft$)
1200	165	1900	132	2600	92	3300	82	4000	102
1250	158	1950	126	2650	89	3350	79	4050	110
1300	155	2000	123	2700	76	3400	85	4100	105
1350	148	2050	125	2750	85	3450	80	4150	115
1400	149	2100	124	2800	77	3500	90	4200	108
1450	145	2150	121	2850	81	3550	89	4250	106
1500	142	2200	118	2900	75	3600	87	4300	105
1550	141	2250	119	2950	74	3650	95	4350	103
1600	149	2300	115	3000	78	3700	96	4400	102
1650	140	2350	105	3050	76	3750	98	4450	101
1700	138	2400	104	3100	80	3800	100	4500	99
1750	137	2450	110	3150	77	3850	105		
1800	135	2500	99	3200	81	3900	99		
1850	133	2550	93	3250	78	3950	110		

Tabela 1 – Dados de profundidade e tempo de trânsito.

O critério utilizado nesse trabalho leva em consideração apenas a janela operacional formada pelos limites inferiores e superiores dos gradientes de pressão de poros, fratura e colapso, podendo ou não considerar uma margem de segurança de 0,5 lb/gal entre os limites da janela, utilizando ou não mais de uma margem (uma para o limite inferior e outra para o limite superior) [3].

O assentamento das sapatas deve ser feito de baixo para cima traçando uma seta vertical do maior ponto de gradiente de poros para cima até tocar o limite superior (gradiente de fratura). Nessa profundidade deve ser assentada uma sapata. O procedimento deve ser continuado a partir dessa profundidade. A seta vertical indica o máximo peso de fluido que deve usado na perfuração da fase [3].

Para determinar o gradiente de sobrecarga, deve-se obter, inicialmente, a partir dos dados da Tabela 1, a densidade de cada camada. Para isso, usar-se-á o Método de Gardner [3] por meio da equação (1).

$$\rho_b = a \left(\frac{10^6}{\Delta t} \right)^b \quad (1)$$

Onde ρ_b é densidade total da formação (g/cm^3); a é a constante empírica (valor usual igual a 0,23, definido para o Golfo do México); b é o expoente empírico (valor usual igual a 0,23, definido para o Golfo do México); e Δt , o tempo de trânsito ($\mu\text{s/ft}$).

Em seguida, deve-se estimar a pressão de sobrecarga de cada camada, usando a equação:

$$\sigma_{OV} = 1,422(\rho_W D_W + \sum_0^n \rho_{bi} \Delta D_i), \quad (\text{psi}) \quad (2)$$

Sendo ρ_{bi} a densidade de cada camada da formação (g/cm^3) e ρ_W , a densidade da água do mar (foi assumido $1,03 \text{ g/cm}^3$); D_W representa a espessura da lâmina d'água em metros; ΔD_i , o intervalos de profundidade em metros; e, σ_{OV} , a pressão de sobrecarga.

O gradiente de sobrecarga será estimado por meio da equação:

$$G_{OV} = \frac{\sigma_{OV}}{C \times D} \quad (3)$$

Onde G_{OV} é o gradiente de sobrecarga (*overburden* gradiente); σ_{OV} , a pressão de sobrecarga em psi; D é a profundidade vertical em metros; e, C , a constante de conversão de unidades igual a 0,1704.

O coeficiente angular m é obtido através de um gráfico *semilog* de Profundidade x Tempo de Trânsito que foi plotado através dos dados da Tabela 1, em que dois pontos da reta serão selecionados, os quais estão entre as profundidades de 1000 e 3000m, pelo fato de se encontrarem em um intervalo normalmente pressurizado.

A equação para encontrar o coeficiente angular m é:

$$m = \frac{\log(\Delta t_2) - \log(\Delta t_1)}{D_2 - D_1} \quad (4)$$

Em seguida, faz-se o cálculo do tempo de trânsito normalizado:

$$\Delta t_n = \Delta t_1 \cdot 10^{m(D - D_1)}, \quad \left(\mu \frac{\text{s}}{\text{ft}} \right) \quad (5)$$

Para determinar o gradiente de poros, o Método de Eaton [3] será usado, por meio da equação (6). Foi utilizado um expoente 2 para melhor ajuste da janela operacional.

$$G_p = G_{OV} - \left[(G_{OV} - G_N) \times \left(\frac{\Delta t_N}{\Delta t_o} \right)^{2,0} \right] \quad (6)$$

Em que G_p é o gradiente de pressão de poros em lb/gal; G_N , o gradiente de pressão de poros normal em lb/gal; Δt_o , tempo de trânsito observado; e Δt_N o tempo de trânsito normal.

Um valor de gradiente de poros com margem de segurança também é calculado, adicionando 0,5 lb/gal ao valor encontrado.

Para determinar a pressão e gradiente de fratura, deve-se usar a correlação existente entre as tensões efetivas horizontais mínimas – no caso de não haver a tensão mínima, usa-se a pressão de absorção – e a vertical, definida por K [3]. De acordo com a seguinte equação, serão usados os três valores de LOT disponíveis para cálculo do K :

$$K = \frac{P_A - P_P}{\sigma_{OV} - P_P} \quad (7)$$

Sendo P_A a pressão de absorção utilizada como uma “aproximação” da tensão horizontal mínima (LOT).

Dessa forma, para diferentes tipos de formações, pode-se estabelecer correlações para K versus profundidade, determinando, assim, um valor de K para cada ponto de profundidade. Em seguida, a partir do gráfico, será possível encontrar os valores de a e b da seguinte equação, permitindo fazer a estimativa de K ao longo de todo o poço.

$$K = a \times \ln(D_s) + b \quad (8)$$

Onde D_s é a profundidade de sedimentos e, a e b , os parâmetros de ajuste.

Com os valores de K , será possível calcular o gradiente fratura [3] de cada profundidade usando a seguinte equação:

$$G_F = G_P + K(G_{OV} - G_p) \quad (9)$$

Para o projeto será verificado o diferencial de pressão mínimo permitido (2000 psi) entre poço e formação, expresso pela equação:

$$\Delta P = 0,1704 * (\rho_{mud} - G_p) * D \quad (10)$$

Em seguida, será feita a escolha do peso do fluido. O peso ideal é a média entre as pressões de poros e de fratura, sendo igual à tensão horizontal [3], definido pela seguinte equação:

$$\sigma_H = \frac{P_p + P_F}{2} \quad (11)$$

Com isso, tomando por base a janela operacional, pode se determinar o peso do fluido para cada fase do poço.

A escolha dos diâmetros dos revestimentos é feita de baixo para cima. No projeto do poço do presente trabalho, o revestimento da fase de produção será de 7 in. Então, deve-se analisar os valores tabelados para os revestimentos seguintes [3].

Após o assentamento das sapatatas, será feita a escolha do BOP, a qual pode ser feita baseada no gradiente de poros máximo e no gradiente de pressão de fratura, como mostram as equações a seguir:

- Baseado no gradiente de poros:

$$P_{BOP} = 0,1704 * D_h * G_{p \max} - P_{H \text{ gas}} \quad (12)$$

$$P_{H \text{ gas}} = 0,1704 * (D_h - D_{BOP}) * \rho_{gas} \quad (12.1)$$

Onde $P_{H \text{ gas}}$ é a pressão exercida pela coluna hidrostática de gás; $G_{p \max}$ é o gradiente de pressão de poros que leve ao máximo valor na superfície em lb/gal; ρ_{gas} , a densidade do gás em lb/gal; D_{BOP} , a profundidade do BOP, nesse caso igual à lâmina d'água; e D_h a profundidade do $G_{p \max}$ em metros.

- Baseado no gradiente de fratura:

$$P_{BOP} = 0,1704 * D_{cg} * G_F - P_{H \text{ gas}} \quad (13)$$

$$P_{H \text{ gas}} = 0,1704 * (D_{cg} - D_{BOP}) * \rho_{gas} \quad (13.1)$$

Onde G_F é o Gradiente de fratura na sapata do revestimento em lb/gal; e D_{cg} é a profundidade da sapata em metros.

É importante ressaltar que os BOP's são fabricados em ranges de pressão de 5000, 10000 e 15000 psi [3]. Com isso, é importante escolher o BOP que suporte as pressões de poros máxima e de fratura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os resultados da estimativa do K apresentado nas equações (7) e (8).

Profundidade	Gp (lb/gal)	LOT	Gov (lb/gal)	K	Informações Obtidas
2000	8,08	11,1	12,61	0,6667	a = 0,1663
3000	3,74	12,1	14,87	0,7511	b = -0,4866
4000	11,15	15,4	16,1	0,8586	K = a*ln(Ds)+b

Tabela 2: Estimativa da constante K.

A partir das equações (1-9), foi possível montar a janela operacional do projeto proposto. Nesse projeto, o revestimento condutor foi assentado a 1050 m e o revestimento superficial foi assentado a 1550 m, usando a recomendação da literatura quanto à extensão [3]. O revestimento de produção foi assentado a 4500 m.

Foi levado em conta o máximo diferencial de pressão permitido entre poço e formação de 2000 psi. Utilizando a equação 10 e um peso de fluido de 9,28 lb/gal – valor obtido pelo

gradiente de poros a 1600 m, com uma margem de segurança 0,5 lb/gal – para cálculo do diferencial, obteve-se que, para a profundidade de 2700 m, o diferencial de pressão ΔP é igual a 3284,97 psi, o que ultrapassou o máximo permitido pela empresa.

Pela janela operacional com margem de segurança em poros, percebe-se um pico no gradiente de poros de 13,01 lb/gal a 4150 m. Tangenciando esse valor do fundo do poço e subindo até tocar no gradiente de fratura, obtêm-se a profundidade de assentamento do segundo revestimento intermediário como 3200 m. No entanto, como será discorrido posteriormente, optou-se por colocá-lo a 3350 m, visto que não apresentaria riscos de fratura da formação. A janela operacional é mostrada na Figura 1.

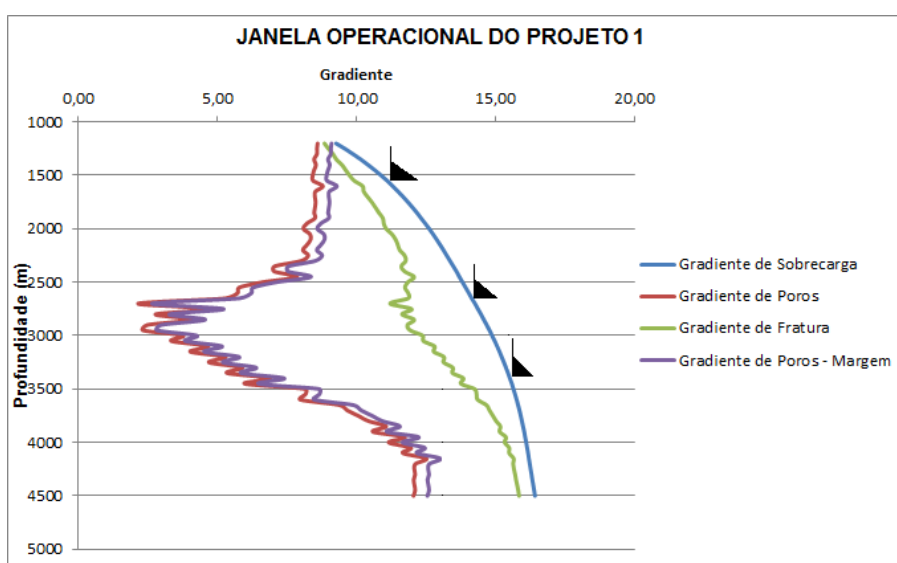


Figura 1: Janela Operacional com assentamento de sapatas para o Projeto 1.

É verificado que, pelo critério de janela operacional, não é possível seguir assentando sapatas, haja vista a zona com gradiente de poros muito baixo que é apresentada no intervalo de 2550 m a 3450 m. Portanto, o método que será instrumento de critério será o de Diferencial de Pressão.

Abaixo da sapata assentada a 2650 m, se prosseguiu o cálculo do diferencial de pressão utilizando um peso de fluido de 6,5 lb/gal. Esse peso de fluido foi estimado tendo como critério o valor dos gradientes apresentados abaixo da profundidade da sapata e dentro de um intervalo específico de profundidade.

O ideal seria estimar um peso de fluido para cálculo do diferencial como sendo o maior valor de pressão de poros abaixo da sapata. Tal estimativa respeitaria a margem de segurança além de impossibilitar um eventual *kick*. No entanto, o gradiente de poros apresenta uma variação muito grande abaixo da sapata (desde 2,14 ppg até 12,04 ppg).

Diante disso, a solução encontrada foi ajustar o assentamento da sapata obtida pelo método da Janela Operacional um pouco mais abaixo do que apontado pelo método, possibilitando um peso de fluido baixo na zona anormalmente baixa especificamente, no intervalo de 2700 m a 3350 m.

Com a nova sapata assentada, o critério do diferencial foi verificado e se percebeu que num intervalo de 200 m, o diferencial de pressão ainda é muito alto. A sugestão apresentada é que se utilizem inibidores de filtrado para evitar a prisão da coluna por diferencial de pressão. Tal proposta se dá pela inviabilidade de se aumentar o custo de um projeto por assentar um terceiro revestimento intermediário em um trecho tão pequeno.

Com utilização da equação 13 e baseando no gráfico da janela operacional, pode-se obter o peso de fluido indicado para cada fase, conforme mostrado na Tabela 3. Também foram definidos os diâmetros utilizados na perfuração de cada fase e o diâmetro de cada revestimento correspondente, através de dados da literatura [3].

Fase	Profundidade (m)	Peso do Fluido	Diâmetro do Revestimento
1ª Fase – Revestimento Condutor	1000 – 1050	8,5 lb/Gal	30’’
2ª Fase (Broca de 26’’) – Revestimento de Superfície	1050 – 1550	8,8 lb/Gal	20’’
3ª Fase (Broca de 17 ½’’) – Revestimento Intermediário (1)	1550 – 2650	7,5 lb/Gal	13 3/8’’
4ª Fase (Broca de 12 ¼’’) – Revestimento Intermediário (2)	2650 – 3350	6,5 lb/Gal	9 5/8’’
5ª Fase (Broca de 8 ½’’) – Revestimento de Produção	3350 – 4500	12,7 lb/Gal	7’’

Tabela 3: Peso de fluido para cada profundidade.

O BOP foi dimensionado para o projeto seguindo o critério baseado no gradiente de poros, utilizando as equações 12 e 12.1, onde foi obtido:

$$P_{H\ gas} = 1184,28\ psi\ e\ P_{BOP} = 8091,79\ psi$$

Como só existem BOP no range de 5000, 10000 e 15000 psi, o BOP escolhido será o de 10000 psi.

4. CONCLUSÕES

Pode-se elaborar um projeto de assentamento de sapatas de revestimento utilizando o critério da Janela Operacional com margem de segurança para o gradiente de poros. Durante o

assentamento das sapatas, foi possível a avaliação dos riscos que um peso de fluido e profundidade de assentamento inadequados poderiam causar.

Ao final do assentamento de sapatas, pode-se analisar qual BOP, diâmetros dos revestimentos e peso de fluido que deveriam ser utilizados no projeto.

Verificou-se que, em relação ao assentamento de sapatas, o critério de Diferencial de Pressão se mostrou mais relevante para a segurança do poço, quanto ao BOP, o dimensionamento por métodos distintos acarretou na escolha de um mesmo equipamento. Em relação à estimativa do peso de lama ótimo, em certos intervalos, o valor foi previamente fixado no assentamento por questões de segurança, além de se sugerir certas medidas para o prosseguimento da perfuração.

5. REFERÊNCIAS

- [1] SILVA, Daniel Soares. **Estudo de Geopressões e Assentamento de Sapatas de Revestimento**. Natal: UFRN, 2015.
- [2] PEREIRA, Bruno César Murta. **Proposta para Metodologia para uma Estimativa de Geopressões**. Rio de Janeiro, 2007.
- [3] ROCHA, L. A. S.; AZEVEDO, C. T. **Projetos de Poços de Petróleo: Geopressões e assentamento de colunas de revestimento**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2009.