

Manobras para troca de brocas em poços de petróleo

Tão importante quanto a redução de custos na atividade de extração de petróleo é a otimização dos tempos não produtivos, a exemplo de manobras, revestimento e montagem de BOP (Blow Out Preventor ou Preventor de Erupção), navegação (*offshore*) ou DTM (Desmontagem, Transporte e Montagem/*onshore*), instaurando-se, ainda, práticas para evitar acidentes pessoais e danos ao meio ambiente.

O estudo de tempos não produtivos é pouco racionalizado, com número reduzido de profissionais dedicados especificamente ao assunto, se comparado à atividade de perfuração em si, e menos atenção ainda é dada para os tempos perdidos durante a operação. As manobras para trocas de brocas (*trip*) têm duração variável, determinada por diversos fatores, discutidos neste trabalho. É fundamental que seja mínimo o tempo decorrido entre o início da retirada da broca que finalizou seu trabalho, até o momento em que a próxima broca inicie sua tarefa produtiva.

O conhecimento das variáveis que determinam este tempo é importante fator para o planejamento dos custos de perfuração de um poço (Blick e Chukwu, 1980). À medida que os poços aprofundam, maior é o tempo despendido com este tipo de operação. Historicamente, utiliza-se uma fórmula para estimar os tempos de manobra ao longo da perfuração de um poço (Barragan, 2007), gerando-se deste modo um cronograma dos trabalhos e as estimativas de custos do poço.

A taxa de aluguel de uma plataforma atinge hoje, com facilidade, os US\$ 200 mil por dia (Power, 2008), estimando-se chegar a valores superiores a US\$ 500 mil (Prossiga, 2008) por dia para operações em águas ultraprofundas. Assim, com o crescente custo dos equipamentos de atividades de perfuração, torna-se de fundamental importância verificar a validade da fórmula histórica para as condições operacionais da empresa, evitando-se graves distorções nos custos dos poços e frustração quanto às expectativas dos cronogramas propostos aos acionistas.

O objetivo deste trabalho é demonstrar ser factível a obtenção de uma fórmula que represente a realidade da empresa perfuradora. Em tempos de preços crescentes de matrizes energéticas, há grande encarecimento das taxas operacionais e conseqüentes dificuldades de contratação de pessoal especializado e de equipamentos (Brett, 2007). Por outro lado, no momento em que houver crise de preços, a produção se dará com margens operacionais pequenas, o que fará com que sejam indispensáveis as soluções para que os poços atinjam os objetivos finais nos menores tempos e custos possíveis.

Dalmo de Souza

Amorim Junior é

engenheiro de minas pela USP, 1979. Pós-graduado em Engenharia de Perfuração de Petróleo, Petrobras, 1980.

Mestrando em Engenharia de Petróleo pela USP (2006-2009). Engenheiro de Suporte Técnico para NOV ReedHycalog no México.



Wilson Siguemasa

Iramina é engenheiro de minas pela Escola Politécnica da USP (1992), com mestrado em Engenharia Mineral (1997), Especialização em Engenharia de

Segurança do Trabalho USP (2002), doutorado em Engenharia Mineral (2002), livre-docência em Engenharia ambiental aplicada à mineração (2007), todos na mesma instituição. É professor associado da Escola Politécnica da USP.



Fatores que influenciam os tempos de manobra

A perfuração rotativa, acompanhada da injeção de fluidos para manutenção da estabilidade do poço e para a sua limpeza, é a técnica predominante na perfuração de poços de petróleo e gás. De modo bastante resumido, nesta técnica as rochas são perfuradas pela ação de rotação e peso aplicados a uma broca existente na extremidade de uma coluna de perfuração. Esta coluna consiste basicamente de comandos (tubos de paredes espessas, que fornecem peso à broca) e tubos de perfuração (tubos de paredes finas, para dar comprimento à coluna). Os fragmentos da rocha são removidos de modo contínuo pela ação de um fluido de perfuração (lama). A ação de corte promovida pela broca gera seu desgaste, cuja vida útil varia em função de fatores como tecnologia de fabricação, adequação à litologia encontrada, modo como a energia é aplicada, etc. O desgaste da broca leva à necessidade de uma manobra, quando então toda a tubulação é removida do poço e a broca trocada. Diversos fatores contribuem para o aumento ou diminuição dos tempos totais de manobra:

Sob o ponto de vista da sonda

- eficiência de equipamentos para rosquear tubos (eficiência);
- potência do motor do guincho da sonda (velocidade do guincho);
- número de voltas de cabos nas polias da *catarina* (velocidade do guincho);
- número de tubos estaleirados no mastro ou torre (comprimento da seção, eficiência);
- existência de *top drive* (eficiência), ao invés de uma mesa rotativa convencional;
- manutenção preventiva dos equipamentos acessórios, elevadores etc.

Sob o ponto de vista da operação

- utilização de ferramentas adicionais na coluna que exijam tempo de manuseio extra, além de estabilizadores, absorvedores de choque e *reamers*;
- utilização de fontes radioativas em ferramentas tipo MWD (Measure While Drilling), que exijam medidas de segurança especiais;
- utilização de ferramentas que exijam download dos dados obtidos no fundo do poço, que não sejam do tipo MWD;
- intempéries.

Sob o ponto de vista do poço

- arquitetura e inclinação das fases do poço;
- tipo de fluido utilizado, bem como sua densidade, viscosidade etc.;
- lâmina d'água quando em operações *offshore*;
- formações atravessadas;



- rugosidade das paredes do poço e tortuosidade da trajetória;
- vazão utilizada durante a perfuração.

Sob o ponto de vista humano:

- restrições de Segurança do Trabalho, por exemplo a restrição ao uso de correntes para a execução de conexões, entre outras;
- envelhecimento das equipes e/ou falta de reciclagem;
- terceirização da profissão de plataformista, com uso de pessoal menos experiente;
- processos de seleção e contratação de plataformistas, que tendem a levar em conta o preparo educacional e intelectual, em detrimento do preparo físico.

Ainda que se preste pouca atenção a este tipo de operação em relação às operações de perfuração, apenas o tempo despendido na manobra para a troca de uma broca perfurando a 4.000 m, pode custar ao operador muitas vezes o valor pago pela própria broca utilizada.

Equações

A fórmula universalmente aceita (Barragan, 2007) para se representar os tempos de manobra para a troca de uma broca é:

Equação 1

$$HM = 0,003 \times PE + 1,$$

onde

- HM = Horas de manobra (h)
- PE = profundidade de entrada da broca (m)
- 1 = fator que expressa o tempo de manuseio do BHA (Bottom Hole Assembly ou coluna de fundo) na superfície, antes da coluna retornar ao poço para o prosseguimento da perfuração

Horas de Manobra (fórmula real x fórmula tradicional)

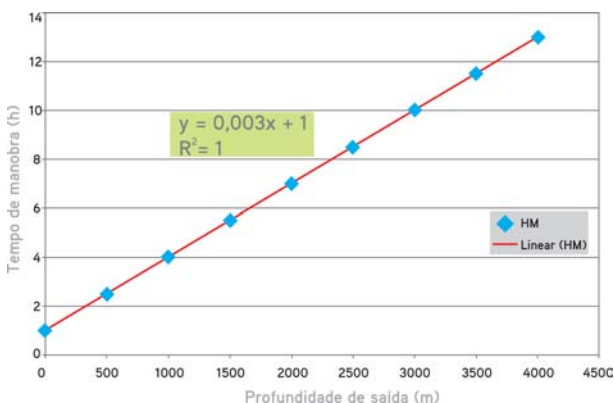


Figura 1 – Horas estimadas de manobra *versus* profundidade de entrada da broca

O tempo teórico, despendido em uma manobra a qualquer profundidade em um poço, pode ser obtido com a utilização do gráfico apresentado na **Figura 1**:

O custo métrico obtido por uma broca precisa levar em consideração, a qualquer momento, se é mais econômico trocar uma broca gasta ou deixá-la no poço (Medeiros e Vidal, 2008), e o custo de se realizar a manobra para sua troca é parte desta equação.

A fórmula de Custo Métrico (ou CM) utiliza em sua fórmula (Barragan, 2007) o valor esperado de HM:

Equação 2

$$CM = \frac{CB + CH \times (HM + HR)}{MP}$$

onde

- CM = Custo métrico (US\$/m ou R\$/m)
- CB = Custo da broca (US\$ ou R\$)
- CH = Custo horário da sonda mais apoio (US\$/h ou R\$/h)
- HM = Tempo de manobra (h), calculada pela fórmula acima
- HR = Tempo de rotação da broca (h)
- MP = metros perfurados (ou pés perfurados, no sistema americano)

Quanto mais profundo o poço e mais demorada a manobra, maior será a parcela que o tempo de manobra vai contribuir para aumentar o custo métrico. A utilização de uma fórmula adequada irá se refletir na avaliação final do projeto, quando gerenciado sob o sistema PDCA (Plan, Do, Check, Act) (Deming, 1990). A elaboração de uma fórmula adequada é parte do ciclo

Check (verificação), e em cima das conclusões obtidas serão tomadas ações cabíveis (Act).

Metodologia

Utilizaram-se, para a modelagem das operações de manobra, dados reais de 420 manobras para troca de broca com as seguintes condições de contorno:

- manobras para troca de brocas em operações de perfuração *offshore*, não se levando em conta outros tipos de operações, como descidas de revestimentos, perfilagem, etc.;
- tempos de manobras iniciadas em um dia e terminadas em outro foram agregados em um evento;
- tempos de manobras interrompidas por motivos de manutenção, circulação intermediária ou outro motivo externo à operação foram agregados em um evento.

- os dados finais foram separados em três blocos:
- retirando a coluna (RC)
- manuseio de BHA na superfície (BHA)
- descendo a coluna (DC)

Os dados finais foram separados em três blocos:

- retirando a coluna (RC)
- manuseio de BHA na superfície (BHA)
- descendo a coluna (DC)

Deste modo, o tempo total de manobra será:

Equação 3

$$HM = RC + BHA + DC$$

Retirando a coluna

O levantamento dos dados foi plotado em um gráfico, com a profundidade de início da manobra no eixo das abscissas e as horas totais de retirada no eixo das ordenadas, resultando no gráfico apresentado na **Figura 2**.

Tempos de manobra – Retirando coluna 2006

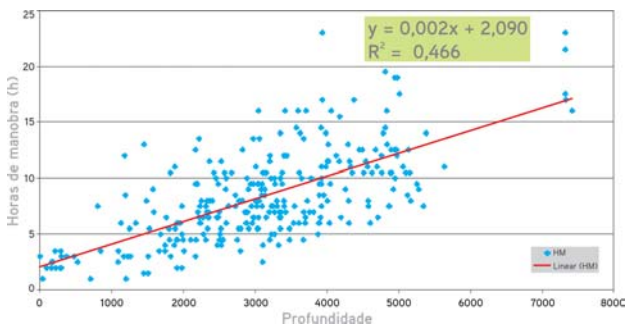


Figura 2 – Representação dos tempos de manobra retirando a coluna *versus* profundidade

Com correlação linear obteve-se a seguinte equação:

Equação 4

$$RC = 0,002 \times P + 2,1$$

No entanto, a correlação de pontos foi baixa (abaixo de 0,5), quando o ideal é que os valores estejam entre 0,8 e 1,0 para uma boa confiabilidade. Isto significa que há diversos

fatores atuando no sentido de atrasar algumas manobras e não outras, percebendo-se no gráfico da **Figura 2** grande dispersão de pontos acima e abaixo da reta. Estas distorções são fruto dos fatores apresentados no início deste artigo.

Manuseio de BHA

O universo de dados utilizados foi:

- Manuseios de BHA – 420 operações
- Total de horas de manuseio – 2.386 horas
- Tempo de manuseio BHA – obtido pela divisão acima, resultando na seguinte equação:

Equação 5

$$\text{BHA} = \text{Manuseios/Horas de Manuseio} = 5,7 \text{ h/operação}$$

Os resultados mostram grande diferença em relação ao previsto na fórmula tradicional (**Equação 1**), de uma hora de manuseio de BHA por manobra.

A análise das descrições de operação revelou algumas fontes de origem desta distorção:

- Percebeu-se, durante a análise dos dados, que alguns finais de manobras – quando a coluna ultrapassa os HWDPs (Heavy Weight Drill Pipe ou tubos pesados de perfuração) e inicia-se a retirada de comandos – foram classificados como “Manuseio de BHA”.
- Ainda que alguns tempos possam ter sido mal classificados, no final estas distorções serão compensadas caso o tempo classificado como “manuseio de BHA” tenha sido suprimido de “retirando” ou “descendo” a coluna.

Foram detectados como principais motivos de longos tempos no manuseio de BHA os seguintes fatores:

- Testes de motores;
- Troca de motores/turbinas;
- *Download* de dados e programação de ferramentas;
- Manuseio de fontes radioativas.

O histograma de distribuição dos tempos de manuseio de BHA possui a seguinte feição, apresentada na **Figura 3**.

Horas de manobra – Manuseio de BHA

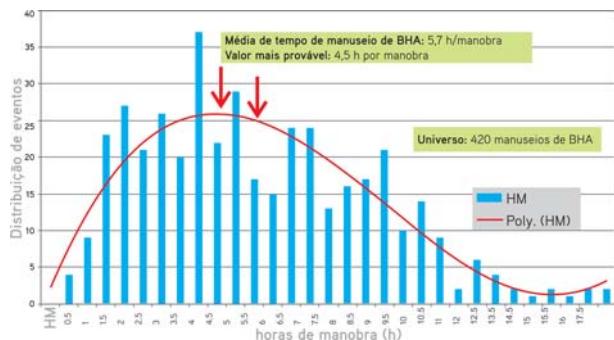


Figura 3 – Distribuição de universo de 420 manuseios de BHA

É surpreendente que apenas um número pequeno de eventos tenha levado apenas uma hora, valor do coeficiente adotado na fórmula descrita na **Equação 1**. O valor médio encontrado neste universo foi de 5,7 h para o manuseio do BHA na superfície.

Descendo a coluna

Do mesmo modo que “retirando a coluna” o levantamento de dados foi plotado em gráfico tipo XY, mostrando o resultado apresentado na **Figura 4**.

Tempos de manobra – Descendo coluna 2006

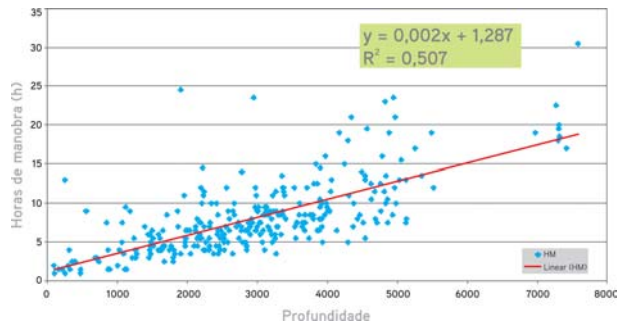


Figura 4 – Representação dos tempos de manobra descendo a coluna versus profundidade

Os pontos do gráfico, correlacionados do mesmo modo que no item anterior, geraram a seguinte fórmula:

Equação 6

$$\text{DC} = 0,002 \times P + 1,3$$

A correlação de pontos também foi baixa, porém percebe-se que a constante b em $(ax + b)$ foi menor que para a retirada da coluna, validando o senso comum de que as retiradas de coluna são mais lentas e trabalhosas que as descidas.

Tempo total de manobra

O tempo de total de uma manobra em operações no mar poderia ser previsto pela soma das fórmulas parciais:

- Retirando a coluna + Manuseio de BHA + Descendo a coluna

Deste modo, a fórmula para cálculo dos tempos de manobra pode ser estimada em:

Equação 7

$$\text{HM} = 0,004 \times \text{PE} + 9$$

Os fatores encontrados são bastante maiores do que os da fórmula tradicionalmente utilizada, podendo-se afirmar que o custo real das manobras são muito maiores do que os previstos.

Considerando-se uma taxa diária média de US\$ 200 mil/dia (Power, 2008) de uma unidade *offshore* no mercado internacional, podemos inferir que a economia de apenas 20% neste valor já seria bastante significativa. A manobra para troca de uma broca a 2.000 m de profundidade estaria levando hoje 17 h ao custo de US\$ 127.500, contra as sete horas ao custo de US\$ 52.500 previstas originalmente (ver gráfico da **Figura 5**). Este custo adi-

cional de US\$ 75 mil em apenas uma manobra, em relação ao que exprimia a fórmula tradicional, decerto não estará previsto no orçamento caso não seja feito um ajuste à realidade do equipamento e às condições de operação.

Por sua vez, como o tempo de manobra é alocado para o custo operacional da broca, o custo métrico real será maior que o considerado no planejamento dos poços. De maneira bastante realista pode-se afirmar que subestimar custos métricos pode conduzir a uma programação errônea das brocas de um poço.

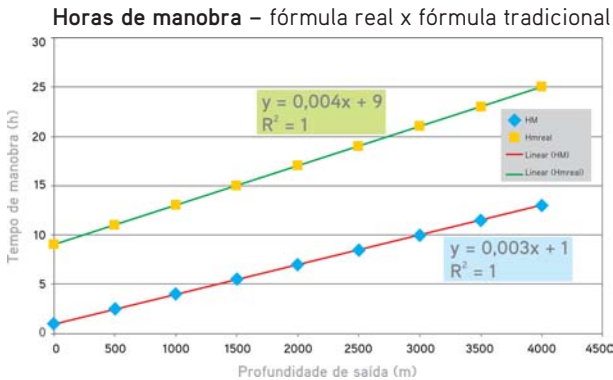


Figura 5 – Gráfico de comparação dos tempos de manobra estimados pela fórmula tradicional e pela fórmula deduzida neste trabalho

Conclusões

Este trabalho traz algumas conclusões iniciais importantes, e o seu desdobramento poderá conduzir à identificação de outros problemas ainda não detectados para melhorias na otimização de custos de perfuração.

- Consciência do problema: discutir com os envolvidos na área operacional a visão do custo real das manobras para tomada de consciência do problema e mensuração dos custos subestimados;
- Equipes de gerenciamento: formar grupos para discutir as operações não produtivas, para que idéias e soluções surjam, e ações corretas possam ser tomadas;
- Gestão de tempos e métodos (Deming, 1990): estabelecer a cobrança de eficiência idêntica às operações de perfuração de um poço em relação às manobras e tempos não produtivos;
- Seleção de brocas: o conhecimento do correto tempo de manobra deverá privilegiar o uso de brocas que apresentem maior vida útil (tricônicas com selos especiais e proteção extra de calibre, brocas de PDC mais robustas e estáveis etc.), visando postergar a manobra de retirada. O desempenho da broca não é alterado pelo tempo de manobra, mas o custo métrico é bastante afetado por uma manobra cara;
- Aplicação das conclusões: discutir se as conclusões do Grupo de Trabalho devem ser introduzidas nos Contratos de Licitação, uma vez que a base do sucesso nestes empreendimentos é a otimização dos custos métricos.

- Adoção da fórmula do Custo Métrico modificada:

Equação 2
$CM = \frac{CB + CH \times (HM + HR)}{MP}$
onde
Equação 7
$HM = 0,004 \times PE + 9$

- Desdobramentos: comparação dos tempos de manobra ao longo dos anos, refinamento da pesquisa para identificação de motivos de atrasos, avaliação comparativa de eficácia de diferentes sondas em um contrato, criação grupos de discussão de soluções, premiação de equipes eficientes.

Finalmente, com base em dados de centenas de operações, foi possível identificar que os tempos utilizados estavam muito abaixo daqueles observados nos trabalhos em campo, o que levou à necessidade de ajustes nas equações até então utilizadas. Os resultados, ainda que incipientes, levam a crer que medidas para a otimização de processos e métodos deverão ocorrer para se aumentar a correlação das curvas obtidas, e também para diminuir os fatores nas fórmulas encontradas e, portanto, o custo final de um poço.

Agradecimentos

Agradecemos à Escola de Minas de Ouro Preto e à REM a oportunidade conferida à publicação deste artigo, bem como ao professor Jório Coelho, pela prestimosa atenção que nos dispensou. ■

Referências

BARRAGAN, R. V. *Otimização dos Parâmetros de Perfuração*. Salvador/ Petrobras/ Serec/ CEN-NOR, 2007.

BLICK, E. F.; CHUKWU, G. A. How to predict when to pull the bit. *Petroleum Engineer International*, v. 62, n. 1, p. 39-41, Jan. 1980.

BRETT, J. F. The Value of Competent People. *PetroSkills/SPE* 2007. Disponível em http://www.spe.org/spe-app/spe/tt/vol1/no1/lessons_history.htm. Acesso em 28/07/2008.

DEMING, W. E. *Qualidade: A Revolução da Administração*. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

MEDEIROS, R. B.; VIDAL, C. L. R. *A importância da análise econômica na perfuração de poços*. Disponível em: http://www.perfuradores.com.br/index.php?pg=info_cientificas&sub=info_cientificas_tb&sub_tb=infocie_tb_43 Acesso em 29/08/2008.

Revista Eletrônica Power: Petróleo, Eletricidade e Energias Alternativas Disponível em: http://www.power.inf.br/notic_dia.php?cod=10162. Acesso em 28/07/2008.

Revista Eletrônica Prossiga – Biblioteca Virtual de Engenharia de Petróleo Unicamp / Brasil Energia. Disponível em: <http://www.dep.fem.unicamp.br/boletim/BE76/artigo.htm>. Acesso em 28/07/2008.