

2

Perfuração de poços de petróleo

A perfuração de poços de petróleo requer basicamente uma sonda de perfuração, tubos de perfuração, o BHA (Bottom hole assembly) e a broca. A broca se localiza no ponto mais extremo da estrutura com sua mecânica de corte que varia conforme o tipo de formação a ser perfurado.

A composição da coluna de perfuração é uma das tarefas mais importantes da perfuração direcional, pois no projeto será determinado se o poço irá ganhar, manter ou perder ângulo. É composta por tubos de perfuração responsáveis pela transmissão de peso e rotação, o bottom hole assembly (BHA) que possui em sua composição os equipamentos de leitura e transmissão de dados de fundo do poço, além de equipamentos direcionais a fim de direcionar o poço até seu objetivo final e a broca situada no ponto mais extremo da estrutura responsável pelo corte da formação a ser perfurada.

Na perfuração do tipo rotativa as rochas são fragmentadas sob a ação do corte resultado basicamente de peso e rotação. Estes fragmentos são removidos a todo o tempo através do fluido de perfuração. Este fluido é injetado por bombas para o interior da coluna de perfuração através da cabeça de injeção e retorna a superfície através do espaço anular formado pelas paredes do poço e a coluna.

Esta operação é complexa e equipamentos especiais são necessários para que a mesma se realize. Diversos equipamentos de uma sonda rotativa tem responsabilidades distintas nas atividades de perfuração. A rotação da coluna de perfuração, o bombeamento do fluido e o tratamento dos cascalhos na sonda são realizados por sistemas distintos. Um diagrama esquemático de uma sonda de perfuração pode ser visualizado na figura 1.1.

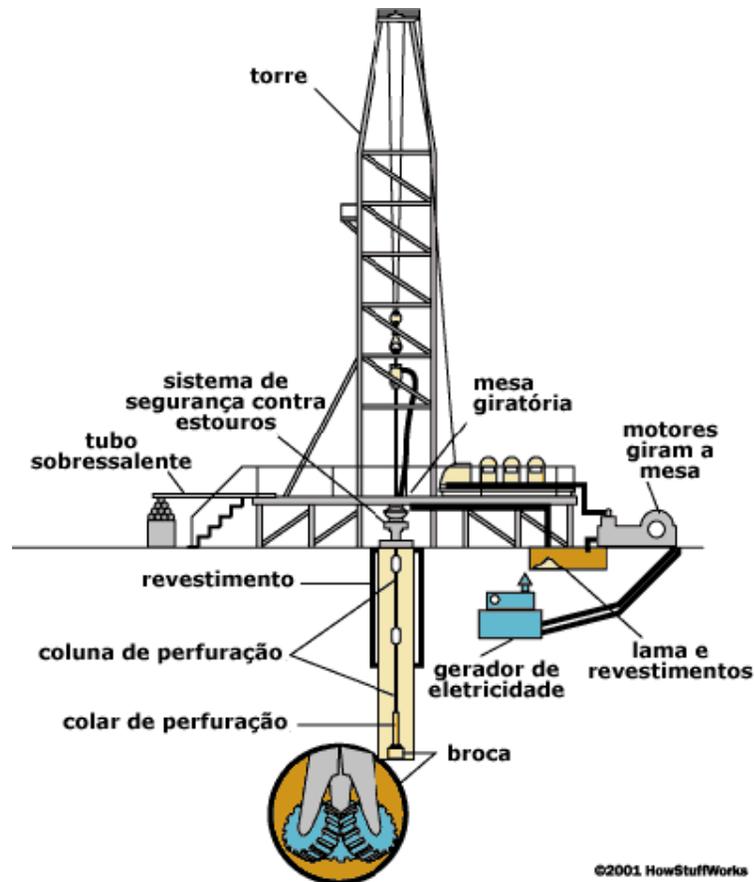


Figura 1.1 Diagrama esquemático de uma sonda durante a atividade de perfuração.
Disponível em < <http://ciencia.hsw.uol.com.br/perfuração-de-petróleo2.htm> >. Acesso em:
20 jan.2014

Nas sondas convencionais, a coluna de perfuração é girada pela mesa rotativa localizada na plataforma da sonda. Esta rotação é transmitida a um tubo de parede externa poligonal, o Kelly, que fica enroscado no topo da coluna de perfuração conforme disposto na figura 1.2.



Figura 1.2. Mesa rotativa rotaciona provendo giro ao tubo de perfuração. Disponível em: < papeandoetestado.blogspot.com >. Acesso em: 12 jan. 2014.

Nas sondas equipadas com top drive a rotação é transmitida diretamente ao topo da coluna de perfuração por um motor acoplado à Catarina. Conforme pode ser observado nas figuras 1.3 e 1.4 o conjunto desliza em trilhos fixados à torre, onde o torque devido à rotação da coluna é absorvido.



Figura 1.3. Esquema de topdrive em sondas de perfuração offshore. Disponível em: < www.drillingcontractor.org >. Acesso em: 24 jan. 2014



Figura 1.4. Topdrive em sondas de perfuração offshore. Disponível em: < www.drillingcontractor.org >. Acesso em: 24 jan. 2014

Existe ainda a possibilidade de se perfurar com um motor de fundo, colocado logo acima da broca. O torque necessário é gerado pela passagem do fluido de perfuração no seu interior. Este motor pode ser de deslocamento positivo ou uma turbina.

No método rotativo a remoção dos cascalhos gerados no interior do poço devido à perfuração e fragmentação da rocha é feita juntamente com o retorno do fluido de perfuração. Este é bombeado pelo interior da coluna e o retorno à superfície se dá pelo anular, que é o espaço entre os tubos de perfuração e a parede do poço. Já na superfície o fluido permanece dentro de tanques após receber o tratamento adequado.

2.1 MSE

O MSE tem sido usado efetivamente em laboratório para avaliar a eficiência de brocas de perfuração e a investigação de ineficiência em operações de campo (DUPRIEST e KOEDERITZ, 2005). Representa a energia específica

mecânica e foi inicialmente utilizado para avaliação dos resultados de laboratório em testes de escala real (Tibbitts, 1979). Uma taxa que está relacionada com a energia de entrada é a ROP obtida. Uma vez que esta taxa seja constante para uma determinada rocha, isto representa que para um determinado volume de rocha necessita de uma energia para ser destruído e essa relação de energia necessária para determinado volume de rocha removido seria constante. Teale (1965) propôs a seguinte equação para MSE:

$$MSE = \frac{WOB}{A_B} + \frac{120 \cdot \pi \cdot RPM \cdot T}{A_B \cdot ROP} \quad (2.1)$$

Onde A_B é a área de broca associada a seu diâmetro circular em polegada quadrada e T é o torque sobre a broca em ft.lb.

O modelo foi validado e se mostrou uma boa ferramenta para determinar os parâmetros de perfuração mais eficientes e também para a detecção de problemas. Permite detectar mudanças na eficiência do sistema de perfuração de forma praticamente contínua. Isso tem permitido melhoras no desempenho uma vez que parâmetros de perfuração são otimizados com facilidade e provém dados quantitativos para justificar alterações de projetos para expandir os limites presentes no sistema. A análise de MSE tem resultado em mudanças em áreas como controle de poço, seleção de broca, projeto de BHA, dentre outras (DUPRIEST e KOEDERITZ, 2005).

Obtêm-se a eficiência máxima quando a energia aplicada na broca é igual à energia necessária para destruir determinado volume de rocha. A equação proposta é proveniente do cálculo do trabalho axial e radial realizado pela broca e dividindo-se essa energia pelo volume de rocha perfurado, embora não exista uma correlação clara entre a energia para perfurar determinada rocha e a sua resistência. O autor verificou que existia uma aproximação numérica entre os valores de MSE e a resistência da rocha que está sendo perfurada na região de eficiência. Para operações de campo esta análise é bem interessante, pois forneceria um ponto de referência de otimização. Se o valor observado de MSE estivesse próximo da resistência da rocha, a broca estaria perfurando de uma

maneira eficiente, caso contrário haveria uma perda de energia desnecessária. O valor de energia também se torna útil, pois indicaria mudança de litologia, ou seja, um aumento na energia específica representaria a perfuração de uma formação mais dura. Experiências de campo mostraram que as perdas provocadas pela ineficiência mecânica são geralmente muito maior que as mudanças na resistência da rocha. (DALTRO, 2013)

Salienta-se que a energia específica não pode ser representada por um simples número, uma vez que o processo de perfuração é caracterizado por flutuações nas variáveis envolvidas devido a sua complexa dinâmica, além da própria heterogeneidade das rochas. Mesmo com as aproximações e incertezas das medidas dos parâmetros, os valores mostraram ser suficientemente precisos na utilização deste modelo para prever e avaliar a performance da perfuração.

A avaliação da tendência do MSE possibilita a identificação de ineficiências da perfuração, plotando-se esta curva continuamente no campo enquanto os parâmetros são alterados. Se os valores são relativamente constantes conclui-se que o sistema ainda está na zona de eficiência. Caso seja observado um crescimento abrupto dos valores tem-se um indício de que o sistema está perfurando fora da região linear da curva, ou seja, saindo da zona de eficiência do ponto de vista mecânico da perfuração.

A análise através de MSE pode ser aplicada como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisões em tempo real e na análise pós-perfuração. Esta análise tem permitido ganhos em performance durante a perfuração que ocorrem pela melhor escolha dos parâmetros de perfuração, pela detecção de problemas e pela possibilidade de verificar precocemente a eficácia das ações mitigadoras. (DALTRO, 2013)

Algumas operadoras de petróleo implementaram metodologias de acompanhamento da perfuração baseado na MSE e tem obtido resultados expressivos com incrementos de ROP e mitigação de problemas. A forma convencional de analisar a performance da perfuração é comparar a performance atual com os padrões estatísticos obtidos dos poços de correlação. Esta metodologia é subjetiva e variável. Existe uma lacuna de modelos físicos para estabelecer padrões técnicos de performance de maneira absoluta.

2.2

UCS

A UCS representa a resistência à compressão não confinada da rocha. Sua análise é um método qualitativo para calcular a dureza da rocha. A análise da dureza das rochas baseia-se no uso da velocidade das ondas sonoras, registradas através de registro sônico obtido através de ferramenta LWD/MWD, como meio de representar uma medição direta do cálculo da dureza. Existem modelos para obter o valor correspondente da resistência à compressão das rochas não confinadas através de informação da velocidade sônica correlacionando com a dureza da rocha não confinada. Embora este enfoque seja melhor que usar diretamente as velocidades sônicas, o valor calculado da dureza de rochas não confinadas é mais baixo que o das rochas confinadas. A resistência da rocha não confinada é sua dureza na pressão atmosférica.

Algumas companhias fabricantes de brocas possuem modelos (programas computacionais) que ajudam na sua seleção. Os dados do registro são então inseridos em uma base para cálculo da resistência a compressão da rocha nas condições de fundo. Portanto, estes simuladores conseguem calcular com uma maior precisão a dureza da rocha quando confinada, valor este próximo da dureza da formação no fundo do poço. Dentre os dados de entrada estes programas têm como dados de entrada principal o registro sônico e o registro de raios gama, além de dados do fluido de perfuração. Dentro da escala de litologia é possível determinar a dureza das rochas com maior precisão.

Alguns pesquisadores têm estudado uma relação entre a resistência compressiva e o tempo de transito das formações. Chandong Chang (2004) publicou um trabalho que apresenta várias correlações. Para cálculo da resistência compressiva não confinada é sugerido para arenito a correlação de McNally. Já para formação do tipo folhelho tem-se a correlação de Horsrud. Para carbonato tem-se a correlação de Militzer e Stoll apesar dos dados neste tipo de formação variarem bastante.

2.3

Teste de DrillOff

Existem diversos testes feitos com o objetivo de otimizar o desempenho de perfuração. Um deles é o *drill rate test* que representa um teste da taxa de perfuração. Consiste em experimentar diversas combinações de peso sobre a broca e rotação da coluna, e observar os resultados. São então usados as combinações de parâmetros que fornecem a taxa de penetração máxima. De certa forma, todos os métodos de otimização utilizam um processo comparativo semelhante. Ou seja, buscar identificar a combinação de parâmetros que fornece os melhores resultados em relação a outras configurações.

Um método de otimização mais recente é o *drilloff test*, que consiste em aplicar uma carga elevada sobre a broca e então travar-se o freio do guincho, impedindo que o topo da coluna avance enquanto se continua circulando fluido de perfuração e girando a coluna. À medida que a broca perfura, a coluna de perfuração se alonga e o peso sobre a broca diminui. A taxa de penetração é calculada com base na mudança no alongamento da coluna. A figura 2.1 mostra dados de campo de três testes de *drilloff*. O ponto a partir do qual a taxa de penetração, ROP (do inglês *Rate of Penetration*), deixa de responder linearmente com a redução do peso sobre a broca, WOB (do inglês *Weight on bit*), este ponto é denominado *founder point*. Então, este é considerado o peso sobre broca (WOB) ótimo.

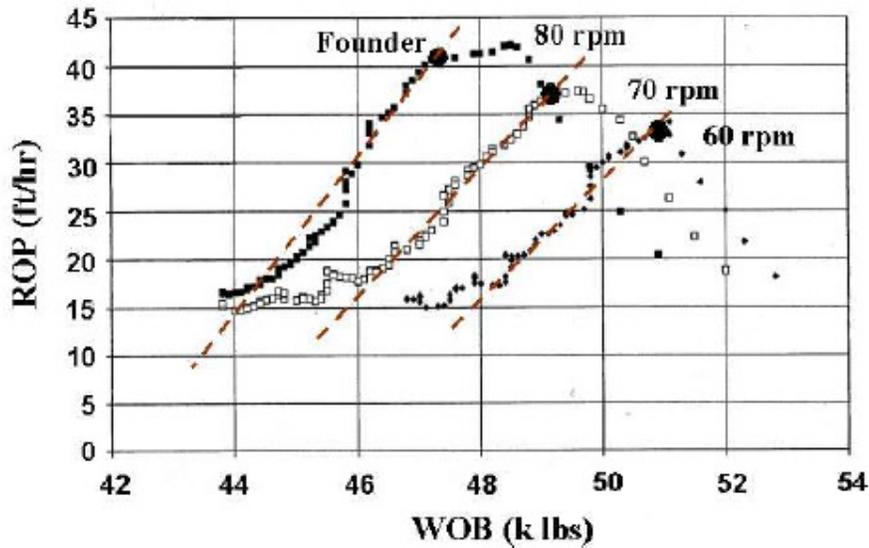


Figura 2.1. Dados de teste de *drilloff* mostrando o comportamento não-linear abaixo da profundidade de corte mínima e acima do *founder point* (DUPRIEST e KOEDERITZ, 2005)

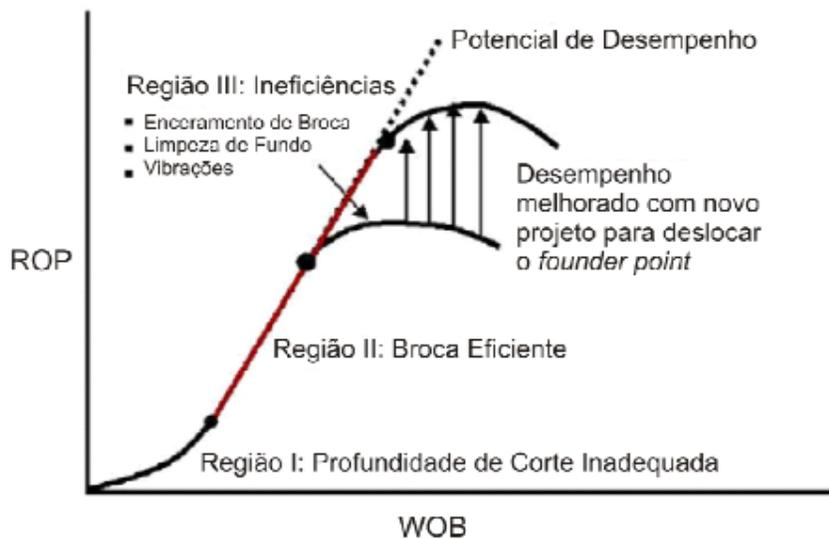


Figura 2.2. Regiões com zona eficiente e não eficiente em uma curva típica de teste de *drilloff* (DUPRIEST e KOEDERITZ, 2005)

A figura 2.2 mostra uma curva de *drilloff* típica. A curva é dividida em três regiões. Na região I, ocorre uma restrição de desempenho devido a profundidade de corte (a distância de penetração da broca na formação sendo perfurada - do inglês, *depth of cut* (DOC) inadequada, causado pelo baixo peso sobre broca,

WOB. Com o aumento do peso sobre broca (WOB), e conseqüentemente da profundidade de corte (DOC), é atingido o pico de eficiência. A eficiência é calculada comparando-se a energia teoricamente requerida para remover um determinado volume de rocha à energia de fato consumida pela broca. A broca tende a transferir baixas porcentagens de sua energia ao processo de perfuração mesmo em condições de pico de desempenho. No entanto, se a profundidade de corte é inadequada, a eficiência de transferência de energia fica abaixo destes valores prejudicando então a taxa de penetração.