

ELABORAÇÃO DE PROJETO DE POÇO UTILIZANDO O CRITÉRIO DE TOLERÂNCIA AO KICK

Ianna Batista Cabral ^[1]; Arthur Anthunes Ribeiro Bastos dos Santos ^[2]; MSc. João Paulo Lobo dos Santos ^[3]; Hariel Udi Santana Mendes ^[4]

^[1] *Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo -ianna_cabral@hotmail.com*

^[2] *Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo -arthur.anthunes@hotmail.com*

^[3] *Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo -jplobo2011@gmail.com*

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

Resumo

A elaboração do projeto de poços de petróleo é uma das etapas de maior importância durante a fase da perfuração. A preocupação para com a elaboração destes projetos de poços é extremamente relevante. Sabe-se que, cerca de 20% do tempo de operação com sonda está relacionado à resolução de problemas não-previstos em projeto. Durante essa fase é feita a análise das geopressões, bem como a determinação das curvas de gradientes de sobrecarga, poros e fratura. A partir destas curvas, a janela operacional é definida e várias características do poço são determinadas, a exemplo da profundidade de assentamento de sapatas, pesos dos fluidos de perfuração, dimensionamento dos revestimentos, escolha do BOP, custos e tempo gastos na perfuração. Diante disso, esse trabalho elabora um projeto de poço utilizando o critério de tolerância ao kick, além de usar um critério de máximo diferencial de pressão sendo definidas as profundidades de assentamentos de sapatas, pesos dos fluidos, diâmetros dos revestimentos, dimensionamento do BOP e tempo gastos nos respectivos projetos.

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

1. INTRODUÇÃO

Para a indústria do petróleo a área da perfuração é essencial para o bom andamento da exploração de petróleo. Esta etapa, necessita de grandes investimentos, visto que para perfurar um poço, uma extensa programação e realização de estudos são necessários, juntamente com um conjunto de equipamentos, além de um conhecimento detalhado das condições geológicas de uma determinada região [1]. O estudo da perfuração é indispensável para o desenvolvimento da exploração de óleo e gás, principalmente da coluna de perfuração e seus componentes.

A grande dependência dos produtos derivados do petróleo somada à crescente demanda pelo seu uso energético acarreta no grande consumo, que por sua vez cria a necessidade de investir na perfuração de novos poços de petróleo a fim de repor as reservas já utilizadas.

Diante disso, o objetivo desse trabalho é a determinação de projetos de poços que objetivem a profundidade de assentamento das sapatas dos revestimentos analisando suas curvas de geopressões atendendo aos requisitos de segurança e custo. Do ponto de vista metodológico, este trabalho se enquadra em uma pesquisa qualitativa descritiva desenvolvida por meio de planejamento e montagem de projeto de poço, que pretende estabelecer, uma

colaboração aos estudantes e profissionais da indústria de petróleo preocupados com a temática e que anseiam desenvolver estratégias viabilizadoras do desenvolvimento, em segurança, de projeto de perfuração de poços de petróleo.

2. METODOLOGIA

Para a fundamentação do projeto de poço foi necessário a elaboração de dois projetos de assentamento de sapatas, cálculo para a escolha de seus respectivos BOP's, a definição do peso de fluido adequado para cada um dos projetos, acepção dos diâmetros de revestimento e da broca a ser utilizada, assim como o tempo de perfuração de cada uma das fases estabelecidas.

2.1 Dados do projeto:

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os dados do projeto.

Tabela 1: Dados de Projeto. Adaptado de [2].

Lâmina d'água:	1 175 metros
Profundidade final:	4 700 metros
Air gap:	25 metros
Gradiente normal da formação:	8,5 lb/Gal
Valores de Leak off Test para a área são:	11,1 lb/gal a 2 000 metros 12,3 lb/gal a 3 000 metros 15,4 lb/gal a 4 000 metros
Altura do kick:	95 metros
Densidade do fluido invasor:	2 lb/gal;
Tolerância ao kick diferencial mínima:	0,5 lb/Gal

Tabela 02: Dados de tempo em trânsito de sísmica. Adaptado de [2].

Profundidade (m)	ΔT (ms/m)	Profundidade (m)	ΔT (ms/m)	Profundidade (m)	ΔT (ms/m)	Profundidade (m)	ΔT (ms/m)
1400	165	2250	125	3100	75	3950	98
1450	158	2300	124	3150	74	4000	100
1500	155	2350	121	3200	78	4050	105
1550	148	2400	118	3250	76	4100	99
1600	149	2450	119	3300	80	4150	110
1650	145	2500	115	3350	77	4200	102
1700	142	2550	105	3400	81	4250	110
1750	141	2600	104	3450	78	4300	105
1800	149	2650	110	3500	82	4350	115
1850	140	2700	99	3550	79	4400	108
1900	138	2750	93	3600	85	4450	106
1950	137	2800	92	3650	80	4500	105
2000	135	2850	89	3700	90	4550	103
2050	133	2900	76	3750	89	4600	102
2100	132	2950	85	3800	87	4650	101
2150	126	3000	77	3850	95	4700	99
2200	123	3050	81	3900	96		

2.2 Elaboração da Janela Operacional

A janela operacional se dá à variação permitida para a pressão exercida pelo fluido de perfuração dentro de um poço, de forma a manter a integridade deste, respeitando as pressões de poros, fratura e colapso [2].

Para a elaboração da janela operacional, foram calculados os gradientes de sobrecarga

de poros e de fratura e executadas as suas representações gráficas. O desenvolvimento desses gradientes se fez possível em decorrência da obtenção de dados de tempos de trânsito de sísmica, adaptados de [2], em função da profundidade do poço.

2.2.1 Gradiente de Sobrecarga

A curva de gradiente de sobrecarga (G_{ov}) foi obtida por meio da equação (1), o que se faz necessário o conhecimento da tensão de sobrecarga (σ_{ov}), dada pela equação (2), e conseqüentemente da densidade da formação (ρ), sendo essa desenvolvida por meio da Correlação de Gardner que se refere à equação (3).

$$G_{ov} = \frac{\sigma_{ov}}{C * D} \quad (1) \quad \sigma_{ov} = 1,422 * (\rho_w * D_w + \sum_i^n \rho_{bi} * \Delta D_i) \quad (2)$$

Onde: ρ_{bi} é a densidade de cada camada da formação (g/cm^3); ρ_w é a densidade da água no mar (g/cm^3); D_w é a profundidade vertical da lâmina d'água (m); ΔD_i é o intervalos de profundidade (m); C é a constante de conversão de unidades (no presente caso $C=0,1704$) e D = profundidade vertical (m).

$$\rho = a \left(\frac{10^6}{\Delta t} \right)^b \quad (3)$$

Onde: Δt é o tempo de trânsito ($\mu\text{s}/\text{ft}$); a é uma constante empírica (no presente caso igual a 0,23, valor definido para o Golfo do México) e b é um expoente empírico (no presente caso igual a 0,25, valor definido para o Golfo do México).

Como os dados de tempo de trânsito de sísmica foram fornecidos a partir de 1400m de profundidade, tornou-se impossível o cálculo de densidade para as camadas superiores. Sendo assim, assumiu-se valores de 1,95 lb/gal, 1,03 lb/gal e 0 lb/gal para a camada de rocha entre 1200 e 1400m, a lâmina d'água de 25 a 1200m e o air gap, respectivamente. Valores esses dentre os ranges e indicados em [2].

2.2.2 Gradiente de Poros

Para o desenvolvimento da curva de gradiente de poros inicialmente se fez necessária a elaboração de uma curva tendência no gráfico de tempo de trânsito (μs) por profundidade do poço (m), para a obtenção de m (coeficiente angular da reta de tendência normal) mediante a equação (4). Tendo conhecimento sobre o valor do coeficiente angular da reta de tendência normal é possível a obtenção dos valores de variação de tempo de trânsito (Δt_n) pela equação (5).

$$m = \frac{\log(\Delta t_2) - \log(\Delta t_1)}{D_2 - D_1} \quad (4) \quad \Delta t_n = \Delta t_1^{(m*(D-D_1))} \quad (5)$$

Onde: Δt_1 e Δt_2 são valores de tempo de trânsito (μs) na região de compactação normal

observados na curva tendência; D_1 e D_2 são as profundidades dos pontos em questão (m) e D é igual a profundidade de interesse da reta de tendência normal (m).

Posteriormente, se faz possível a obtenção dos valores de gradiente de poros (G_p) e sua curva por meio do método de Eaton correlacionado ao tempo de trânsito (equação 5).

$$G_p = G_{ov} - \left[(G_{ov} - G_N) \times \left(\frac{\Delta t_n}{\Delta t_o} \right)^2 \right] \quad (6)$$

Onde: G_N é igual ao gradiente de pressão de poros normal (lb/gal); Δt_o é igual ao tempo de trânsito observado e Δt_n é igual ao valor da reta normal para o tempo de trânsito.

As profundidades passíveis à observação selecionadas D_1 e D_2 , foram respectivamente 1700 e 2700 m, sendo assim, os valores observados de tempo de trânsito, Δt_1 e Δt_2 , foram respectivamente 142 e 99 μ s. (parâmetros referentes à equação 4) e o valor de coeficiente angular foi igual a -0,000157.

2.2.3 Gradiente de Fratura

Os valores de Leak Off Test (LOT) foram dados na Tabela 1, dessa maneira, foi possível calcular o K real (equação (7)), como mostrado na Tabela 3. Pelo ajuste logarítmico do gráfico de K real por profundidade de sedimentos (D_s), apresentado na Figura 1, obteve-se os valores de a e b e conseqüentemente os valores para K por meio da equação (8). A elaboração da curva de gradiente de fratura se deu pelo seu cálculo recorrendo ao Método de Tensão Mínima (equação (9)).

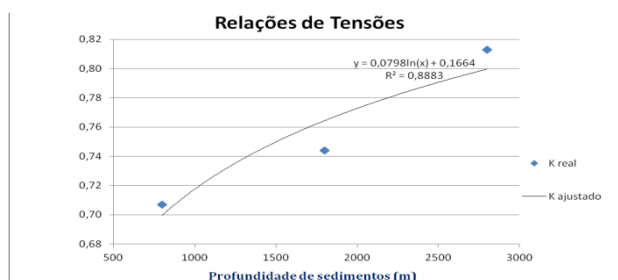
$$K = \frac{LOT - G_p}{G_{ov} - G_p} \quad (7) \quad K = a \times \ln(D_s) + b \quad (8) \quad G_F = G_p + K(G_{ov} - G_p) \quad (9)$$

Onde: D_s é igual a profundidade de sedimentos e a e b são iguais aos parâmetros de ajuste.

Tabela 3: Dados para laboração dos parâmetros de K. Próprio autor.

Profundidade (m)	LOT(lb/gal)	Sobrecarga (lb/gal)	Poros (lb/gal)	Ds(m)	K(real)
2000	11,10	11,95	9,05	800	0,71
3000	12,30	14,26	6,61	1800	0,74
4000	15,40	15,72	14,01	2800	0,81

Figura 1: Estimativa de K para a área. Próprio autor.



2.3 Assentamento de Sapatas e Determinação do Peso do Fluido de Perfuração

Os assentamentos de sapatas dos dois projetos foram definidos utilizando-se como metodologia o assentamento baseado na tolerância ao kick, sendo o Projeto 1 baseado no critério de assentamento de cima para baixo, e o Projeto 2, o assentamento de baixo para cima.

Os pesos de fluido de perfuração para cada uma das fases determinadas a partir do assentamento das sapatas foram baseados nos valores de gradiente de poros e fratura dentro dos limites de operação (entre os valores de gradiente de poros com margem de segurança e o gradiente de fratura). Sapatas próximas umas das outras podem ser desconsideradas, levando-se em consideração o custo do projeto, caso isso não venha acarretar em risco à resultante da operação.

2.3.1 Projeto 1

No estudo do assentamento de sapatas do Projeto 1 calculou-se o gradiente de fratura baseado na tolerância kick de baixo para cima (G_F^{kt}), de acordo com a equação 10.

$$G_F^{kt} = \frac{D_h}{D_{fm}} (\Delta\rho_{kt\ min} - \rho_{mud} + G_P) + \frac{h_k}{D_{fm}} (\rho_{mud} - \rho_k) + \rho_{mud} \quad (10)$$

Onde: D_{fm} é igual a profundidade da formação mais fraca (m); D_h é igual a profundidade do poço; $\Delta\rho_{kt\ min}$ é igual a margem de segurança mínima ou tolerância ao kick diferencial mínima; ρ_{mud} é igual a densidade do fluido de perfuração e G_P é igual ao gradiente de poros da formação mais fraca; h_k é igual a altura do kick.

A margem de segurança mínima estipulada em projeto tem como valor 0,5 lb/gal. Onde o gradiente de fratura baseado na tolerância kick for maior ou igual ao gradiente de fratura local projeta-se o assentamento de sapatas. Outro fator levado em consideração nesse projeto foi o diferencial de pressão entre o poço e a formação (equação 11) de 2000 psi.

$$\Delta P = 0,1704 * (\rho_m - G_P) * D \quad (11)$$

2.3.2 Projeto 2

No estudo do assentamento de sapatas do Projeto 2 a margem de segurança dada pela equação 12 tem como tolerância ao kick diferencial mínima 0,5 lb/gal. Onde esta margem de segurança for menor que esse valor estipulado assenta-se uma sapata. Outro fator levado em consideração nesse projeto foi o diferencial de pressão entre o poço e a formação (equação 11) de 2000 psi.

$$\Delta\rho_{kt} = \frac{D_{fm}}{D_h} (G_F - \rho_{mud}) - \frac{h_k}{D_h} (\rho_{mud} - \rho_k) + \rho_{mud} + G_P \quad (12)$$

Onde: G_F é o gradiente de fratura da formação mais fraca.

2.4 Escolha do BOP

Para a tomada de decisão de um BOP adequado para o projeto de poço foi utilizado o critério de escolha referente à pressão de poros no que se refere ao Projeto 1 (equação 13) e o critério baseado no gradiente de fratura, ao que se refere o Projeto 2 (equação 15).

$$P_{BOP} = 0,1704 * D_h * G_{p\ max} - P_{H\ gas} \quad (13)$$

$$P_{H\ Gás} = 0,1704 * (D_h - D_{BOP}) * \rho_{gas} \quad (14)$$

$$P_{BOP} = 0,1704 * D_h * G_F - P_{H\ gas} \quad (15)$$

$$P_{H\ Gás} = 0,1704 * (D_{cg} - D_{BOP}) * \rho_{gas} \quad (16)$$

Onde: $G_{p\ max}$ é o gradiente de pressão de poros que leve ao máximo valor na superfície (lb/gal); ρ_{gas} é a densidade do gás (lb/gal); G_F é o gradiente de fratura na sapata do revestimento (lb/gal); D_{cg} é a profundidade da sapata (m).

Os equipamentos disponibilizados pelo mercado apresentam as seguintes pressões: 5000 psi, 10000 psi e 15000 psi. Portanto, o BOP escolhido foi aquele fornecido pelo fabricante que pode abranger o range solicitado [2].

2.5 Tempo Necessário para Perfuração Do Poço

O tempo necessário para a perfuração do poço foi baseado por uma correlação do poço em estudo que utilizou ciclo PDCA para a previsão e acompanhamento das geopressões baseando-se em gráfico de Performance dos poços (dias) X Profundidade (m) da bibliografia Projetos de Poços de Petróleo (ROCHA e AZEVEDO (2009)).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A variação permitida para a pressão exercida pelo fluido pode então ser representada pelas representações gráficas das Figuras 2 e 3, assim como a configuração de assentamento de sapatas dos Projetos 1 e 2 respectivamente.

As fases, revestimentos, intervalos e pesos de fluidos calculados para os projetos 1 e 2 são detalhados na Tabela 4.

Figura 2: Projeto 1. Próprio Autor.

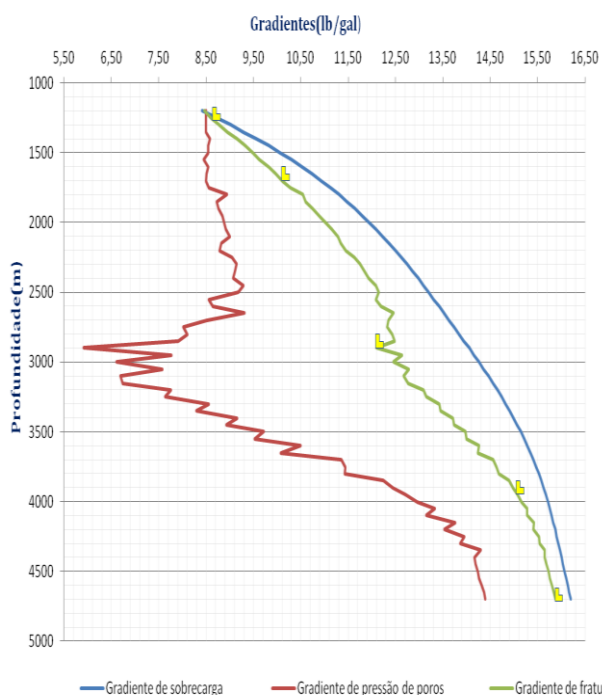


Figura 3: Projeto 2. Próprio autor.

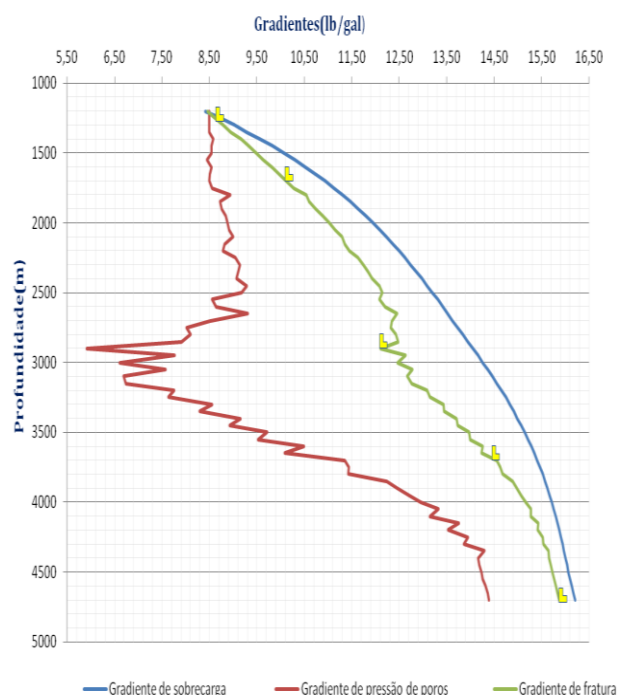


Tabela 4: Assentamento de Sapatas e Pesos de Fluidos Projeto 1 e 2. Próprio autor.

ASSENTAMENTO DE SAPATAS					
Fases	Revestimentos	PROJETO 1		PROJETO 2	
		Intervalo(m)	pm(lb/gal)	Intervalo(m)	pm(lb/gal)
1ª fase (36")	30" (Conductor)	1200-1250	8,5	1200-1250	8,5
2ª fase (26")	20" (Superfície)	1250-1700	8,6	1250-1700	8,6
3ª fase (17 1/2")	13 1/8" (Intermediário)	1700-2900	10	1700-2900	10
4ª fase (12 1/4")	9 5/8" (Intermediário)	2900 - 3950	2900-3300 = 9	2900 - 3700	2900-3300=9
			3300-3950 = 12		3300-3700=12
5ª fase (8 1/2")	7" (Produtor)	3950-4700	14,54	3700-4700	14,48

No Projeto 1, pelas relações do método de assentamento, há a possibilidade de assentamento de uma sapata a cerca de 1750m de profundidade, mas devido à proximidade entre a mesma e a sapata referente à segunda fase de revestimento optou-se pelo seu não assentamento. Há também a possibilidade de assentamento a 3550m de profundidade, porém considerou-se necessário o assentamento de apenas uma sapata entre a sapata diferencial de pressão (2900 m) e a última sapata a 4700m de profundidade.

Enquanto no Projeto 2, pelas relações do seu método de assentamento, há a possibilidade de assentamento de uma sapata a cerca de 2450 m de profundidade, mas devido à proximidade entre a mesma e a sapata projetada em função do diferencial de pressão entre o poço e a formação, foi optado por assentar essa a 2900 m de profundidade. Outra sapata descartada estaria a 4150m, essa foi descartada em vista da proximidade entre as sapatas a 3700 e 4700m.

No que se refere a escolha do BOP tem-se que no Projeto 1, utilizado o critério de

escolha referente à pressão de poros, a pressão necessária é de 10732,30 psi, e quanto ao Projeto 2, sob o critério baseado no gradiente de fratura, a pressão necessária é de 11116,73 psi. Lembrando que os BOP's são normalmente fabricados em ranges de pressão de 5000 psi, 10000 psi e 15000 psi, o BOP a ser utilizado é o de 15000 psi, pois estaria abrangendo os valores solicitados de pressões.

O cálculo do tempo necessário para perfuração dos poços baseado na correlação de poços para os Projetos 1 e 2 são representados na Tabela 5.

Tabela 5: Tempo de Perfuração dos Poços Projetos 1 e 2. Próprio autor.

TEMPO DE PERFURÇÃO				
Fases	PROJETO 1		PROJETO 2	
	Comprimento (m)	Performance do poço (dias)	Comprimento (m)	Performance do poço (dias)
1ª fase (36")	50	0,57	50	0,57
2ª fase (26")	450	32,86	450	32,86
3ª fase (17 1/2")	1200	30,82	1200	30,82
4ª fase (12 1/4")	1050	28,19	800	21,48
5ª fase (8 1/2")	750	32,84	1000	43,79
Total	3500	125,27	3500	129,51

4. CONCLUSÃO

Um projeto de poços deve ser simples e atender aos requisitos de segurança, técnicos e econômicos instados pelo requerente. A janela operacional trabalhada para os dois projetos que constituem esse estudo foi a mesma, pois se trata da mesma área de interesse, porém aplicando diferentes métodos no decorrer dos projetos obtém-se algumas diferenças de resultados. Sendo assim, cabe ao engenheiro, em conjunto com um corpo técnico responsável decidir qual projeto deve ser levado em consideração.

No que se refere ao BOP os dois projetos apresentaram convergência de resultados, sendo o BOP escolhido dentre os fornecidos pelo mercado o de 15000 psi e quanto ao tempo de perfuração, o Projeto 1 apresenta uma vantagem de um pouco mais que 4 dias em relação ao Projeto 2. Pode-se inferir que em uma tomada de decisões o Projeto 2 apresentaria uma melhor vantagem conjecturando o menor tempo de perfuração.

5. REFERÊNCIAS

- [1] MONTEIRO, Hugo Leonardo Salomão. **Análise de desempenho de diferentes leis de controle de vibrações torcionais em colunas de perfuração de poços de petróleo.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [2] ROCHA, Luiz Alberto Santos; AZEVEDO, Cecília Toledo. **Projeto de Poços de Petróleo: Geopressões e Assentamento de Colunas de Revestimento.** 2ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2009. 562 p.