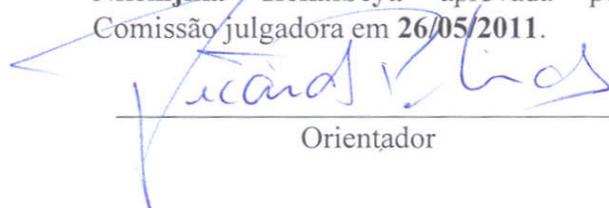


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
E INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Walter Nkemjika Ifekaibeya

**Estudo da influência da taxa de penetração de  
broca de perfuração nos custos da construção  
de poços de petróleo**

Este exemplar corresponde à redação final  
da dissertação defendida por **Walter  
Nkemjika Ifekaibeya** aprovada pela  
Comissão julgadora em **26/05/2011**.



\_\_\_\_\_  
Orientador

CAMPINAS

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
E INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE PETRÓLEO

# **Estudo da influência da taxa de penetração de broca de perfuração nos custos da construção de poços de petróleo**

Autor: Walter Nkemjika Ifekaibeya  
Orientador: Prof. Dr. José Ricardo Pelaquim Mendes  
Co-orientador: Dr. Kazuo Miura

Curso: Ciências e Engenharia de Petróleo  
Área de Concentração: Exploração

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à Comissão de Pós Graduação em Ciências e Engenharia de Petróleo da Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências e Engenharia de Petróleo.

Campinas, 2011  
SP – Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

If3e Ifekaibeya, Walter Nkemjika  
Estudo da influência da taxa de penetração de broca  
de perfuração nos custos da construção de poços de  
petróleo / Walter Nkemjika Ifekaibeya. --Campinas, SP:  
[s.n.], 2011.

Orientadores: José Ricardo Pelaquim Mendes, Kazuo  
Miura.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Engenharia de petróleo. 2. Poços de petróleo -  
Perfuração. I. Mendes, José Ricardo Pelaquim. II.  
Miura, Kazuo. III. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia Mecânica. IV. Título.

Título em Inglês: Studying the influence of rate of penetration in costs of well  
construction

Palavras-chave em Inglês: Petroleum engineering, Oil wells - Drilling

Área de concentração: Exploração

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Paulo Roberto Ribeiro, João Carlos Ribeiro Plácido

Data da defesa: 26/05/2011

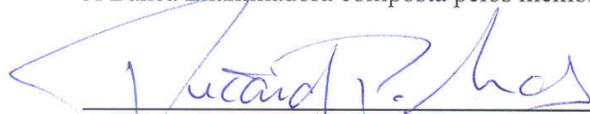
Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

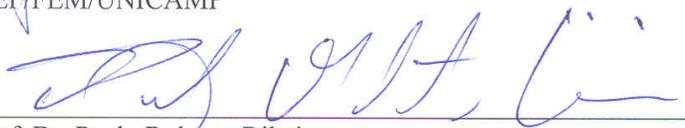
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
E INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE PETRÓLEO  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

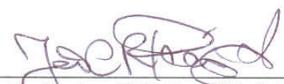
# **Estudo da Influência da Taxa de Penetração de Broca de Perfuração nos Custos da Construção de Poços de Petróleo**

Autor: Walter Nkemjika Ifekaibeya  
Orientador: Prof. Dr. José Ricardo Pelaquim Mendes  
Co-orientador: Dr. Kazuo Miura

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Ricardo Pelaquim Mendes, Presidente  
DEP/FEM/UNICAMP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Paulo Roberto Ribeiro  
DEP/FEM/UNICAMP

  
\_\_\_\_\_  
Dr. João Carlos Ribeiro Plácido  
CENPES/PETROBRAS

Campinas, 26 de maio de 2011

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais, Chika e Patrícia, pelo apoio e incentivo durante todos os momentos de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, pois sem Ele nada disso seria possível.

À minha família, pelo apoio, compreensão nos momentos mais difíceis. Em especial aos meus pais, cujo amor e incentivos em todos os momentos da minha vida foi fundamental para que eu obtivesse mais esta conquista.

Ao meu orientador, Prof. Dr<sup>o</sup> José Ricardo Pelaquim Mendes que indicou os caminhos e a direção a ser seguida durante o desenvolvimento desse trabalho de pesquisa.

Ao meu co-orientador, Dr<sup>o</sup> Kazuo Miura, cuja participação foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os amigos e colegas do DEP pela alegre e feliz convivência, em especial Sérgio, Felipe Storti e Rodrigo.

A todos os funcionários do DEP, em especial a Sônia, Michele e Alice, que através do suporte prestado nesse período contribuíram para o melhor desenvolvimento desse trabalho.

A Petrobras pelo apoio financeiro concedido no período de realização desse trabalho.

“Um homem que nunca muda de opinião, em vez de demonstrar a qualidade da sua opinião demonstra a pouca qualidade da sua mente.”

Marcel Achard.

## RESUMO

**IFEKAIIBEYA, Walter Nkemjika**, *Estudo da influência da taxa de penetração da broca nos custos da construção de poços*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 110 p. Dissertação (Mestrado).

Na área de petróleo & gás, devido aos altos custos das sondas utilizados nas atividades de perfuração no mar, o aumento da velocidade de execução das operações torna-se imprescindível. A necessidade de se reduzir esses altos custos tem feito com que empresas de perfuração busquem métodos que permitam alcançar o objetivo almejado. Uma dessas formas é o aumento da taxa de penetração (ROP) da broca. Contudo, segundo pesquisas, os efeitos obtidos através dessa prática nem sempre tem resultado na redução dos custos operacionais. Embora pertinente essa constatação, não foram desenvolvidos estudos que pudessem dizer a real influência da taxa de penetração da broca sobre os custos de construção de poços. Essa deficiência motivou o desenvolvimento desta dissertação, que possui como objetivo estudar a influência da taxa de penetração da broca sobre os custos de construção de poços utilizando informações obtidas através da análise de Boletins Diário de Perfuração, dados de *mudlogging*, entre outros. Para facilitar a avaliação desenvolveu-se um novo parâmetro de análise baseado no tradicional e difundido custo métrico da broca.

Palavras chave: Custos, taxa de penetração (ROP) da broca, desempenho da perfuração, análise de dados.

## ABSTRACT

**IFEKAIBEYA, Walter Nkemjika**, *Studying the influence of rate of penetration in costs of well construction*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 110 p. Dissertação (Mestrado).

In the field of oil and gas, due to the high costs of rigs used in drilling activities, increasing the speed of operations execution becomes essential. The need to reduce these costs has made drilling companies seek methods to achieve the desired objective. One of those ways is to increase the rate of penetration (ROP) of the bit. However, according to surveys, the outcomes achieved through this practice have not always result in lower operating costs. Although relevant, studies that could tell the real influence of bit's penetration on the costs of well construction were not developed. This deficiency has motivated the development of this dissertation, which has as objective to study the influence of penetration rates on the well construction costs by using information obtained from daily drilling reports analysis, mudlogging data, among others. To facilitate the evaluation influence of bit's penetration on the costs of well construction has developed a new parameter of analysis based on the traditional and popular cost per foot.

Key Words: Costs, rate of penetration (ROP), drilling performance, data analysis.

# Índice

<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>xvii</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>xix</b>
<b>Nomenclatura.....</b>	<b>xxi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1.    Panorama Geral.....	1
1.2.    Objetivo do trabalho .....	3
1.3.    Estrutura da dissertação .....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1    Análise dos Dados de Perfuração .....	5
2.2    Otimização da Perfuração de Poços.....	8
2.3    Indicadores de desempenho da perfuração de poços .....	13
2.3.1    Custo métrico da broca.....	14
2.3.2    Densidade de energia mecânica .....	26
<b>3. FUNDAMENTOS DA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO .....</b>	<b>31</b>
3.1    Planejamento.....	31
3.2    Projeto.....	32
3.3    Construção do Poço .....	37
3.3.1    Operações desenvolvidas durante a construção do poço .....	39

<b>4. PROCEDIMENTO PROPOSTO PARA ANÁLISE DO DESEMPENHO DA PERFURAÇÃO DE POÇOS.....</b>	<b>49</b>
4.1 Procedimento adotado para análise do desempenho .....	50
4.1.1 Separação e organização dos dados .....	50
4.1.2 Análise dos dados de perfuração.....	50
<b>5. APLICAÇÕES E RESULTADOS .....</b>	<b>57</b>
5.1 Premissas adotadas .....	57
5.2 Resultados obtidos .....	58
5.3 Identificando a influência da taxa de penetração (ROP) da broca.....	65
5.3.1 Tempos Não Produtivos (TNP).....	65
5.3.2 Operações de Circulação e de Cimentação .....	66
5.3.3 Descida de revestimento.....	68
5.4 Considerações Finais .....	69
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>71</b>
6.1 Conclusões .....	71
6.2 Sugestões para pesquisas futuras .....	72
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO I - CRITÉRIO DE CHAUVENET .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO II - DADOS COLETADOS .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO III - EXEMPLO DE CÁLCULO DO CUSTO MÉTRICO DA CONSTRUÇÃO.....</b>	<b>93</b>

## Lista de Figuras

Figura 1.1: Evolução dos custos de perfuração de poços nos EUA. ....	2
Figura 2.1. Diagrama relacionando os tempos de duração para perfuração de um poço (Adeleye et al, 2004).....	6
Figura 2.2: Ciclo de execução e planejamento de um poço (Nakagawa et al, 2005). ....	7
Figura 2.3: Histórico de publicações que citam o custo métrico da broca. ....	20
Figura 2.4: Flutuação do custo da broca em função do seu avanço. ....	21
Figura 2.5: Flutuação do custo de manobra em função do avanço de uma broca fictícia. Fonte: Amorim Junior, 2008. ....	22
Figura 2.6: Flutuação do custo da operação em função do avanço de uma broca fictícia. ..	23
Figura 2.7: Flutuação do custo métrico em função do avanço de uma broca fictícia. ....	24
Figura 2.8: Custo métrico da broca versus taxa de penetração da broca com dados de 120 poços. ....	25
Figura 2.9: Gráfico log x log do custo métrico da broca versus taxa de penetração da broca com dados de 120 poços. ....	25
Figura 3.1: Atividades envolvidas no projeto de um poço (Mendes, 2001).....	33
Figura 3.2: Esquema das fases de um poço de petróleo. ....	38
Figura 3.3: Ilustração da mesa rotativa e <i>Kelly</i> . ....	40
Figura 3.4: Ilustração de um tipo de alargador. ....	41
Figura 3.5: Ilustração da ferramenta de perfilagem.....	42

Figura 5.1: Comportamento do custo métrico da broca em função da taxa de penetração. .	59
Figura 5.2. Comportamento do custo métrico da broca em função da taxa de penetração. .	60
Figura 5.3. Comportamento do custo métrico da fase em função da taxa de penetração.....	61
Figura 5.4: Ilustração da região de interesse do gráfico. ....	62
Figura 5.5: Gráfico de velocidade média de construção da fase versus ROP. ....	64
Figura 5.6. Gráfico de razão da duração das operações complementares pela duração total versus ROP. ....	65
Figura 5.7.: Gráfico dos Tempos Não Produtivos (TNP) versus a taxa de penetração. ....	66
Figura 5.8. Duração da atividade de circulação do poço para descida de revestimento versus taxa de penetração (ROP) da broca. ....	67
Figura 5.9. Duração da atividade de cimentação do revestimento versus taxa de penetração (ROP) da broca. ....	67
Figura 5.10. Gráfico de tempo médio de descida de revestimento versus ROP.....	68
Figura 5.11. Ilustração de um poço espiralado (adaptação de Mason, 2007).....	69
Figura 5.12. Comportamento da duração das operações principais com o aumento da taxa de penetração (ROP) da broca. ....	70

## **Lista de Tabelas**

Tabela 3.1: Fase Condutor Perfurado .....	44
Tabela 3.2: Fase de Superfície.....	44
Tabela 3.3: Fase Intermediário .....	45
Tabela 3.4: Fase de Produção .....	45
Tabela 3.5: Fase Drill-in.....	45
Tabela 5.1.: Dados dos poços da região de interesse.....	63

# **Nomenclatura**

## **Siglas**

JAS = Joint Association Survey

EIA = Energy Information Administration

OPEP = Organização dos Países Exportadores de Petróleo

E&P = Exploração e Produção

ROP = Rate of penetration

BOP = Blowout Preventer

BCT = Best Composite Time

BCC = Best Composite Cost

SE = Densidade de Energia Mecânica

UCS = Resistência não confinada da formação.

BHA = Bottom Hole Assembly

TNP = Tempos Não Produtivos

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

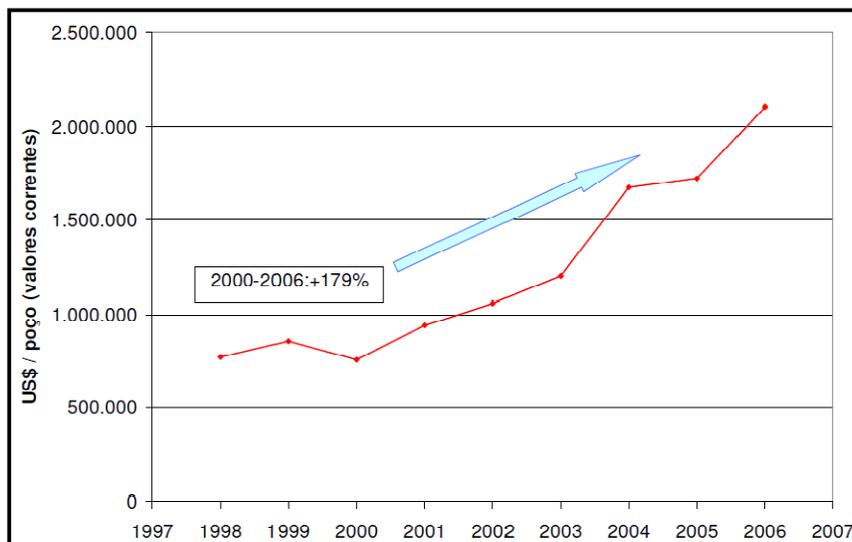
### 1.1. Panorama Geral

A perfuração de poços de petróleo em ambientes *offshore* caracteriza-se por ser uma atividade que envolve grande complexidade, riscos e elevados custos financeiros. Estima-se que o gasto mundial com a atividade de perfuração de poços ultrapassa, nos dias atuais, a cifra de US\$ 250 bilhões (Spears & Associates, 2009), correspondendo a mais que o dobro do registro de US\$ 109,8 bilhões estabelecidos em 2006 (JAS, 2007). Desse valor, 37% (US\$ 92,5 bilhões) se devem a custos de equipamentos e sonda de perfuração.

Segundo o departamento de energia dos Estados Unidos (EIA), em 2007, o forte crescimento econômico mundial tem contribuído para o aumento da demanda internacional por petróleo. Todavia, de acordo com a BP (*British Petroleum*), entre 2003 e 2007 a expansão da produção mundial de petróleo foi de 1,4% ao ano, contra o crescimento da demanda mundial de 1,9% ao ano para o mesmo período. Essa diferença mostra que a produção mundial de petróleo não tem apresentado o mesmo dinamismo da demanda. Um dos principais motivos para isso tem sido o declínio da produção de várias regiões maduras, sendo esse um dos fatores que tem contribuído para a expansão das fronteiras exploratórias e mobilizado grandes esforços por parte da indústria de perfuração no desenvolvimento de tecnologias capazes de suprir os novos desafios.

A elevação do patamar de preços do petróleo causada pela alta demanda tem catalisado as atividades de E&P em vários países, incrementando a procura por sondas, equipamentos,

embarcações, plataformas e mão-de-obra qualificada. Tal aquecimento do mercado fornecedor de bens e serviços para a indústria do petróleo pressionou significativamente os custos de E&P. Como exemplo deste atual cenário visualiza-se que o custo do aluguel de uma sonda de perfuração *offshore* para lâmina d'água até 3.000 metros alcançou em 2008 o valor de US\$ 600 mil ao dia, contra US\$ 500 mil ao dia em 2007 e US\$ 150 mil ao dia em 2002 (Mouawad e Fack, 2008; Phillips, 2008). Adicionalmente, o preço do aço triplicou desde 2000 (SB, 2008). No caso dos EUA, por exemplo, os custos médios de perfuração de poços (exploratórios e de desenvolvimento) subiram 179% entre 2000 e 2006 (vide Figura 1.1) em valores correntes.



**Figura 1.1:** Evolução dos custos de perfuração de poços nos EUA.

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2008)

O crescimento acelerado dos custos da perfuração de poços tem feito com que as empresas do ramo busquem caminhos alternativos para reduzir seus elevados gastos. Um desses caminhos tem sido destinar parte dos seus investimentos em pesquisas na área de engenharia de poços. Geralmente, por representar o avanço da profundidade do poço, grande parte dessas pesquisas se destina à operação de perfuração propriamente dita. Em muitos trabalhos como, por exemplo, Bahari *et al.* (2007), Rashidi *et al.* (2008), entre outros, a

diminuição do custo da perfuração de poço se dá através maximização da taxa de penetração da broca (ROP).

Contudo, segundo pesquisas recentemente realizadas, a indústria de perfuração tem buscado, indiscriminadamente, os efeitos da taxa de penetração (ROP) da broca sobre a eficiência da perfuração de poços, mas quando comparadas a situações reais de campo, os resultados obtidos sobre os custos operacionais nem sempre são positivos.

## **1.2. Objetivo do trabalho**

O objetivo deste trabalho é avaliar se o aumento da taxa de penetração da broca é o melhor caminho para se otimizar a perfuração de poços.

Para isso, desenvolveu-se um procedimento para analisar a influência da taxa de penetração da broca nos custos de construção de poços, baseando-se no tradicional e difundido custo métrico da broca.

## **1.3. Estrutura da dissertação**

Dessa forma este trabalho foi dividido nos seguintes capítulos:

- No Capítulo 2 são apresentadas revisões bibliográficas sobre os métodos desenvolvidos para se otimizar a perfuração de poço e os indicadores que a indústria utiliza para avaliar o desempenho das operações desenvolvidas durante a perfuração de poços.
- No Capítulo 3 tem-se uma breve fundamentação teórica dos trabalhos disponíveis na literatura sobre os temas planejamento e projeto de poço, contendo uma descrição das atividades envolvidas neste processo. Em seguida, ainda neste capítulo, apresentam-se fundamentos de perfuração de poços comentando-se as principais atividades desenvolvidas.

- No Capítulo 4 é feita a descrição do parâmetro de análise proposto neste trabalho, ressaltando-se os principais aspectos de sua aplicação.
- No Capítulo 5 são apresentados os resultados de um estudo de caso utilizando o parâmetro, proposto no Capítulo 4, sobre dados reais de poços perfurados em um campo marítimo no Brasil.
- Finalmente, no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões obtidas com o estudo realizado, além de algumas sugestões para trabalhos futuros.

O trabalho também possui, ao final, anexos com os dados utilizados nas análises deste trabalho.

## Capítulo 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentadas revisões bibliográficas sobre: i) a importância da análise dos dados de perfuração para a construção do poço, ii) os métodos desenvolvidos para se otimizar a perfuração, iii) os principais indicadores utilizados pela indústria para avaliar o desempenho das operações desenvolvida durante a perfuração de poços.

#### 2.1 Análise dos Dados de Perfuração

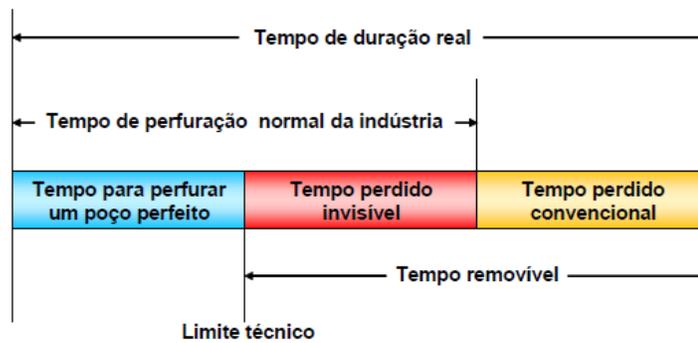
Muitas das etapas necessárias para a elaboração do projeto de um poço necessitam de informações de outros poços já perfurados. A análise desses dados é de fundamental importância, pois possibilita que o projeto se adeque às particularidades de cada campo e seja possível estimar os melhores parâmetros a serem aplicados.

*“Um poço não pode ser devidamente planejado se os ambientes esperados não são conhecidos.” (Adams, 1985)*

A epígrafe acima comenta um dos aspectos mais importantes do projeto de poço, o conhecimento da área. Ter em mente as características da região e os problemas ali enfrentados durante a perfuração de outros poços é de extrema importância para o sucesso das operações. Dessa forma, a aquisição e a análise de dados são juntas, elementos-chave que possibilitam o conhecimento necessário para planejar e construir um poço de maneira adequada.

Devido à importância dessa área, tal assunto pode ser visualizado em diversos trabalhos como, Adeleye *et al.* (2004), Nakagawa *et al.* (2005) e Iyoho *et al.* (2005).

De acordo com Adeleye et al (2004) há uma subutilização de metodologias para análise de dados quando se trata de promover a eficiência das operações. Os autores acreditam que apesar de existirem muitos trabalhos desenvolvidos que apresentam métodos para otimizar o processo de construção de um poço, poucos deles tratam desta melhoria através de uma análise minuciosa dos dados de perfuração. A partir disso, propõem uma metodologia que engloba um processo de investigação para identificar o que chamam de tempo invisível, ou tempo perdido não convencional, como pode ser visualizado na Figura 2.1.



**Figura 2.1.** Diagrama relacionando os tempos de duração para perfuração de um poço (Adeleye et al, 2004).

A área em azul no gráfico acima representa o tempo que seria gasto para perfurar um poço considerado perfeito, ou seja, sem ocorrência de quaisquer tipos de problemas que venha a interromper a perfuração. Esse tempo pode ser estimado através da composição dos melhores tempos obtidos nas atividades executadas durante a perfuração de diversos poços em uma mesma região (BCT – *Best Composite Time*).

A área em vermelho está relacionada ao desempenho das operações executadas na perfuração do poço e sua identificação não é tão trivial como a do tempo não-produtivo convencional e necessita de uma análise mais específica dos tempos de duração das atividades realizadas. A avaliação do tempo de duração dessas atividades para diferentes

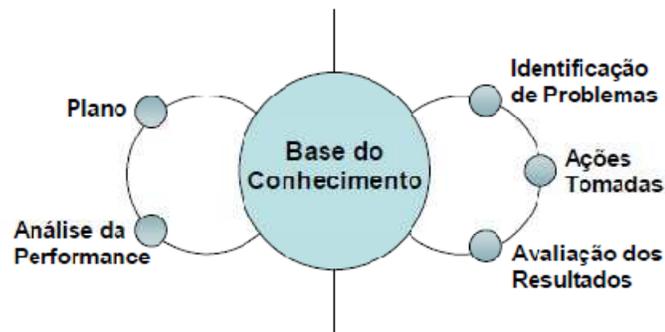
poços perfurados em uma dada região permite identificar os tempos médios de duração da mesma, bem como os melhores e piores desempenhos.

Já a área em laranja corresponde ao tempo não-produtivo convencional. Esse tempo, geralmente, está associado a eventos anormais, como problemas de falha de equipamento, controle de poço, instabilidade geomecânica, entre outros.

Através dessa análise, Adeleye et al (2004) mostrou ser possível se ter uma idéia do desempenho das atividades executadas, identificando quais podem ser melhoradas (ou seja, ter seu tempo de duração reduzido), e estabelecer, assim, um objetivo comum de desempenho para as próximas operações. Tal análise consiste, basicamente, do levantamento dos tempos de operação como perfuração (tempo de broca no fundo), manobra e manuseio de ferramentas, operações de BOP e cabeça de poço, assentamento de revestimento e cimentação, perfilagem de avaliação e testemunhagem.

Com a aplicação dessa metodologia em campo, obteve-se como resultado uma significativa redução no tempo médio da perfuração dos poços (37%), nos custos (15%) e no tempo perdido convencional (reduzindo cerca de 40%), mostrando assim grandes avanços no desempenho das operações, identificando as atividades críticas que poderiam ser melhoradas.

Nakagawa *et al.* (2005) também destaca o processo de análise de dados como uma “forma de melhorar o processo de superfície e sub-superfície, incluindo aspectos operacionais e de projeto”. Os autores também comentam que a aquisição e uso do conhecimento a partir da disponibilidade de informações é o elemento que abre oportunidade para a melhoria operacional, como pode ser visto na Figura 2.2.



**Figura 2.2:** Ciclo de execução e planejamento de um poço (Nakagawa et al, 2005).

No ciclo mostrado acima, o conhecimento baseia-se na análise de dados históricos, como a avaliação do desempenho de operações, análise de riscos, tempo e custo. Com base nessa idéia, os autores propõem uma metodologia para facilitar a coleta e armazenagem de dados, que, segundo os mesmos, são aspectos fundamentais para garantir a qualidade das informações.

Iyoho *et al.* (2005), apresenta em seu trabalho uma metodologia que integra a utilização de curvas de aprendizado e levantamento do BCT e BCC para redução dos Tempos Não Produtivo e, conseqüentemente, dos custos do projeto. Em seu estudo apresentou bons resultados de aplicação prática.

Finalmente, outros trabalhos também têm destacado a importância da análise de dados como meio de gerenciar o desempenho das operações de perfuração.

Como se pode observar, a análise de dados é uma importante ferramenta para se reduzir custos de perfuração. Além disso, ela contribui para o processo de otimização da perfuração de poços, que será visto no item a seguir.

## **2.2 Otimização da Perfuração de Poços**

A otimização da perfuração é um processo que tem por finalidade melhorar a eficiência da perfuração de poços através da combinação ótima de parâmetros tais como o peso aplicado sobre a broca, a velocidade de rotação da coluna, a vazão de bombeio, entre outros. Para isso, usam-se modelagens matemáticas que analisam os registros de dados de perfuração com o objetivo de avaliar os impactos dessas variáveis controláveis nos custos da perfuração de poços. Através disso, são identificadas as combinações que proporcionaram o melhor desempenho da perfuração numa dada região auxiliando na redução do tempo e custo de construção de novos poços.

Em tempo de elevados preços de equipamentos e serviços, a otimização de perfuração tem se tornado uma área de grande interesse por parte de muitos especialistas. É importante notar que a perfuração otimizada não seria possível hoje sem o trabalho duro de muitos pesquisadores que passaram um tempo considerável estudando os efeitos das variáveis de perfuração.

O primeiro método proposto para se otimizar o processo de perfuração foi desenvolvido por Speer, em 1958. Em seu estudo, relacionou a taxa de penetração com diversos parâmetros envolvidos na perfuração como: peso sobre a broca, a velocidade de rotação da coluna, a potência hidráulica e a dureza da formação, combinando esses cinco parâmetros em um único gráfico a fim de determinar a melhor combinação de perfuração.

Um ano após esse modelo, Garnier e Lingen realizaram experiências laboratoriais com amostras de testemunhos coletados em campo. Os resultados mostraram que a taxa de penetração era fortemente afetada pelo diferencial de pressão dado pelo fluido de perfuração e a pela pressão dos poros.

Uns dos primeiros pesquisadores a realizarem avaliações sobre os dados de perfuração com o objetivo de determinar a combinação ideal de peso sobre a broca e velocidade de rotação da coluna foram Graham e Muench em 1959. Eles utilizaram uma abordagem matemática para relacionar o custo da perfuração com o estado da broca. Foram desenvolvidas expressões empíricas para determinar a vida útil da broca e a taxa de penetração em função da velocidade, profundidade e peso aplicado sobre a broca. O estudo mostrou ser capaz de estimar o peso e a velocidade ideal da broca a fim de minimizar os custos totais de perfuração.

Em 1962, Maurer desenvolveu um modelo de taxa de penetração baseado na condição “limpeza perfeita” do poço, em que considera-se remover todo o cascalho. Em seu trabalho, descreveu uma relação entre a taxa de penetração, peso sobre a broca e velocidade de rotação supondo o poço estar em perfeitas condições de limpeza. A equação gerada para a taxa de penetração da broca é dado a seguir.

$$\frac{dF}{dt} = \frac{4}{\pi d_b^2} \frac{dV}{dt} \quad (2.1)$$

onde, F é a profundidade perfurada pela broca em metros, t é o tempo gasto na perfuração em horas, V é o volume de rocha removida em metros cúbicos e  $d_b$  é o diâmetro da broca em polegadas.

Galle e Woods, com objetivo similar ao de Graham e Muench, investigaram em 1963 os efeitos do peso sobre a broca e da velocidade de rotação da coluna de perfuração.

Em 1965, Bingham propôs uma equação de taxa de penetração da broca com base em dados de laboratório, Equação 2.2. Nessa equação, assumiu a taxa de penetração como função do peso aplicado sobre a broca e velocidade de rotação da coluna. O expoente  $a_5$  foi assumido ser determinado experimentalmente através das condições do campo.

$$ROP = K \times \left( \frac{WOB}{d_b} \right)^{a_5} \times RPM \quad (2.2)$$

onde, ROP é a taxa de penetração da broca, K é a constante de proporcionalidade da resistência da rocha, WOB é o peso sobre a broca e o RPM é a velocidade de rotação da coluna.

Young, em 1967, apresentou um sistema computadorizado de controle da perfuração para controlar o peso sobre a broca e velocidade de rotação da coluna. Ele introduziu o conceito de custo mínimo de perfuração para avaliar o desempenho de três comportamentos: taxa de penetração em função do peso aplicado a broca, taxa de desgaste da broca em função da velocidade de rotação da coluna e a oscilação do custo com o aumento da taxa de penetração da broca.

Em 1969, Wardlaw mencionou em seu trabalho haver uma relação entre a eficiência de perfuração e a taxa de penetração da broca. Ele mostrou que para se obter a máxima eficiência da perfuração era necessário estabelecer relações entre o peso sobre a broca, a velocidade de rotação e a configuração da broca. Ainda em seu trabalho, ilustrou através de experimentos que quanto maior fosse a taxa de penetração maior seria a eficiência da perfuração.

Em 1972, Wilson e Bentsen investigaram vários procedimentos de otimização de perfuração concentrando-se na otimização do peso sobre a broca e velocidade de rotação da coluna com objetivo de aumentar a taxa de penetração. Os autores sugeriram três modelos matemáticos para estimar quantitativamente os efeitos de alguns parâmetros chaves envolvidos na perfuração e concluíram que o peso sobre a broca e a velocidade de rotação da coluna são os fatores mais importantes durante a perfuração do poço. Os modelos desenvolvidos possuíam como objetivo promover a redução do custo métrico durante a

perfuração de uma broca, minimizar o custo métrico de um determinado intervalo e minimizar o custo de uma serie de intervalos.

Um dos mais importantes estudos realizados no que diz respeito à busca da perfuração ideal é o modelo de Bourgoyne e Young. Em 1974, eles desenvolveram um modelo linear de taxa de penetração da broca através do método de regressão múltipla, com o objetivo de selecionar o peso sobre a broca, a velocidade de rotação da coluna e a hidráulica da broca que representasse a máxima eficiência da perfuração. Nas análises incluíram, também, os efeitos da força da formação, a profundidade, o grau de compactação da formação, o peso aplicado sobre a broca de perfuração, o diâmetro da broca, a velocidade de rotação da coluna de perfuração e os desgastes e a hidráulica da broca. Com isso, descobriram que através da regressão múltipla poderiam determinar varias constantes que impactam na taxa de penetração da broca uma determinada região, concluindo também que o uso da equação de taxa de penetração possibilitou uma redução dos custos de perfuração em 10%.

$$ROP = f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5 \times f_6 \times f_7 \times f_8 \quad (2.3)$$

As relações funcionais dessa equação são:

$$f_1 = e^{2.303a_1} = K \quad (2.3.a)$$

$$f_2 = e^{2.303a_2(1000-D)} \quad (2.3.b)$$

$$f_3 = e^{2.303a_3D^{0.69}(g_p-9)} \quad (2.3.c)$$

$$f_4 = e^{2.303a_3D(g_p-\rho_c)} \quad (2.3.d)$$

$$f_5 = \left[ \frac{\frac{WOB}{d_b} - \left(\frac{WOB}{d_b}\right)_t}{4 - \left(\frac{WOB}{d_b}\right)_t} \right] \quad (2.3.e)$$

$$f_6 = \left(\frac{RPM}{60}\right)^{a_6} \quad (2.3.f)$$

$$f_7 = e^{-a_7 h} \quad (2.3.g)$$

$$f_8 = \left( \frac{F_j}{1000} \right)^{a_8} \quad (2.3.h)$$

onde:

$a_1$  e  $a_8$  = Constantes;

D = Profundidade vertical, ft;

$d_b$  = Diâmetro da broca, in;

$F_j$  = Força de impacto, lbf;

$g_p$  = Gradiente de pressão dos poros, lbm/gal;

$h$  = Desgaste dos dentes da broca;

$\rho_c$  = Densidade equivalente de circulação, lbm/gal;

RPM = Velocidade de rotação da coluna, rpm;

ROP = Taxa de penetração da broca, ft/hr;

WOB = Peso sobre a broca, klbf;

$(WOB/d_b)_t$  = Limite de peso sobre a broca por diâmetro para que a broca comece a perfurar, klbf/in.

Acredita-se que o modelo de Bourgoyne e Young seja o mais completo quando se trata de prever a taxa de penetração em função de parâmetros operacionais, tipo de broca e propriedades da formação.

Al-Betairi *et al.* (1985) apresentaram um estudo de caso para otimizar as operações de perfuração na área do Golfo Pérsico. O modelo proposto por Bourgoyne e Young foi aplicado nesse estudo com um sistema de análise estatística para validá-lo. Eles observaram que para um determinado conjunto de coeficientes o modelo tornou-se sensível. Contudo, a combinação de peso sobre a broca e velocidade de rotação encontrou-se próxima do estimado pelo modelo.

Warren *et al.* (1985) avaliaram a influência da variação do estado de tensões no fundo do poço sobre a taxa de perfuração mediante a um programa em elementos finitos.

Concluíram que devido à perfuração (remoção da sobrecarga e troca pelo fluido de perfuração) a tensão média sofre uma diminuição no fundo do poço que causa um incremento de volume da rocha na proximidade do mesmo. Isso reduz significativamente a pressão de poros no caso de formações impermeáveis tais como os folhelhos, mas não afeta o campo de pressões nas formações permeáveis, conservando-se, desta forma o diferencial de pressão imposto pela pressão do fluido de perfuração e a pressão da formação.

Após esses modelos, o grande enfoque da indústria se direcionou para o desenvolvimento de brocas que apresentassem uma durabilidade maior e que possibilitasse através de diversas combinações de parâmetros a maior taxa de penetração.

Esse enfoque pôde ser observado no trabalho de Sinor *et al.* (1998). Eles descreveram em seus trabalhos que a evolução dos tipos de broca, principalmente a PDC (foco de seus trabalhos) possibilita o aumento da taxa de penetração e da eficiência da perfuração, reduzindo dessa forma os custos envolvidos nesses processos.

Outros trabalhos como Koederitz (2005) e Bahari e Seyed (2009), salientam que na operação de perfuração uma grande quantidade de tempo e dinheiro pode ser poupada, reduzindo-se o tempo de perfuração através do aumento da taxa de penetração.

Através desses trabalhos, notou-se a visão de alguns profissionais da área sobre a forma de se aumentar a eficiência do processo de perfuração de poços, através da otimização dos parâmetros com intuito de maximizar a taxa de penetração.

### **2.3 Indicadores de desempenho da perfuração de poços**

Com a alta dos custos da atividade de exploração e produção, o monitoramento do desempenho das operações tornou-se uma peça chave quando o assunto é a redução de custos. Embora o processo de perfuração seja similar pelo mundo, as condições geológicas, a experiência da empresa operadora, a disponibilidade de equipamentos e a finalidade do poço, dentre outros fatores, levam a perfuração a uma diversificada gama de desempenho.

Sabe-se que para uma empresa se manter competitiva, ela deve constantemente avaliar o desempenho de seus processos sendo necessário estabelecer relações entre os diversos fatores que influenciam a operação.

A forma convencional de análise de desempenho da perfuração compara o rendimento obtido na perfuração atual com os padrões estatísticos obtidos através de poços de correlação. No entanto, esse método é subjetivo e variável, mostrando-se haver uma lacuna de modelos que analisam o desempenho de maneira absoluta.

Segundo Valle dos Santos *et al.* (2008), a principal dificuldade de se comparar o desempenho de poços em diferentes regiões geográficas, lâminas d'água e profundidades diferentes, entre outros aspectos é que é necessário se encontrar uma forma de trazer todos os poços para um mesmo referencial.

Diante dessa lacuna, este capítulo apresenta os principais indicadores de desempenho adotados pelas empresas de perfuração para análises operacionais durante a construção de um poço.

### **2.3.1 Custo métrico da broca**

Um dos aspectos mais importantes do projeto de poço é o prognóstico de tempo e custo. Partindo da premissa de que o tempo é o principal fator a influenciar o custo final da perfuração de um poço, tornou-se de suma importância a utilização de indicadores que adotassem esse parâmetro em suas análises para a previsão dos gastos.

Em 1982, Brett e Millheim, tentando justificar a economia em realizar as operações de perfuração de uma maneira diferente da praticada na época, verificaram que não havia modelos econômicos para estimar o desempenho da perfuração de poços de petróleo. A forma de estimar e comparar os tempos de perfuração era por um método gráfico que relacionava a profundidade do poço com o tempo de perfuração. Em 1984, um artigo de revista técnica<sup>1</sup> chamou a atenção deles. Neste, o autor declarava que a aplicação direta de

---

<sup>1</sup> Simpson, M. A., "Calculator program optimizes bit weight, rotary speed, reducing drilling costs.". Oil and Gas Journal 71 – 78, abril de 1984.

programas de computador para a otimização da perfuração no Golfo do México mostrou grandes avanços no tempo de perfuração de um poço; a curva de “profundidade versus tempo” mostrava redução do número de dias a cada novo poço, justificando sua reivindicação por melhorias. Pensando nisto, Brett e Millheim (1986) perceberam que poderiam utilizar a teoria da curva de aprendizado na estimativa de tempo e na avaliação de desempenho na perfuração de uma sequência de poços numa dada área.

Realizando-se um estudo sobre mais de 2000 poços perfurados, confirmou-se a aplicabilidade da curva de aprendizagem na perfuração de poços. Esta foi a primeira publicação de um modelo econômico para avaliar o desempenho de perfuração e uma das primeiras aplicações da teoria de curva de aprendizado na engenharia de petróleo.

Em uma das conclusões do trabalho de Noerager *et al.* (1987) observou-se que para uma dada área geográfica o tempo de construção de poços depende principalmente da profundidade medida e é afetado pelo ano em que a perfuração do poço é iniciada (efeito de desenvolvimento de tecnologia) e pela ordem em que o poço é perfurado (efeito da curva de aprendizado). Shilling e Lowe (1990) relatam a aplicação de um sistema automático de planejamento de poço e estimativa de custos que utiliza como entrada a recuperação de custos realizados do banco de dados da contabilidade combinado com os dados de desempenho de perfuração de um banco de dados de perfuração. Consideram que uma ferramenta consistente e calibrada de estimativa de custos combinada com um eficiente programa de acompanhamento de custos, melhora o planejamento do poço, a precisão das estimativas e o controle de custos.

Brannigan (1992) considerou que as operações de perfuração são caracterizadas de quatro formas fundamentais e apresenta um modelo de banco de dados relacional que as unifica e compara a modelos alternativos. O autor relata, também, que existem três principais razões para a coleta precisa de dados estatísticos de perfuração. Primeiramente, são úteis na identificação de futuras fontes de problemas. Em segundo lugar, são necessários para estimativas precisas de tempo e custos de perfuração. E, finalmente, são frequentemente solicitados para verificação do desempenho de perfuração.

Whelehan e Thorogood (1994) apresentaram um novo sistema de previsão de tempo baseado num modelo coerente e detalhado de tempo de perfuração que serve de suporte para o relatório diário do poço, para a análise de desempenho e para a realização de previsões. A metodologia apresentada foi automatizada num sistema de informação de perfuração, disponibilizando para engenheiros, em seus computadores de mesa, uma poderosa ferramenta de análise. Eles consideram o tempo de perfuração como um dos principais componentes do custo do poço.

Como pôde se observar, muitos trabalhos foram desenvolvidos para estimar custos e desempenhos da atividade de perfuração de poços. Grande parte dessas pesquisas teve como base o trabalho desenvolvido por Blick e Chukwu em 1980, que utilizaram em seus estudos o conceito de custo métrico da broca como forma de análise do desempenho das brocas utilizadas num determinado campo. Em seus trabalhos, os autores fizeram a seguinte descrição:

*“Na sua forma mais simples, o custo métrico depende dos custos da broca e da sonda, tempos de rotação e manobra, e metragem perfurada.”* (BLICK e CHUKWU, 1980)

Apesar de antiga, esta equação ainda tem sido amplamente utilizada pela indústria para avaliação do desempenho operacional da perfuração de um poço. A relação descrita na citação acima pode ser visualizada na Equação 2.4.

$$CM = \frac{C_b + CH_s \times (HM + HR)}{MP} \quad (2.4)$$

onde:

CM = Custo métrico da broca, US\$/m,

C<sub>b</sub> = Custo da broca, US\$,

CH<sub>s</sub> = Custo horário da sonda, US\$/h,

HM = Horas gastas para troca de broca, h,

HR = Horas de rotação ou broca de fundo, h,

MP = Intervalo Perfurado, m ou ft.

Essa equação contém os custos que envolvem o avanço do poço pela operação de perfuração e elimina quaisquer tipos de problemas que possam vir a ocorrer como pescarias de ferramentas, quebra de equipamentos, paradas por condições meteorológicas adversas, em reparos e etc. É importante citar que a equação descrita adéqua-se a poços onde a Operadora compra suas brocas de perfuração.

### **2.3.1.1 Análise dos elementos formadores de custo**

A principal dificuldade em se comparar o desempenho de poços de regiões de geografias, lâminas d'águas e profundidades finais diferentes, entre outros aspectos, é a necessidade de se encontrar uma forma de trazer todos os poços para um mesmo referencial. Uns dos fatores mais influenciados por essas questões são as horas de manobras, que passam necessariamente por simplificações com o intuito de deixá-las previsível.

#### **2.3.1.1.1 Horas de Manobras**

Segundo Amorim (2008), quanto mais profundo for o poço, mais horas serão necessárias para a retirada de uma coluna para a troca de broca, descida revestimento, descida de ferramentas de perfilagem etc. As horas gastas para retirar uma coluna do poço e voltar com uma nova broca para reinício da perfuração é função direta de inúmeros fatores, como pode ser visto a seguir:

##### **a) Sob o ponto de vista da sonda**

- ✓ Eficiência de equipamentos para rosquear tubos;
- ✓ Potência do motor do guincho da sonda;
- ✓ Números de voltas de cabos nas polias da *catarina*;

- ✓ Número de tubos estaleirados no mastro;
- ✓ Existência de *top drive*;
- ✓ Manutenção preventiva de equipamentos, elevadores etc;

**b) Sob o ponto de vista da operação**

- ✓ Utilização de ferramentas adicionais na coluna que exijam tempo de manuseio extra, além de estabilizadores e *reamer*;
- ✓ Utilização de fontes radioativas em ferramentas tipo MWD (mede enquanto perfura), que exijam medidas de segurança especiais;
- ✓ Utilização de ferramentas que exijam downloads dos dados obtidos no fundo do poço, que não sejam do tipo MWD;
- ✓ Intempéries;

**c) Sob o ponto de vista do poço**

- ✓ Arquitetura e inclinação das fases do poço;
- ✓ Tipo de fluido utilizado;
- ✓ Lâmina d'água quando em operações *offshore*;
- ✓ Formações atravessadas;
- ✓ Vazão utilizada durante a perfuração;

**d) Sob o ponto de vista humano**

- ✓ Idades das equipes plataformista;
- ✓ Falta de experiência;

Devido à ocorrência desses inúmeros fatores, para a aplicação da fórmula de custo métrico da broca houve a necessidade de se realizar simplificações.

De acordo com Dyer<sup>2</sup> (1984), a fórmula universalmente aceita para representar as horas de manobra para a troca de uma broca é:

$$HM=0,003 \times PE+1 \quad (2.5)$$

Onde **HM** são as horas de manobra para a troca de uma broca (h) e **PE** é a profundidade de entrada da broca (m).

O fator 0,003 representa um fator de produtividade da sonda, originado da média de 3 horas de manobra para cada 1000 metros de profundidade. A hora unitária somada ao resultado da multiplicação representa, teoricamente, o tempo gasto na plataforma para a troca de broca e manuseio de BHA.

Com o encarecimento das taxas operacionais Amorim (2008) procurou em seu estudo verificar a validade da equação de horas de manobras, com o intuito de evitar grandes distorções nos custos dos poços e frustrações quanto às expectativas dos cronogramas propostos pelas empresas. Ele utilizou dados reais de 420 manobras para a troca de broca com o objetivo de encontrar uma equação que representasse o tempo total de manobra para os poços atuais. A fórmula gerada a partir desses dados é fornecida pela Equação 2.6.

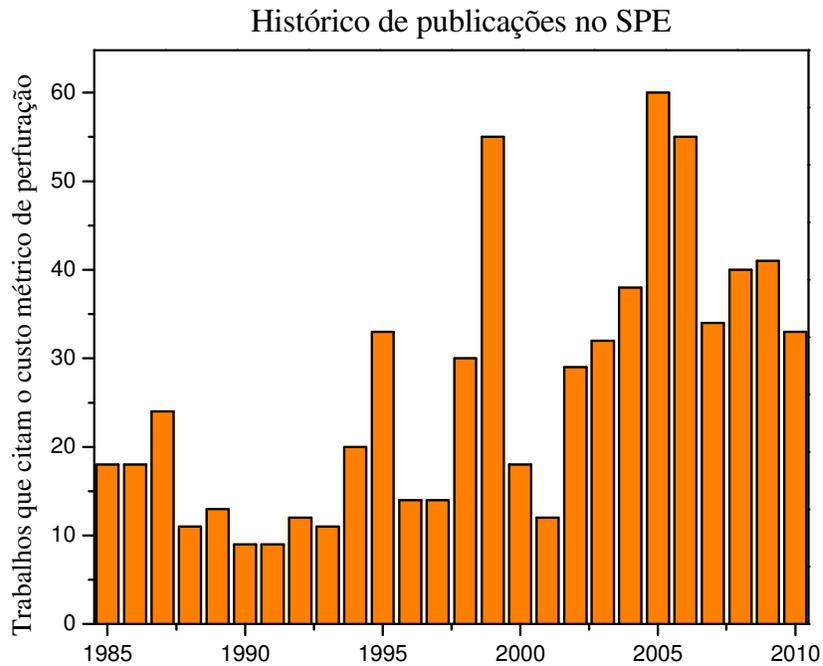
$$HM=0,004 \times PE+9 \quad (2.6)$$

Ele concluiu que os fatores encontrados, como pôde se observar, são bem maiores do que os da fórmula tradicionalmente utilizada, podendo-se afirmar que o custo real das manobras é muito maior do que o previsto.

Apesar dos inúmeros fatores que impactam na previsão do custo da perfuração de poços, o custo métrico da broca continua sendo um dos principais parâmetros de análise de desempenho da perfuração de poços. A Figura 2.3 ilustra o resultado de uma pesquisa realizada sobre a quantidade de publicações que citam o custo métrico da broca, como parâmetro validador de suas hipóteses.

---

<sup>2</sup> Embora citada na literatura a fórmula de horas de manobras não possui referência bibliográfica que permita rastrear a sua origem, sendo citada primeiramente por DYER em “*Bit optimization for positive displacement motors*” em 1984.



**Figura 2.3:** Histórico de publicações que citam o custo métrico da broca.

### 2.3.1.2 Análise do comportamento do custo métrico da broca

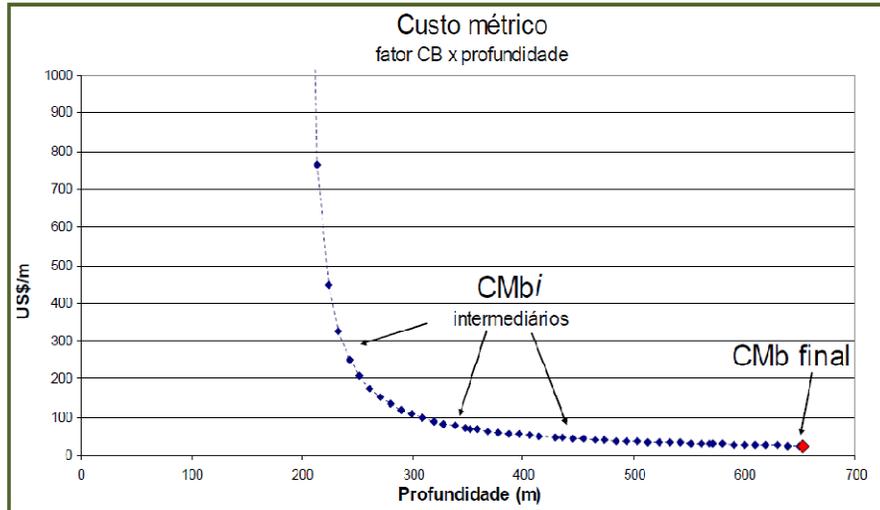
Ainda segundo Amorim (2008), o custo da operação de perfuração é constituído por elementos que caminham em direções opostas. Ele destaca a importância de entender os reflexos de cada um desses elementos no custo operacional a fim de otimizá-lo.

#### a) Componente de custo da broca - $C_b$

Essa componente analisa o comportamento do custo da broca quando se perfura um determinado intervalo. A Equação 2.7 mostra que o custo da broca é fixo para os momentos iniciais de perfuração. Contudo, esse valor passa a ser rateado com o decorrer da perfuração.

$$CM_b = \frac{C_b}{MP} \quad (2.7)$$

A Figura 2.4, mostra uma curva do tipo 1/x, iniciando-se à profundidade de entrada e terminando à profundidade de saída. O custo rateado da broca nunca chega a zero, mas apenas vai sendo reduzido enquanto a broca tiver vida útil para produzir metragem.



**Figura 2.4:** Flutuação do custo da broca em função do seu avanço.

Fonte: Amorim Junior, 2008.

Um das hipóteses formuladas para se reduzir o métrico operacional com foco no fator custo da broca é:

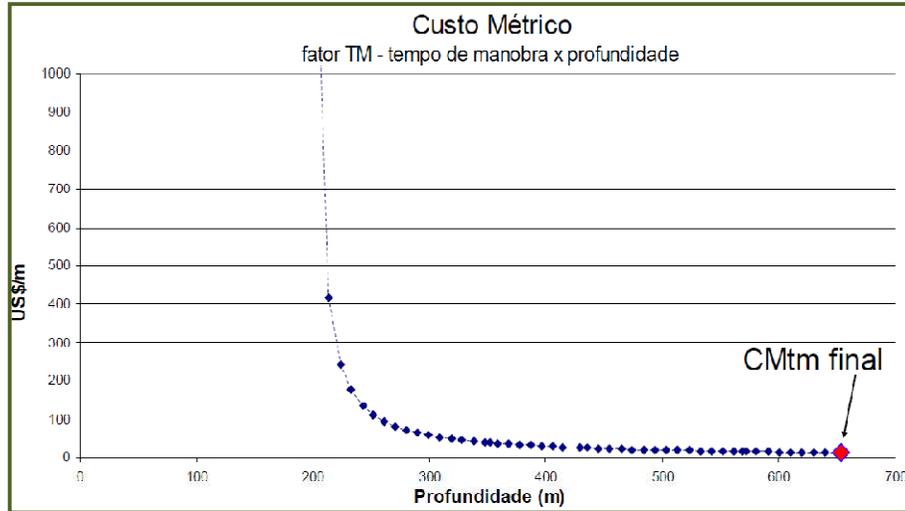
- ✓ Usar brocas baratas;
- ✓ Usar brocas que apresentem vida útil longa.

**b) Componente de custo da manobra – HM**

Esta componente analisa o comportamento dos custos das horas de manobras. Através da Equação 2.8, nota-se que quanto mais profundo estiver o poço, maior será o custo da manobra.

$$CM_{HM} = \frac{CH_s \times HM}{MP} \tag{2.8}$$

A Figura 2.5, mostra uma curva do tipo 1/x de modo similar à componente de custo da broca.



**Figura 2.5:** Flutuação do custo de manobra em função do avanço de uma broca fictícia.

Fonte: Amorim Junior, 2008.

### c) Componente de custos das horas de rotação

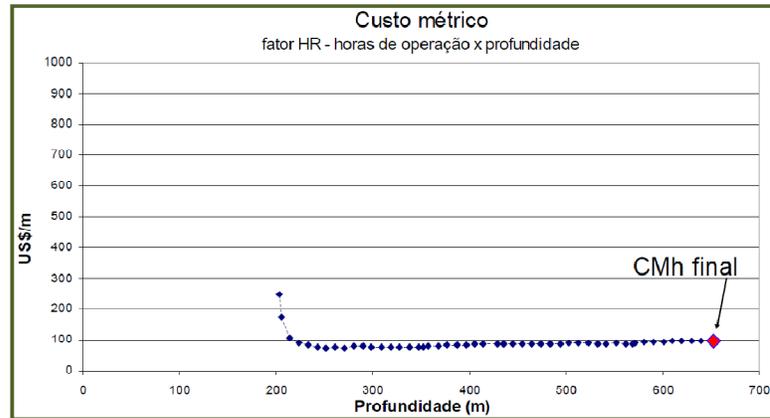
Essa componente analisa o impacto das horas de rotação da broca no custo de perfuração. É importante verificar que quanto mais tempo a broca permanece no poço, maior será o tempo gasto com o aluguel da sonda. De acordo com a Equação 2.9, à medida que o tempo passa e o poço avança, o gasto vai sendo rateado pelos metros perfurados pela broca.

$$CM_{HR} = \frac{CH_s \times HR}{MP} \quad (2.9)$$

O que pode não estar visível à primeira vista na equação acima é que o parâmetro horas de rotação (HR) é sensível apenas à taxa de penetração da broca. Dessa forma, à medida que a taxa de penetração aumenta, o custo desta componente diminui como pode ser visto pela Equação 2.9.a.

$$CM_{HR} = \frac{CH_s}{ROP} \quad (2.9.a)$$

Assim, o comportamento do gráfico  $CM_{HR} \times MP$  possui como aparência a curva descrito na Figura 2.6, com flutuação do custo apenas pela variação da taxa de penetração.

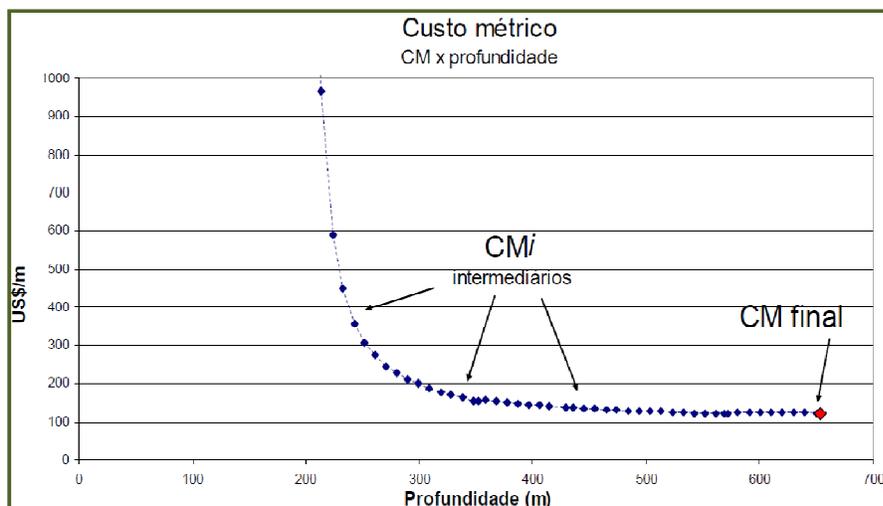


**Figura 2.6:** Flutuação do custo da operação em função do avanço de uma broca fictícia.

Fonte: Amorim Junior, 2008.

Sendo o custo métrico a soma das parcelas explicitadas nos itens a, b, c, o comportamento do custo métrico será o somatório dos comportamentos de cada componente. Durante o acompanhamento na sonda, o valor do custo métrico da broca (CM) é calculado e obtido graficamente, dando ao operador a visão de como a broca está ou não contribuindo para a redução do custo operacional.

A Figura 2.7 mostra os pontos que compõem uma curva típica de custo métrico da broca x profundidade. A curva apresenta um trecho de decréscimo inicial pelo “pagamento” da manobra e da broca, após o qual segue decrescendo até um ponto em que a taxa de penetração começa a afetar fortemente o custo.



**Figura 2.7:** Flutuação do custo métrico em função do avanço de uma broca fictícia.

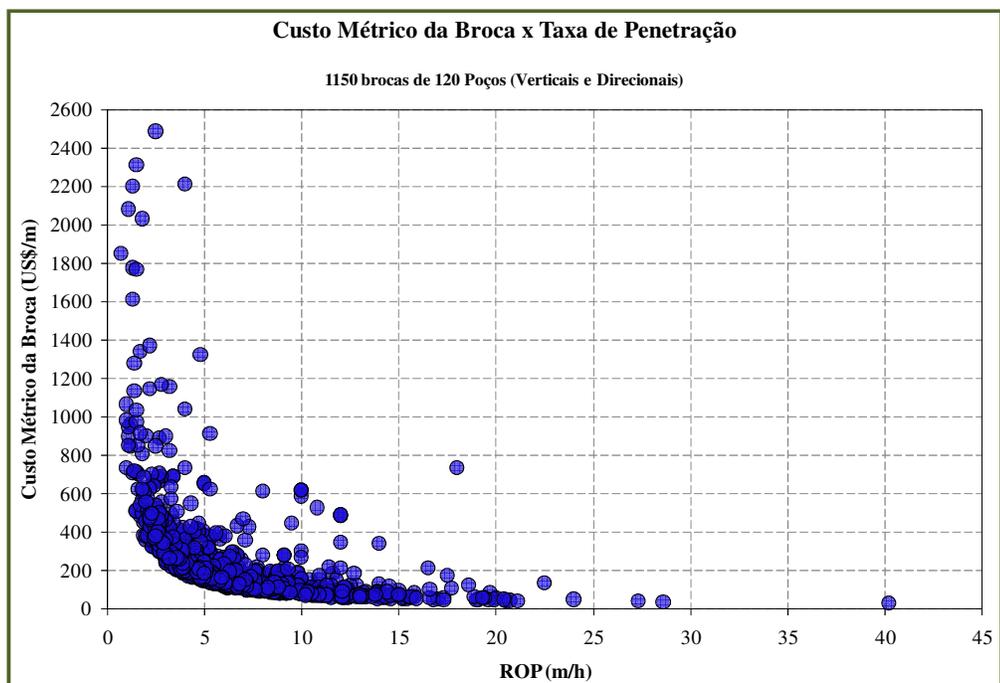
Fonte: Amorim Junior, 2008.

Devido ao desconhecimento do nível de desgaste da broca quando a mesma está no poço, as empresas de perfuração adotam esse método como uma forma de estimar o momento correto de troca de broca.

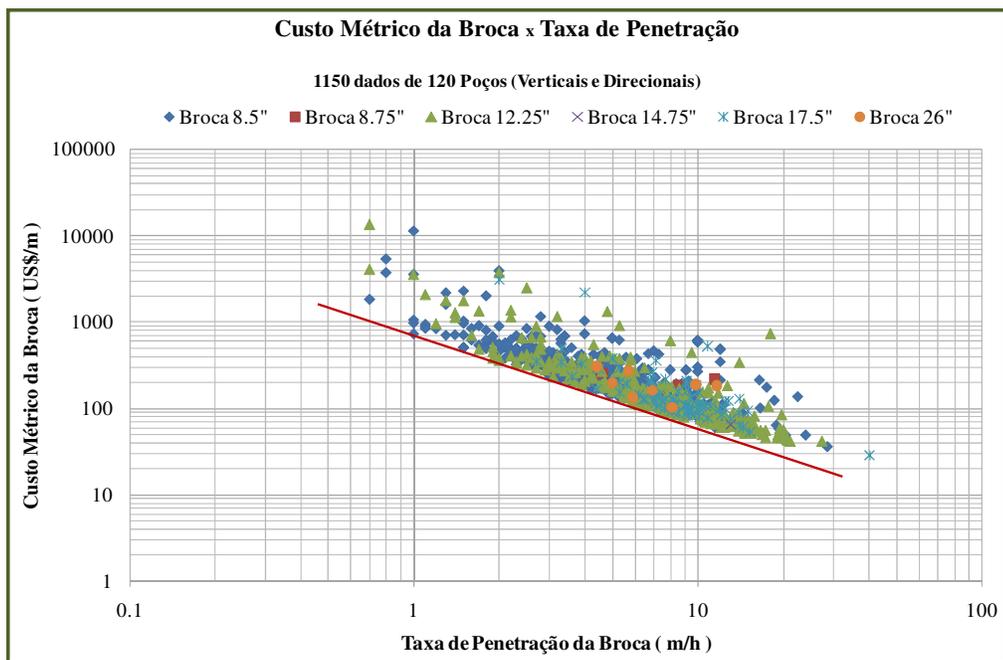
De acordo com a equação do custo métrico da broca, a chave para a sua minimização se dá através do aumento da taxa de penetração da broca, como pode ser visto na Equação 2.10.

$$CM = \frac{1}{ROP} \times \left[ \left( \frac{C_b}{HR} \right) + CH_s \times \left( 1 + \frac{HM}{HR} \right) \right] \quad (2.10)$$

As Figuras 2.8 e 2.9 ilustram o comportamento do custo métrico da broca à medida que se eleva a taxa de penetração.



**Figura 2.8:** Custo métrico da broca versus taxa de penetração da broca com dados de 120 poços.



**Figura 2.9:** Gráfico log x log do custo métrico da broca versus taxa de penetração da broca com dados de 120 poços.

### 2.3.2 Densidade de energia mecânica

A densidade de energia mecânica é um indicador que relaciona a quantidade de energia necessária para se destruir um determinado volume de rocha. Desenvolvido por Teale em 1965, esse indicador tem sido amplamente utilizado pela indústria como ferramenta de acompanhamento da perfuração, auxiliando na detecção de problemas e contribuindo para melhor seleção de parâmetros que possibilita uma perfuração mais eficiente.

Teale desenvolveu a equação de densidade de energia mecânica (SE), Equação 2.11, por meio do cálculo do trabalho torcional e axial realizado pela broca dividindo-o pelo volume de rocha perfurada. Em seus testes laboratoriais, ele descobriu que essa relação de energia por volume de rocha destruída é constante. Os dados foram obtidos através de experimentos em que o valor de densidade de energia é numericamente igual à resistência compressiva da rocha. Contudo, reconheceu-se que a densidade de energia não pode ser representada por um único número devido à heterogeneidade das formações rochosas e as variações dos parâmetros de perfuração.

$$SE = \frac{WOB}{A_B} + \left( \frac{120 \times \pi \times RPM \times T}{A_B \times ROP} \right) \quad (2.11)$$

onde:

WOB = Peso sobre a broca, lbf;

$A_b$  = Área do poço, in<sup>2</sup>;

RPM = Rotação da coluna de perfuração, rpm;

T = Torque, lbf x ft;

ROP = taxa de penetração da broca, ft/hr.

Através desse método, Teale conseguiu fornecer um ponto de referência para a determinação da eficiência da perfuração admitindo que, quanto mais próxima estiver a densidade de energia do valor conhecido da resistência confinada da rocha, mais eficiente será a perfuração. Do ponto de vista operacional esse conceito provou ser muito útil como

indicador de mudança de litologia, pois ao se perceber um aumento da densidade de energia significaria a perfuração de uma formação mais dura.

Outra abordagem para a seleção de brocas para atravessar uma determinada formação aplicando o princípio de densidade de energia foi descrita por Rabia (1985). Ele mostrou que o uso da densidade de energia para seleção de brocas é comparável, se não melhor, ao uso do custo métrico da broca.

$$SE = \frac{20 \times WOB \times RPM}{D_B \times ROP} \quad (2.12)$$

Pessier e Fear (1992) fizeram modificações no modelo proposto por Teale. Eles introduziram o coeficiente de atrito ( $\mu$ ) para expressar o torque como função do WOB, dado pela equação abaixo. Os autores também mostraram, pela realização de ensaios, que sob condições atmosféricas de perfuração o SE é aproximadamente igual à resistência não confinada (UCS) da formação perfurada. Suas análises de campo revelaram uma boa correlação entre o modelo de simulado e resultados de campo.

$$\mu = 36 \times \frac{T}{D_B \times WOB} \quad (2.13)$$

Acoplando-se a Equação 2.13 na Equação 2.11, tem-se:

$$SE = \frac{WOB}{A_B} + \frac{13.33 \times \mu \times RPM \times WOB}{D_B \times ROP} \quad (2.14)$$

Waughman *et al.* (2002), em suas pesquisas, desenvolveram um conceito que implica no monitoramento em tempo real da perfuração utilizando o conceito de densidade de energia mecânica com o auxílio do MWD e dados sônicos. Esse método, quando empregado, auxilia o processo decisório no que tange a retirada da broca do poço.

Além dos documentos mencionados acima, existem inúmeras publicações que aplicam o conceito de densidade de energia como base de seleção e avaliação do desempenho da broca. Contudo, Curry *et al.* (2005) aplica a densidade de energia mecânica como um índice para facilitar a avaliação do desempenho da perfuração. Os autores desenvolveram um método para representar a dificuldade de se perfurar um determinado ambiente. Esse método consiste no desenvolvimento de um algoritmo que seria utilizado para estimar o limite técnico da densidade de energia a partir de dados de pressão, litologia e perfilagem. Eles afirmaram que a técnica do limite técnico da densidade de energia representa a menor densidade de energia que pode se esperar para uma determinada combinação de propriedades de rochas e dados de pressão. Segundo os autores, o limite técnico médio de densidade de energia para um poço fornece uma base racional de comparação de desempenho de perfuração para poços perfurados em diferentes ambientes.

Dupriest *et al.* (2005), utilizaram o conceito de densidade de energia mecânica desenvolvido por Teale, na tentativa de otimizar o processo de perfuração e maximizar a taxa de penetração. Em seu estudo, utilizou-se a resistência compressiva não confinada (UCS) da formação como base de referência e comparou os níveis de energia específica da formação. Baseados nas informações de campo, eles assumiram a eficiência ( $\varepsilon$ ) da perfuração como sendo igual a 35% do valor da resistência confinada da rocha.

$$\varepsilon = \frac{UCS}{SE} \times 100 \quad (2.15)$$

Acoplando-se a Equação 2.15 na Equação 2.11, tem-se:

$$SE = 0.35 \times \left[ \frac{WOB}{A_B} + \left( \frac{120 \times \pi \times RPM \times T}{A_B \times ROP} \right) \right] \quad (2.16)$$

Seguindo a mesma abordagem, Guerrero *et al.* (2007) desenvolveram uma ferramenta que incorpora o conceito de densidade de energia mecânica para prever a taxa de penetração de diversos tipos de brocas. Eles, no entanto, apontam que uma das deficiências do seu modelo de ROP é que a ineficiência da perfuração é causada por uma variedade de fatores

dentre os quais estão o enceramento da broca, limpeza de poço, vibrações durante a perfuração e desgaste da broca.

Finalmente, em posse desses indicadores a indústria consegue avaliar o desempenho do processo de perfuração de poços.

Como pôde se observar, tanto o custo métrico da broca quanto a densidade de energia mecânica são indicadores fortemente influenciados pela taxa de penetração da broca (ROP). Segundo Mensa-Wilmot *et al.* (2010), devido a esse fato, a relação dessa com o custo se torna complicado pois há grande diferença entre o custo esperado e o custo real.

Além disso, eles possuem como finalidade a avaliação da operação de perfuração. O processo construtivo do poço é função da evolução de varias operações.

Nesse sentido, o presente trabalho vem a contribuir propondo o desenvolvimento de um novo parâmetro, que será empregado para avaliar o desempenho da construção de poços. No capítulo 4 é apresentado o estudo realizado com o objetivo de gerar a proposta de trabalho.



## Capítulo 3

# FUNDAMENTOS DA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

O processo de construção de um poço de petróleo pode ser dividido em três estágios: planejamento, projeto e construção do poço. Neste capítulo serão introduzidos os conceitos básicos destes estágios.

### 3.1 Planejamento

Segundo Rabelo (2008), o planejamento da perfuração de um poço é uma atividade multidisciplinar que requer grande estratégia por parte das empresas de perfuração, principalmente no atual cenário, em que os custos envolvidos na atividade são cada vez maiores. Ainda, segundo Gil e Roegiers (2002) o grau de planejamento e antecipação dos problemas durante a perfuração de um poço é o que define a diferença entre um projeto bem ou mal sucedido.

A indústria do petróleo tem focado parte de seus esforços no desenvolvimento de metodologias aplicadas ao planejamento de poços com intuito de aumentar a eficiência das operações de perfuração. Um desses esforços é mostrado no trabalho de Mannon (2001), no qual dividiu-se a operação de perfuração de um poço em três fases distintas:

- ✓ Análise de dados: Com objetivo de gerar um projeto inicial;
- ✓ Implementação das ações: Onde com o auxílio de uma ferramenta de acompanhamento em tempo real permite avaliar os parâmetros utilizados na operação para otimizar o tempo de perfuração;
- ✓ Avaliação da perfuração: O qual identifica os pontos positivos e negativos encontrados ao longo do processo.

Iyoho *et al.*, (2004) também destacou em seu trabalho a importância do planejamento da perfuração apresentando uma metodologia que pode ser utilizada para analisar o desempenho das operações executadas em campo, e que consiste em um processo de dez etapas, entre as quais a utilização de curvas de aprendizagem.

Miura (2004) apresenta uma metodologia onde o planejamento é parte integrante da engenharia de poços e consiste na aplicação do ciclo PCDA (*Plan* – Planejar, *Check* – Verificar, *Do* – Executar, e *Act* – Atuar) com a finalidade de melhorar o desempenho das operações.

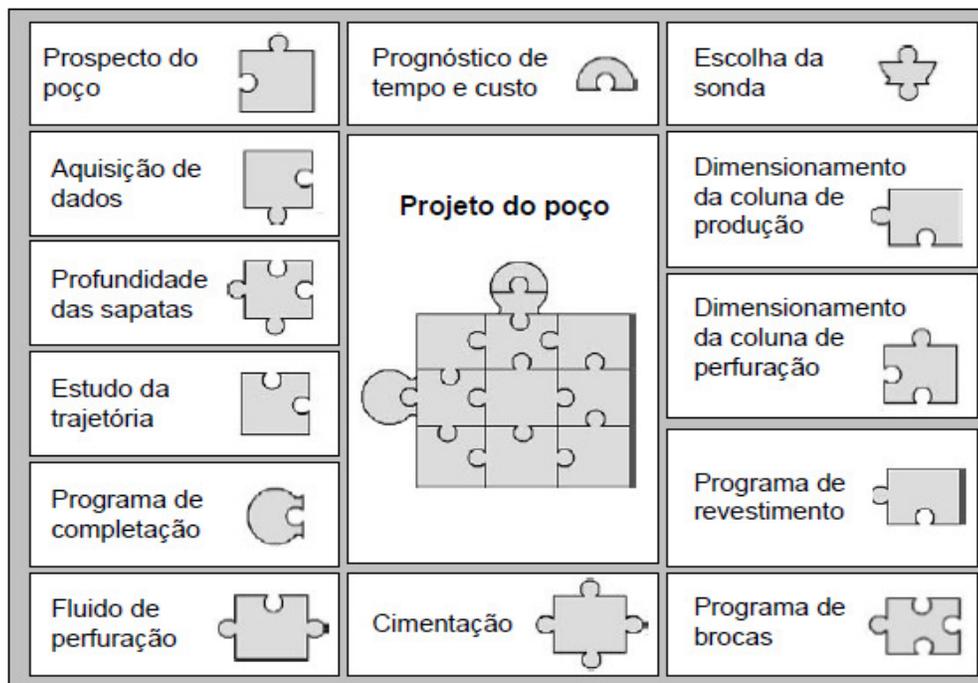
Dessa forma, o planejamento pode ser visto como uma ferramenta estratégica para obtenção de operações mais eficientes, e fundamental para a estimativa de custos e riscos envolvidos podendo evitar distorções nos custos dos poços e frustrações quanto a expectativas dos cronogramas de perfuração de poços.

### **3.2 Projeto**

O projeto de perfuração é uma das ramificações do planejamento e trata-se do processo no qual são previstas todas as atividades relacionadas com a construção do poço.

Segundo Sato (1992), há dois grandes importantes aspectos que devem ser considerados para a elaboração de um projeto de perfuração: a segurança e a economia. O primeiro, porque é essencial para o desenvolvimento das atividades sem colocar em risco o patrimônio humano e material envolvido no processo. E o segundo, porque é um elemento regulador dos custos associados ao projeto que, de certa forma, são bem elevados.

Para ter-se uma boa configuração de poço, garantindo o fluxo das operações sem grandes problemas, é importante a participação de profissionais de diversas áreas a fim de elaborar o melhor projeto possível. As principais atividades envolvidas na elaboração de um projeto de poço estão ilustradas na Figura 3.1.



**Figura 3.1:** Atividades envolvidas no projeto de um poço (Mendes, 2001).

Com base nos trabalhos de Adams (1985) e Mendes (2001), a seguir apresenta-se uma breve descrição das etapas descritas na Figura 3.1.

**a) Prospecto de um poço**

Iniciando o projeto de poço, o prospecto é um documento que apresenta informações pertinentes sobre as zonas de interesse (objetivo, topo da formação, pressões e temperaturas esperadas), além de dados como a localização e mapas da área.

**b) Aquisição e Análise dos Dados**

Esta etapa fornece informações relevantes para o bom conhecimento da área na qual será perfurado o poço. A partir dos dados de poços de correlação, é possível obter informações sobre problemas existentes no campo, brocas utilizadas, configuração das fases, entre outras.

Este item é de fundamental importância para todo o processo e, em muitos casos, determina o nível de sucesso do projeto ao determinar os melhores parâmetros a serem utilizados na operação.

### **c) Estudo da trajetória**

Nesta etapa ocorre a análise de diferentes opções de trajetória, para escolher aquela que melhor se adéqua ao objetivo proposto, atentando sempre para as limitações dos equipamentos (inclusive a sonda) e outras possíveis restrições. A escolha da melhor trajetória depende de fatores como inclinação das camadas, existência de fraturas ou falhas, entre outros aspectos.

Nesta fase, a interação entre profissionais de diferentes disciplinas como geólogos, engenheiros de perfuração e engenheiros de reservatório, além de outras especialidades, é de fundamental importância para atingir o objetivo. Além dessa interação, existem diversos recursos (como softwares) que auxiliam os especialistas a definir a melhor trajetória de um poço através de um acompanhamento da perfuração em tempo real, com a possibilidade de realizar uma navegação virtual na formação.

### **d) Profundidade de assentamento das sapatas**

A determinação da profundidade de assentamento das sapatas depende, principalmente, das pressões da formação (pressão de poros e gradiente de fratura). Um método bastante aplicado para determinar a profundidade de assentamento utiliza o conceito de *kick tolerance*, o qual limita a profundidade da fase garantindo que, no caso de um *kick* (influxo indesejável de fluído da formação para o poço) o poço possa ser fechado.

Existem outros fatores estimados a partir de dados de poços de correlação que também podem determinar o assentamento de um revestimento, como, por exemplo, formações inconsolidadas suscetíveis a desmoronamentos, exigências do projeto, a existência de zonas de perdas de circulação, zonas de sal, entre outros.

#### **e) Dimensionamento dos revestimentos**

Determinada a profundidade de assentamento das sapatas dos revestimentos, é necessário dimensionar a coluna de revestimento. O dimensionamento da coluna depende, basicamente, das tensões que nela irão atuar durante a sua instalação no poço e durante toda a sua vida útil.

No caso da coluna de produção, esse dimensionamento depende ainda do projeto de completção, considerando-se o método de elevação previsto, diâmetro da coluna de produção, vazão e propriedades do fluido a ser produzido.

#### **f) Completção**

O projeto de completção tem como objetivo garantir uma boa produtividade do poço, otimizando a drenagem do reservatório e escolhendo a melhor configuração para escoamento do fluido produzido, sempre atendendo aos critérios de segurança e custo da empresa.

Tanto o projeto de completção quanto o projeto de perfuração devem estar sempre em concordância a fim de garantir o sucesso do empreendimento e a segurança das operações. Dentre os principais aspectos considerados nessa etapa estão a finalidade do poço (sendo de produção ou injeção), o método de elevação artificial, o número de zonas produtoras e a localização.

#### **g) Fluido de perfuração**

A escolha do tipo de fluido mais adequado à formação, bem como a determinação do peso ideal a ser utilizado nas diferentes fases perfuradas do poço, são elementos fundamentais para evitar a ocorrência de problemas de instabilidade geomecânica. Sua importância não está associada somente aos custos dos diferentes tipos de fluidos disponíveis em mercado, mas, principalmente, à influência que este parâmetro tem na segurança e estabilidade do poço, além de ajudar a melhorar a taxa de penetração, reduzindo-se o tempo de perfuração.

Para a escolha do tipo de fluido a ser utilizado, alguns fatores devem ser considerados, como, por exemplo, o tipo de formação a ser perfurada, temperatura, o tempo de exposição à

formação e o trecho do poço (inicial, *build up*, perfuração no reservatório). A determinação do peso ótimo do fluido depende, basicamente, das pressões de poro e de fratura da formação.

#### **h) Cimentação**

O projeto de cimentação tem como objetivo garantir o isolamento da sapata do revestimento e das diferentes zonas da formação. A escolha da pasta de cimento a ser utilizada depende das condições encontradas no poço, como temperatura, pressão, profundidade, entre outros aspectos. Uma pasta de melhor qualidade é geralmente usada nas profundidades das zonas de interesse. Além disso, o peso da pasta de cimento e as velocidades de bombeio devem estar de acordo com as pressões da formação (poros e fratura) a fim de garantir a segurança da operação.

#### **i) Seleções de brocas**

O programa de brocas, apesar de apresentar baixo custo, tem influência direta no desempenho da perfuração e, conseqüentemente, no custo do metro perfurado. A escolha de uma broca inadequada pode ser determinante para um atraso na operação (pequena taxa de avanço), podendo ainda gerar tempo perdido com manobras não previstas para troca de broca ou outros problemas.

A definição de um programa de brocas se baseia muito na experiência do engenheiro responsável. Contudo, dados de poços de correlação podem ser utilizados como fonte de conhecimento complementar. Dessa forma, é possível verificar o desempenho das brocas (taxa de penetração, custo do metro perfurado, metragem perfurada, etc.) em formações semelhantes, permitindo uma escolha mais adequada ao projeto e menos empírica. Os principais fatores que afetam esta seleção são: litologia da formação, características da broca (dados dos fabricantes), fluido de perfuração utilizado e o projeto direcional.

#### **j) Dimensionamento da coluna de perfuração**

Nesta etapa ocorre a definição do BHA (*Bottom Hole Assembly*) do poço. A composição da coluna (tubo de perfuração, comandos, estabilizadores, etc.) e os parâmetros envolvidos no

processo de perfuração devem garantir que a coluna não trabalhe sob esforços de flambagem, melhorando o desempenho da atividade. A coluna de perfuração deve resistir aos esforços de tração e compressão, e o dimensionamento deve atender ainda para os esforços durante a rotação da coluna (torque excessivo) e possíveis falhas por fadiga. Alguns dos elementos necessários ao dimensionamento da coluna de perfuração são: trajetória do poço, profundidade prevista da coluna, densidade do fluido de perfuração e peso sobre broca.

#### **k) Sondas de perfuração**

São responsáveis por grande parte do custo de perfuração de um poço vindo daí a importância da escolha da sonda mais adequada à atividade.

Sua escolha depende de aspectos como: localização da zona a ser perfurada, lâmina d'água, condições do mar, relevo do leito marinho, e finalidade do poço.

#### **l) Prognóstico de tempo e custo**

Esta é a etapa final do projeto de poço e tem por finalidade estimar o custo do poço e o tempo necessário para completar a operação.

Os custos geralmente são separados por fase (perfuração, completção), por materiais (revestimentos, fluido, etc.), serviços (direcional, cimentação, etc.) e sonda. Geralmente, o prognóstico de tempo é feito com base nos poços de correlação.

### **3.3 Construção do Poço**

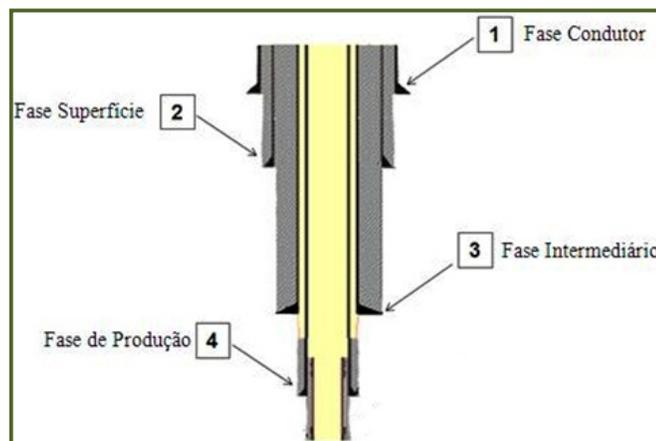
Cumpridas as etapas estabelecidas no projeto, inicia-se o processo de construção do poço.

A perfuração de um poço de petróleo é realizada em fases onde cada uma dessas tem início e fim pré-definidos. Uma fase só pode ser iniciada após a conclusão da anterior. Cada fase tem diâmetro correspondente à broca que a perfura e, assim, dependendo do tipo de broca, trajetória do poço e localização do reservatório, as fases podem ser específicas para cada tipo de poço. Após o término da operação de perfuração de uma broca, inicia-se o

assentamento do revestimento com o objetivo de: isolar o poço das formações perfuradas, suportar pesos de equipamentos de segurança que serão instalados, dentre outros.

Para a determinação da quantidade de fases de um poço é necessário levar em conta alguns fatores como: a sua finalidade, zonas anormalmente pressurizadas, zonas com perda de circulação, entre outros.

A seguir, é apresentada uma possível sequência das fases de um poço e sua descrição. Essa seqüência de fases pode ser aplicada tanto em poços *onshore* (em terra) quanto para poços *offshore* (no mar).



**Figura 3.2:** Esquema das fases de um poço de petróleo.

1. **Fase de condutor:** é a fase inicial do poço. Sua função é simplesmente a de conter os sedimentos da superfície. Em terra, é geralmente cravado no solo. Já em uma perfuração marítima, essa fase pode ser perfurada utilizando o alargador de 36'' e descido e cimentado o revestimento condutor de 30'', ou ainda, jateada quando o solo marinho for mole e o seu revestimento condutor de 30'', cravado. O fluido de perfuração usado é água do mar. Os cascalhos são atirados ao fundo marinhos não existindo retorno de lama para sonda. Os diâmetros típicos dos revestimentos são: 30'', 20'' e 13 3/8''.
2. **Fase de superfície:** nesta fase o revestimento do poço é cimentado em toda sua extensão para evitar a flambagem devido ao elevado peso dos equipamentos de segurança do poço

e dos revestimentos a serem assentados nas próximas fases. Os diâmetros típicos dos revestimentos são: 20", 18 5/8", 16", 13 3/8", 10 3/4" e 9 5/8".

3. **Fase intermediário:** nesta fase registra-se a descida e o assentamento do BOP (*blowout preventor*), equipamento fundamental para segurança das operações de perfuração e para toda equipe na plataforma. Salienta-se que esta fase tem como objetivo o isolamento e proteção de zonas de altas ou baixas pressões, zonas de perda de circulação, formações mecanicamente instáveis, formações com fluidos corrosivos ou contaminantes para o fluido de perfuração. Os diâmetros típicos de revestimento são: 13 3/8", 9 5/8" e 7".
4. **Fase de produção:** Nesta fase a perfuração atingiu o reservatório de petróleo. Dessa forma, seu objetivo é permitir a produção do poço, suportando suas paredes e possibilitando o isolamento entre os intervalos produtores. Os diâmetros típicos de revestimento são: 9 5/8", 7" e 5 1/2".

### 3.3.1 Operações desenvolvidas durante a construção do poço

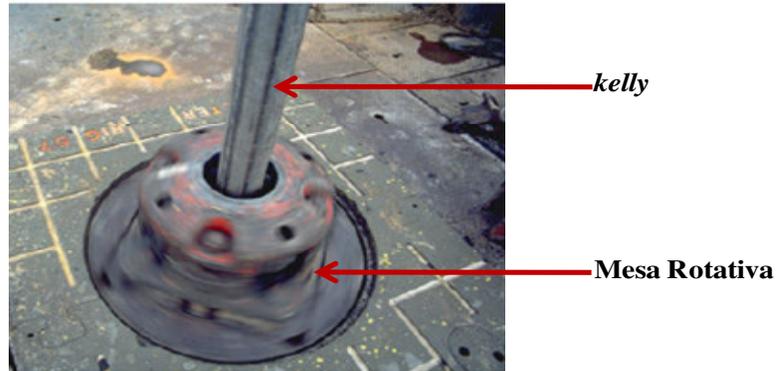
Construir um poço consiste basicamente em: perfurar, revestir e cimentar cada fase. Para isso são realizadas diversas operações que podem ser divididas em: operações rotineiras ou normais, operações específicas e operações especiais.

#### 3.3.1.1 Operações rotineiras ou normais

As operações normais são separadas em:

- ✓ Conexão;
- ✓ Manobra;
- ✓ Perfuração;
- ✓ Circulação;

A conexão dos tubos de perfuração, se caracteriza pelo acréscimo de tubos de perfuração à coluna de perfuração logo após o topo do *kelly* atingir a mesa rotativa.



**Figura 3.3:** Ilustração da mesa rotativa e *Kelly*.

Fonte: <http://www.petroleo.ufsc.br/apostila>.

Após a conexão dos tubos de perfuração é necessário descê-los no leito marinho (perfuração *offshore*) de modo a iniciar a perfuração. Nessa operação se enquadra também a retirada total ou parcial da coluna de perfuração. Faz-se manobra para:

- ✓ Troca de broca quando a mesma está desgastada, ou inadequada frente a uma determinada formação ou ainda para iniciar a perfuração da próxima fase;
- ✓ Verificar as condições do poço (manobra curta), retirando a coluna até a sapata mais próxima;
- ✓ Descida de equipamento de perfilagem, testemunhagem, pescaria;
- ✓ Efetuar conexões;
- ✓ Trocar equipamento de BHA.

O alargamento é a operação em que o poço é reperfurado com uma broca de diâmetro maior do que a utilizada em sua perfuração, como se pode visualizar na Figura 3.4. Já o repassamento é a operação utilizada quando por algum motivo o poço se estreita e faz-se necessário repassar a broca no trecho descalibrado.



**Figura 3.4:** Ilustração de um tipo de alargador.

Fonte: <http://www.petroleo.ufsc.br/apostila>.

A circulação tem como finalidade garantir a limpeza do poço durante a perfuração. Outras características dessa operação são:

- ✓ Garantir uma retirada da coluna de perfuração em segurança evitando pistoneio;
- ✓ Condicionar para descida do revestimento;
- ✓ Trocar o fluido utilizado na perfuração;
- ✓ Condicionar o poço para cimentar;
- ✓ Eliminar excesso de torque e arraste;
- ✓ Lavar fundo falso.

### 3.3.1.2 Operações específicas

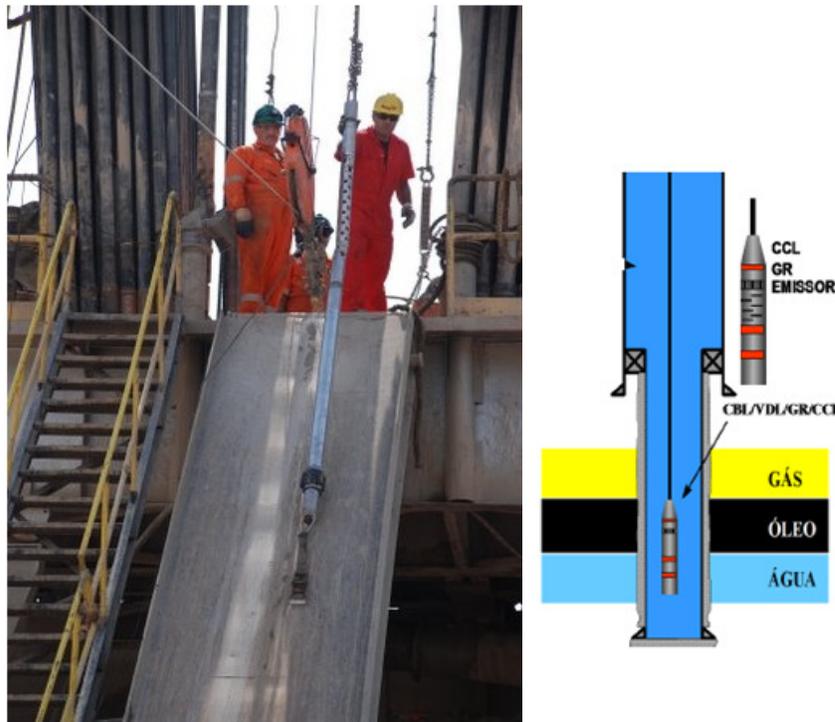
As operações específicas são separadas em:

- ✓ Descida de revestimento;
- ✓ Cimentação;
- ✓ Perfilagem;

Após a perfuração do poço de petróleo, é necessário revesti-lo com o objetivo de permitir o controle da produção e isolar as zonas com diferentes fluidos. Para isso, são introduzidos no poço tubos de aço, chamados de revestimento, podendo ser da superfície até o fundo do poço ou em fases isoladas.

Por conseguinte, inicia-se a operação de cimentação, que consiste no bombeio de uma pasta de cimento para preencher o espaço anular entre a tubulação do revestimento e as paredes do poço. Essa operação é executada depois da descida da coluna de revestimento e repete-se o mesmo procedimento consoante o número de fases projetadas para o poço. Antes de efetuar a cimentação deve-se fazer a circulação para resfriá-lo e assegurar uma boa pega da pasta de cimento.

A perfilagem é uma operação realizada ao término da perfuração do poço, ou de determinada fase, na qual são descidas ferramentas com o objetivo de medir as características ou propriedades da rocha (porosidade, permeabilidade, nível de saturação em fluidos, argilosidade, fraturas etc.), inspecionar o diâmetro do poço (por exemplo: o cáliper), verificar a qualidade de cimentação, etc. Essa operação contribui para um melhor conhecimento das formações atravessadas e do tipo de fluidos contidos nas formações. A Figura 3.5 é uma ilustração da ferramenta.



**Figura 3.5:** Ilustração da ferramenta de perfilagem.  
Fonte: <http://www.oilinisrael.net/tag/glen-perry>

### 3.3.1.3 Operações especiais durante a perfuração do poço

Durante a perfuração de um poço, várias operações especiais podem ocorrer, tais como:

- ✓ controle de *kicks*;
- ✓ pescaria;
- ✓ testemunhagem;
- ✓ testes de formação;

Uma das funções do fluido de perfuração é exercer pressão hidrostática sobre as formações a serem perfuradas pela broca para evitar que os fluidos contidos nos reservatórios fluam para dentro do poço. Se houver influxo, mas ele for controlado, ele é chamado de *kick*, se for incontrolável diz-se *blowout*. Há vários indícios que identificam uma potencial situação de *kick*. Quando previamente reconhecidos e interpretados, permitem que sejam tomadas as providências adequadas para evitar que se torne um *blowout*.

As principais informações de *kick* são as pressões lidas nos manômetros quando um poço é fechado e o volume ganho nos tanques. Estando o poço fechado, o engenheiro prepara um plano para restabelecer controle do poço, que consiste na circulação do fluido invasor para fora do poço e, quando necessário, a elevação da densidade do fluido.

A Pescaria é uma operação que consiste em recuperar objetos que tenham caído no fundo do poço ou que tenham ficado aprisionados, impedindo o prosseguimento das operações normais. Essa operação é sempre indesejável, pois acarreta perda de tempo.

A testemunhagem é uma operação especial feita no poço durante a perfuração, e consiste na obtenção do testemunho, que, por sua vez, é uma amostra real da formação com alterações mínimas em suas propriedades naturais. O testemunho é levado a laboratórios e testes são efetuados para se obterem informações a respeito da litologia, textura, porosidade, permeabilidade, saturação de óleo e água etc. Por causa do custo operacional e temporal relativamente alto, a testemunhagem só é realizada em alguns poços estratégicos.

O teste de absorção (*leakoff test*) é realizado no trecho imediatamente abaixo da sapata para determinação da pressão de fratura da formação. Durante o evento, bombeia-se o fluido de perfuração para que a pressão possa ser incrementada gradualmente.

Através dele, determina-se o peso máximo que o fluido deve ter durante a perfuração dessa fase. Por razões de segurança operacional o peso do fluido é mantido ligeiramente abaixo da pressão obtida no teste.

Além disso, o teste de absorção também serve para avaliar a qualidade da cimentação na sapata quando possível deve-se deixar aberta a comunicação do anular entre o revestimento descido e o anterior. Esse teste também é conhecido como teste de integridade a pressão (*pressure integrity test*).

### 3.3.1.4 Sequência operacional da perfuração de poços

A seguir são apresentadas, em formas de tabelas, algumas das possíveis seqüências básicas de operação observadas durante a perfuração em determinadas fases.

**Tabela 3.1:** Fase Condutor Perfurado

---

✓	Movimentação de Sonda, Instalação de linhas de ancoragem
✓	Montagem e descida de BHA de 26” com alargador de 36”
✓	Perfurando com broca de 26”
✓	Retirada da broca de 26”
✓	Condicionamento do Poço
✓	Descida de coluna de revestimento de 30”
✓	Circulando para cimentar
✓	Cimentando revestimento de 30”
✓	Retirando coluna de assentamento do revestimento
✓	Aguardando pega do cimento

---

**Tabela 3.2:** Fase de Superfície

---

✓	Montagem e descida de BHA de 26”
✓	Cortando cimento
✓	Perfurando com broca de 26”
✓	Circulando para teste de absorção
✓	Teste de absorção
✓	Perfurando com broca de 26”
✓	Retirada da broca de 26”
✓	Condicionamento do poço
✓	Descida de coluna de revestimento de 20”
✓	Circulando para cimentar
✓	Cimentando revestimento de 20”
✓	Retirando coluna de assentamento do revestimento

---

**Tabela 3.3:** Fase Intermediário

- 
- ✓ Instalação do BOP
  - ✓ Testando BOP
  - ✓ Montagem e descida de BHA de 17 ½”
  - ✓ Cortando cimento
  - ✓ Perfurando com broca de 17 ½”
  - ✓ Circulando para teste de absorção
  - ✓ Teste de absorção
  - ✓ Perfurando com broca de 17 ½”
  - ✓ Retirada da broca de 17 ½”
  - ✓ Condicionamento do poço
  - ✓ Descida de coluna de revestimento de 13 ¾”
  - ✓ Circulando para cimentar
  - ✓ Cimentando revestimento de 13 ¾”
  - ✓ Retirando coluna de assentamento do revestimento
  - ✓ Aguardando pega do cimento
- 

**Tabela 3.4:** Fase de Produção

- 
- ✓ Montagem e descida de BHA de 12 ¼”
  - ✓ Cortando cimento
  - ✓ Perfurando pequeno intervalo para teste de formação
  - ✓ Circulando para teste de formação
  - ✓ Teste de formação
  - ✓ Perfurando com broca de 12 ¼”
  - ✓ Retirada da broca de 12 ¼”
  - ✓ Montando e descendo equipamento de testemunhagem
  - ✓ Testemunhando
  - ✓ Retirando equipamento de testemunhagem
- 

**Tabela 3.5:** Fase Drill-in

- 
- ✓ Montagem e descida de BHA de 8 ½”
  - ✓ Descida de BHA 8 ½”
  - ✓ Calibração de BHA 8 ½”
  - ✓ Perfuração direcional
  - ✓ Teste de absorção
  - ✓ Perfurando direcional até o topo do reservatório
  - ✓ Circulação
  - ✓ Manobra curta para condicionamento do poço
  - ✓ Retirada da broca de 8 ½”
-

### 3.3.1.5 Dados de perfuração

A coleta de dados tem por finalidade captar informações sobre o comportamento da perfuração para que melhorias possam ser feitas e para auxiliar no planejamento de futuros projetos de poços.

Atualmente, existem diversos sistemas geradores de dados, os quais monitoram os parâmetros de perfuração através de sensores localizados na superfície e na sub-superfície e os transmitem para salas de visualização, também conhecidas como “Centro de Operações em Tempo Real”. Esses centros são instalações *onshore*, onde são reunidas as informações provenientes de diversas sondas de perfuração. São nelas que especialistas de diferentes áreas podem interagir e atuar colaborativamente para promover melhorias na operação em curso.

A seguir são apresentadas as principais fontes de dados de perfuração atualmente disponíveis:

- ✓ Boletim Diário de Perfuração (BDP): documento preenchido diariamente na sonda que apresenta uma descrição textual das operações realizadas nas últimas 24 horas. Nele é relatada a designação e a duração de cada evento (em horas), a profundidade medida no início e no término de cada evento. É um documento imprescindível para realização de qualquer trabalho de pós-análise, pois ele contém registros que servem de guia para interpretação de dados.
- ✓ *Mud-logging*: sistema de monitoramento composto por uma série de sensores instalados na sonda de perfuração que registra os parâmetros mecânicos, hidráulicos e litológicos durante as operações de perfuração.
- ✓ MWD (*Measurement While Drilling*): sistema responsável pelo monitoramento da trajetória do poço e da orientação da ferramenta de perfuração. Possui sensores instalados na coluna de perfuração, próximo da broca. A principal função desse sistema é informar a trajetória real do poço quando o mesmo ainda está sendo perfurado.

- ✓ LWD (*Logging While Drilling*): se refere mais diretamente à produção do perfil e é responsável pela avaliação da formação geológica. É através dessas ferramentas que se obtêm propriedades da rocha ou da zona de interesse. Existem diversas medições que podem ser feitas pelas ferramentas LWD, sendo as mais comuns: raios gama, resistividade, porosidade, densidade e nêutron-densidade e medidas sônicas.
- ✓ PWD (*Pressure While Drilling*) – Sistema que mede a pressão no fundo do poço, em tempo real, através da composição de fundo (BHA). As informações mais relevantes fornecidas por esse sistema são o ESD (*Equivalent Static Density*) que representam a pressão no fundo do poço em condições estáticas, e o ECD (*Equivalent Circulation Density*) que pode ser interpretado como a pressão dinâmica de circulação no fundo do poço.



## Capítulo 4

### PROCEDIMENTO PROPOSTO PARA ANÁLISE DO DESEMPENHO DA PERFURAÇÃO DE POÇOS

Pode-se notar, pelo levantamento bibliográfico realizado no capítulo 2, que há uma grande preocupação em se aumentar a eficiência da perfuração de poços de petróleo. Conforme exposto, grande parte dos trabalhos buscava a melhoria do desempenho operacional através da combinação ótima dos parâmetros envolvidos no processo, tais como o peso sobre a broca e a velocidade de rotação da coluna, entre outros. No geral, esses trabalhos tinham como objetivo encontrar formas viáveis de maximizar a taxa de penetração da broca (ROP) frente a quaisquer tipos de condições litológicas.

Atualmente, segundo algumas pesquisas como, por exemplo, Bahari *et al.* (2007) e Mostofi *et al.* (2010), a necessidade de se reduzir os altos custos operacionais motivaram, ainda mais, as empresas de perfuração a buscarem os efeitos da taxa de penetração da broca (ROP) no desempenho da construção de poços. Todavia, estudos recentes, como de Mensa-Wilmot *et al.* (2010), apontam uma relação frágil entre a taxa de penetração e a eficiência da construção de poços. Em outras palavras, a taxa de penetração da broca nem sempre pode ser visualizada como parâmetro que estabelece a eficiência operacional, pois, em muitos casos, não se tem observado uma redução significativa dos custos da construção de poços. Apesar da constatação, não se observou nesses estudos quaisquer tipo de análises que comprovassem a influência da taxa de penetração da broca no desempenho da construção de poços.

Nesse contexto, o presente capítulo tem por objetivo apresentar o procedimento adotado para analisar o desempenho da construção de poços de petróleo. Para isso, empregam-se as informações regularmente coletadas durante a perfuração, tais como Boletim Diário de Perfuração (BDP) e sistema de *mud-logging*.

#### **4.1 Procedimento adotado para análise do desempenho**

Esta seção está dividida em duas subseções: separação e organização dos dados, e análise dos dados de perfuração.

Na primeira, discute-se o processo de separação e organização dos dados de perfuração com a finalidade de facilitar a visualização das informações e sua manipulação. Na segunda, apresenta-se o procedimento adotado para se analisar o desempenho do processo construtivo de poços de petróleo.

##### **4.1.1 Separação e organização dos dados**

A primeira etapa do processo é a separação e organização dos dados de perfuração. Foram adquiridos dados de Boletim Diário de Perfuração (BDP) e sistema de *mud-logging*.

Para tornar a pesquisa do histórico dos poços mais simples e dinâmica, as informações fornecidas foram organizadas segundo o Campo de Petróleo devido à semelhança em diversos atributos como: geologia da região, lâmina d'água, projeto do poço, entre outros. Por razões de segurança e confidencialidade da empresa fornecedora dos dados, os nomes dos poços e das plataformas foram alterados por nomes fictícios.

Como resultado deste trabalho, obteve-se informações de 78 poços de um Campo A e de 15 poços de um Campo B.

##### **4.1.2 Análise dos dados de perfuração**

Organizadas as informações, iniciou-se a etapa de análise dos dados de perfuração.

Inicialmente, foram analisados os dados dos Boletins Diários de Perfuração (BDP) com o objetivo de verificar quais são as atividades desenvolvidas durante a perfuração de cada poço. Para isso, tornou-se necessária a observação das seguintes informações:

- ✓ Descrição das atividades
- ✓ Profundidade inicial e final
- ✓ Duração das fases do poço
- ✓ Duração dos problemas de perfuração

Como o foco deste trabalho está na avaliação do desempenho da construção de poços, optou-se por desenvolver a análise discretizando o poço em fases. Inspirando-se no tradicional e difundido custo métrico da broca, indicador utilizado para avaliar a operação de perfuração de poços, decidiu-se utilizar uma abordagem similar para avaliar o desempenho da construção das fases de um poço.

Intitulado de custo métrico de construção da fase (CMCF), esta abordagem é definida como sendo a razão entre os custos total da fase e o comprimento da fase, como pode ser visto na Equação 4.1.

$$\text{CMCF} = \frac{C_{\text{tf}}}{\text{MP}} \quad (4.1)$$

Os custos totais envolvidos para a construção da fase de um poço ( $C_{\text{tf}}$ ) é dado pelo somatório dos diferentes custos incidentes. Esses custos devem ser determinados e estudados separadamente para que o estudo apresente um resultado satisfatório.

No decorrer da construção de um poço, dois tipos de custos devem ser considerados:

- Custos fixos: os quais incidem apenas uma vez só e que não variam com o tempo, mas que se fazem presentes em toda a operação, como por exemplo: valor do revestimento a instalar, perfilagem, completação, instalação de equipamento de bombeio, etc.

- Custos Diários de Operação: os quais são todos aqueles que variam com o tempo, pois dependem diretamente da operação e cujo valor total varia com o número de dias ou tempo necessário à perfuração do poço.

Como pôde se observar nas Tabelas 3.1 a 3.5 do capítulo 3, para se perfurar uma única fase de um poço é necessária uma sequência de diversas atividades. Cada uma dessas atividades gera um custo que juntas resultam no custo total da fase do poço.

Como pode ser visto pelo gráfico de duração por profundidade do poço da Figura 4.1, quando examinamos a construção da fase numa escala maior nota-se que há dois padrões distintos.

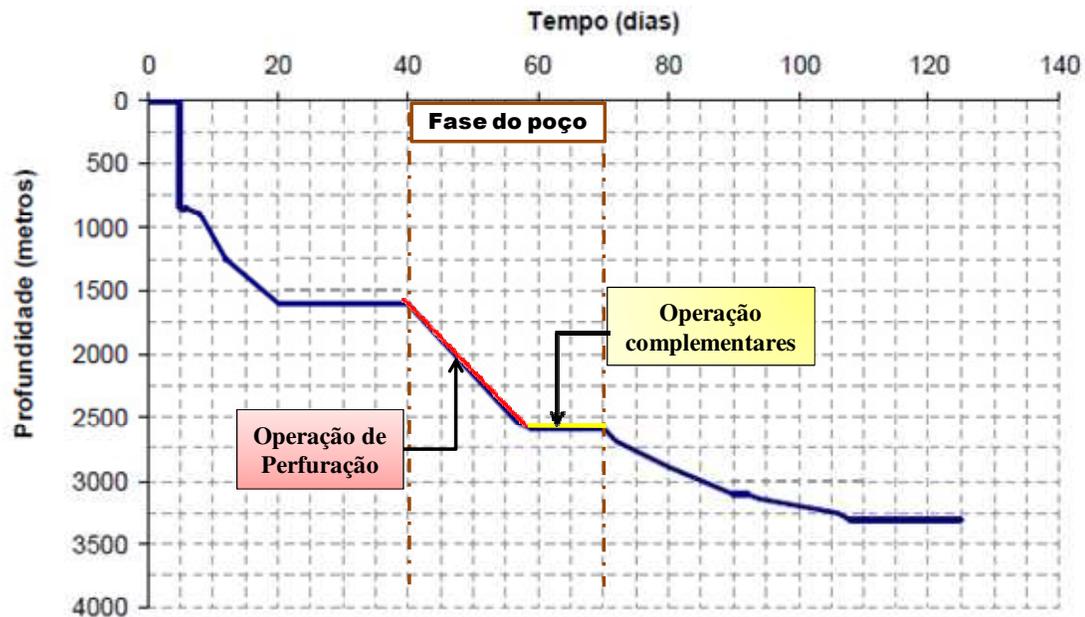


Figura 4.1: Ilustração das operações do poço.

Note que, enquanto num padrão ocorre o ganho da profundidade do poço com o passar do tempo noutro há a conservação da profundidade do poço. No presente trabalho, a esses dois padrões deu-se o nome de operação de perfuração e operação complementar, respectivamente. A análise dessa forma permite avaliar rapidamente em qual operação tem-se a queda de desempenho para, somente após isso, identificar qual(is) atividade(s) foram responsáveis pela queda da eficiência da construção da fase do poço.

Neste trabalho definiu-se a operação de perfuração como toda atividade que proporciona ganho de profundidade do poço, o que inclui a perfuração propriamente dita, jateamento (avanço em formações friáveis, como o fundo do mar) e testemunhagem.

Já as operações complementares são todas as atividades posteriores à operação de perfuração, necessárias ao desenvolvimento do poço e que visam à melhoria de sua qualidade, no entanto sem produzir avanço ou aprofundamento do poço onde se incluem as manobras, descidas de revestimento, perfilagem, testes de formação, cimentação, etc.

Assim, o custo total da fase é considerado como sendo o somatório dos custos dessas duas operações principais, como se pode observar na Equação 4.2.

$$C_{tf} = C_{perf} + C_{compl.} \quad (4.2)$$

onde:

$C_{tf}$  = Custo total da fase, US\$;

$C_{perf.}$  = Custo da operação de perfuração, US\$;

$C_{compl.}$  = Custo da operação complementar, US\$;

#### **4.1.2.1 Custo da operação de perfuração ( $C_{perf}$ )**

Para o cálculo do custo da operação de perfuração, consideraram-se as seguintes atividades, bem como a duração de cada uma e os custos envolvidos.

- ✓ Manuseio da coluna de perfuração;
- ✓ Descida da coluna de perfuração;
- ✓ Perfuração;
- ✓ Circulação;
- ✓ Retirada da coluna de perfuração;

Durante a análise das atividades através dos Boletins Diários de Perfuração notou-se que as informações não são muito precisas do ponto de vista temporal devido ao modo como são registradas. Como os eventos não são individualizados no momento do registro, não é possível saber exatamente o tempo de sonda consumido por cada atividade. Outra dificuldade

encontrada é a não uniformidade dos intervalos de classificação. Através da análise de uma amostra de boletins de vários poços, foi observado que o menor intervalo de classificação utilizado era de 30 minutos.

A não uniformidade nos intervalos de tempo aliada à subjetividade no processo de preenchimento inviabilizou, em alguns trechos, a utilização do Boletim Diário de Perfuração como fonte de informação da duração de algumas atividades, por exemplo: manuseio de coluna de perfuração, circulação, início e fim de descida e retirada de coluna de perfuração. Devido a essa dificuldade, para o cálculo do tempo total gasto por todas essas atividades optou-se por se utilizar a fórmula gerada por Amorim Junior (2008), descrita no capítulo 2.

$$HM=0,004 \times PE+9 \quad (4.4)$$

onde HM são as horas de manobra para a troca de uma broca (h) e PE é a profundidade de entrada da broca (m).

O cálculo do custo da operação de perfuração ( $C_{perf.}$ ) é similar ao custo métrico da broca (CM) multiplicado pelo comprimento total da fase. Dessa forma, a equação do custo da operação de perfuração de uma única fase é dada da seguinte forma:

$$C_{perf} = \sum_{n=1} CM_n \times MP_n \quad (4.5)$$

onde:

$CM_n$  = Custo métrico da broca descida ao poço, US\$/m;

$MP_n$  = Metros perfurados da broca descida ao poço, m;

O custo métrico da broca ( $CM_n$ ) é dado pela Equação 4.6.

$$CM_n = \frac{C_b + CH_s \times (HM+HR)}{MP} \quad (4.6)$$

onde:

CM = Custo métrico da broca, US\$/m,

$C_b$  = Custo da broca, US\$,  
 $CH_s$  = Custo horário da sonda, US\$/h,  
HM = Horas gastas para troca de broca, h,  
HR = Horas de rotação ou broca de fundo, h,  
MP = Intervalo Perfurado, m ou ft.

Outras informações necessárias para o cálculo do custo da operação de perfuração como horas de rotação da broca (HR) e metros perfurados (MP) foram obtidas através dos registros de brocas (*bit records*). Outras informações importantes para a análise do desempenho da operação fornecidas pelo registro de brocas são apresentadas a seguir:

- ✓ N° sequencial da broca no poço
- ✓ Diâmetro da broca
- ✓ Tipo de broca
- ✓ Profundidade de saída da broca
- ✓ Metros perfurados
- ✓ Horas de rotação da broca
- ✓ Taxa de penetração da broca (ROP)

As informações referentes aos custos de sonda de perfuração ( $CH_s$ ) e de brocas ( $C_b$ ) foram coletadas junto a especialistas da área de perfuração. Tais informações podem ser visualizadas no banco de dados em anexo no trabalho.

#### **4.1.2.2 Custo da operação complementar ( $C_{compl.}$ )**

Concluindo a construção da fase do poço, temos a operação complementar ( $C_{compl.}$ ) ilustrada pela linha amarela na Figura 4.1. O custo da operação complementar é dado como sendo a somatória dos custos de todas as operações desenvolvidas após a operação de perfuração. A análise do desempenho da operação complementar recai sobre três atividades principais: condicionamento do poço, descida de revestimento e cimentação.

Para a análise do desempenho da operação complementar, separou-se a duração de cada atividade. Para as atividades de cimentação e condicionamento do poço, a coleta da duração foi facilitada pela sua separação no momento do registro. Já no caso da descida de

revestimento, devido à atividade apresentar uma duração maior foram agregados os tempos das descidas interrompidas para manutenção ou outro motivo externo à operação.

O cálculo do custo da operação complementar é dado pela Equação 4.7.

$$C_{op.compl.} = CH_s \times H_{compl.} + \sum C_{serviços} \quad (4.7)$$

onde:

$CH_s$  = Custo horário da sonda, US\$/h;

$H_{compl.}$  = duração das operações complementares, h;

$C_{serviços}$  = Custo dos serviços, US\$;

As informações relativas aos custos médios dos revestimentos e dos serviços de cimentação e condicionamento são apresentadas no banco de dados do anexo deste trabalho. Em posse dessas informações, torna-se possível o cálculo dos custos da operação complementar.

No capítulo a seguir, apresentar-se-ão os resultados obtidos com a aplicação deste procedimento de análise sobre os dados reais de perfuração.

## Capítulo 5

### APLICAÇÕES E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos através da aplicação do procedimento proposto no Capítulo 4. Os resultados obtidos foram comparados com o indicador custo métrico da broca.

Para obtenção dos resultados foram utilizados dados de 50 poços perfurados no Campo A, selecionados após a aplicação do critério de Chauvenet.

O critério de Chauvenet é um dos métodos mais simples e usados quando se trata em eliminar valores duvidosos de uma determinada amostra de dados. Tal critério é ilustrado com maiores detalhes no Anexo 1 deste trabalho. As informações relativas aos poços utilizados é apresentado no Anexo 2.

#### 5.1 Premissas adotadas

Para a aplicação do parâmetro proposto foram adotadas as seguintes premissas:

- ✓ Poços provenientes de um mesmo campo marítimo, fato que permite utilizar o mesmo tipo de sonda e garante a atuação nas mesmas formações litológicas.
- ✓ Poços que possuem a mesma finalidade. Para este estudo utilizaram-se poços de desenvolvimento devido à quantidade de dados disponíveis ser bastante significativa em relação aos poços exploratórios.

- ✓ Foi analisada, apenas, a fase intermediária dos poços. O motivo dessa escolha se deve ao fato de que as fases de condutor e superfície serem fases de pequenas durações e metragens perfuradas. Já no caso da fase de produção, sua desconsideração se deve ao fato de existir limitações tecnológicas nas ferramentas utilizadas na perfuração o que impossibilita captar as informações litológicas do reservatório quando perfuradas a altas taxas de penetração (ROP) da broca. A fase intermediária, em contrapartida, apresenta longa duração e metragem perfurada. Para que não houvesse grandes diferenças entre a profundidade de início e fim da fase, foi adotado critério de Chauvenet para essa análise.
- ✓ Foram desconsiderados os tempos de operação de BOP e os tempos perdidos na sonda de perfuração. O motivo desse critério é o de trazer todos os poços para um mesmo referencial. Os tempos perdidos na sonda podem apresentar diversas causas. Como o intuito é avaliar os tempos gastos para se construir o poço foi considerado, somente, os tempos perdidos dentro do mesmo.

Em posse dessas premissas, prosseguiu-se a análise de desempenho dos poços.

## **5.2 Resultados obtidos**

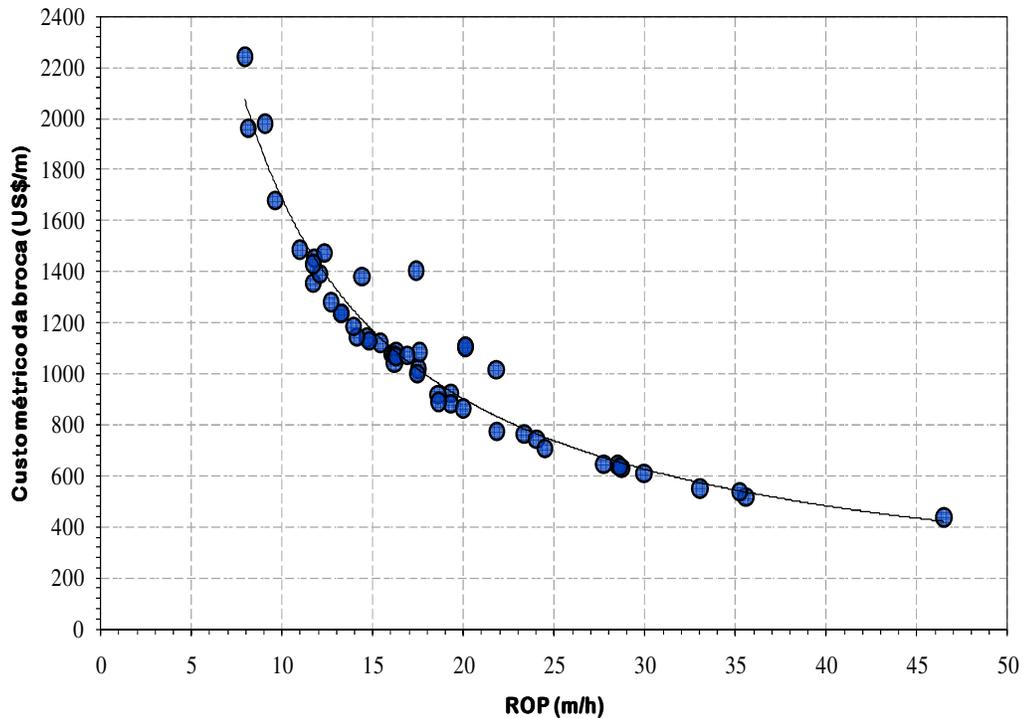
Para o presente trabalho, devido às inúmeras operações desenvolvidas após a operação de perfuração definiu-se, através da análise dos Boletins Diários de Perfuração, como operações complementares da fase a junção das seguintes operações: condicionamento do poço, descida de revestimento e cimentação.

Através da definição mencionada acima, das premissas ilustradas na seção 5.1 e da falta de informações de alguns poços, reduziu-se o espaço amostral de 78 para 50 poços.

Definido o espaço amostral, iniciou-se o procedimento de análise do desempenho da perfuração de poços a fim de avaliar, posteriormente, a influência da taxa de penetração da broca sobre os custos operacionais.

Primeiramente, gerou-se o gráfico do custo métrico da broca em função da taxa de penetração da broca, Figura 5.1, para os 50 poços supracitados.

A Figura 5.1 ilustra o comportamento do custo métrico da broca de 50 poços (direcionais e verticais) em função da taxa de penetração (ROP) da broca.



**Figura 5.1:** Comportamento do custo métrico da broca em função da taxa de penetração.

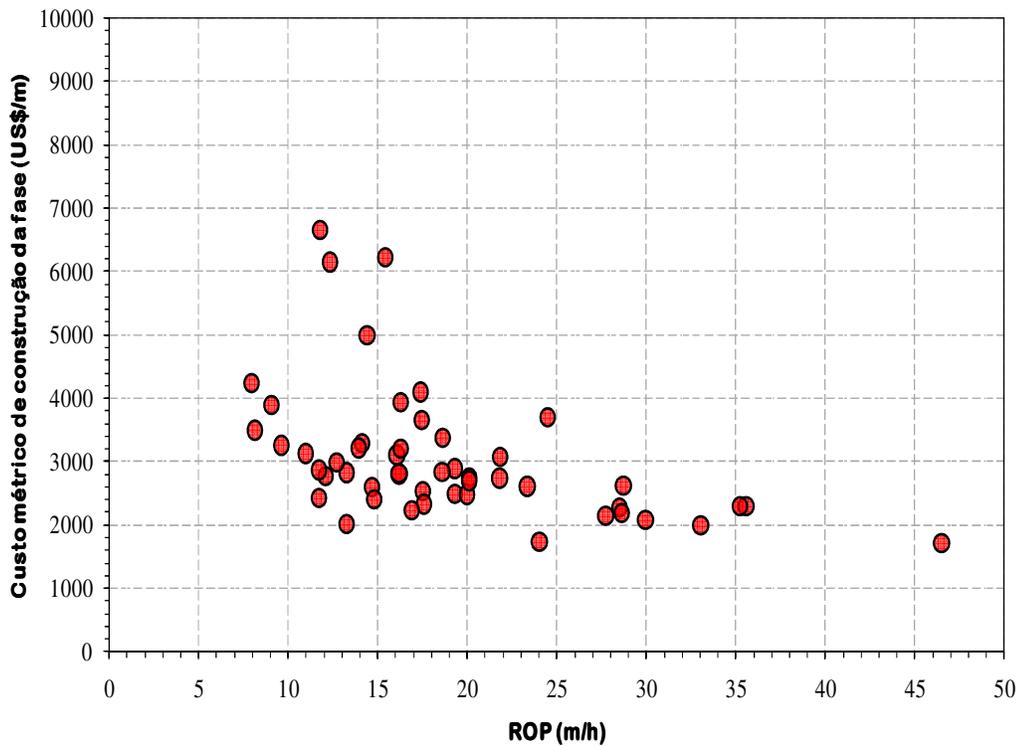
O comportamento obtido descreve que, quanto maior for a taxa de penetração da broca, menor será o custo por metro perfurado pela mesma. Esse comportamento é previsível pelo fato de termos embutido na fórmula do custo métrico o inverso da taxa de penetração. Além disso, a determinação do tempo gasto para manobrar as ferramentas de perfuração depende somente da profundidade de entrada da broca eliminando, assim, quaisquer tipos de dispersão de pontos oriundos da falta de boa técnica de perfuração para o avanço do poço, como pescarias e outros desperdícios de tempos.

De um modo geral, essa é a visão da indústria, que acredita que quanto maior for a velocidade da operação de perfuração menores serão os custos para a construção da fase de um poço.

Como comentado no capítulo anterior, segundo Mensa-Wilmot et al. (2010), os efeitos do aumento da ROP nem sempre se traduzem em resultados positivos aos custos operacionais.

A fim de verificar a influência da ROP sobre os custos operacionais dos poços, utilizados no presente trabalho, gerou-se o gráfico de custo métrico de construção da fase pela taxa de penetração da broca para os 50 poços em questão, ilustrado pela Figura 5.2.

Nele nota-se que os poços perfurados com menores taxa de penetração da broca apresentaram uma dispersão maior de custo métrico de construção da fase do que aqueles perfurados a alta taxa de penetração. Observou-se, também, que essa dispersão diminuiu gradativamente com o aumento da taxa de penetração da broca.

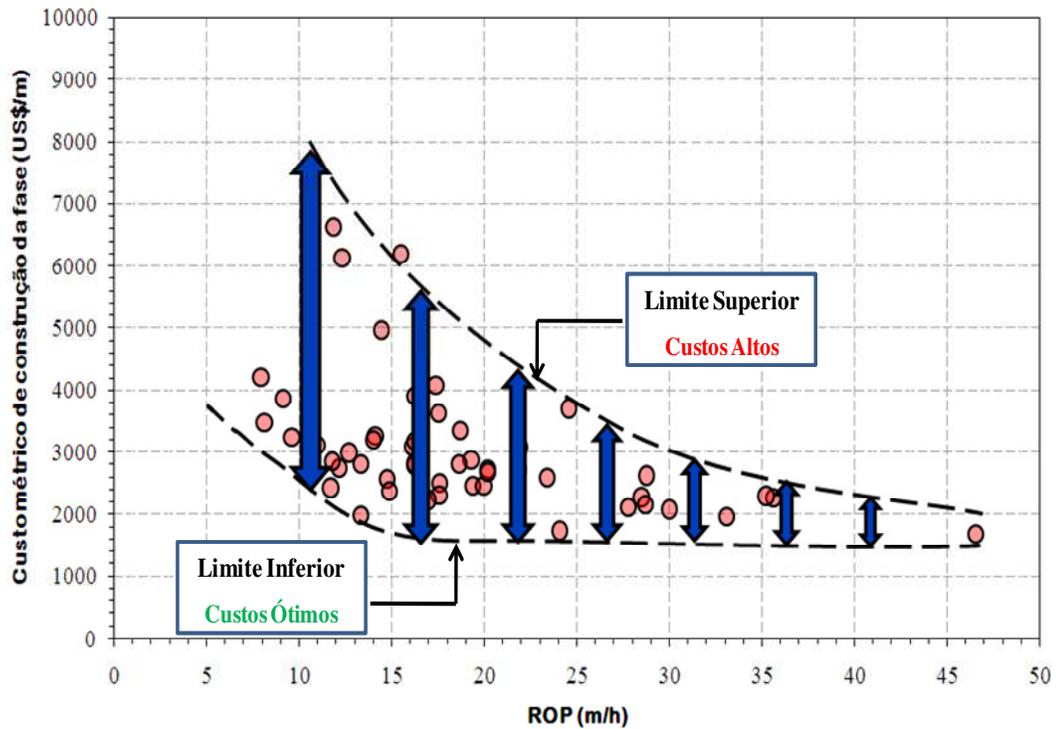


**Figura 5.2.** Comportamento do custo métrico da broca em função da taxa de penetração.

Diferentemente do custo métrico da broca, por não considerar somente a atividade de perfuração, mas também todos os eventos e atividades que juntas compõem a construção da

fase, o custo métrico de construção da fase apresentou grande dispersão dos pontos quando relacionado com a taxa de penetração.

No entanto, verifica-se que o padrão adotado pela indústria de maximizar a ROP mostrou-se positivo, pois possibilitou a redução dos custos de construção da fase. Contudo, outro aspecto interessante do gráfico pode ser visualizado melhor na Figura 5.3



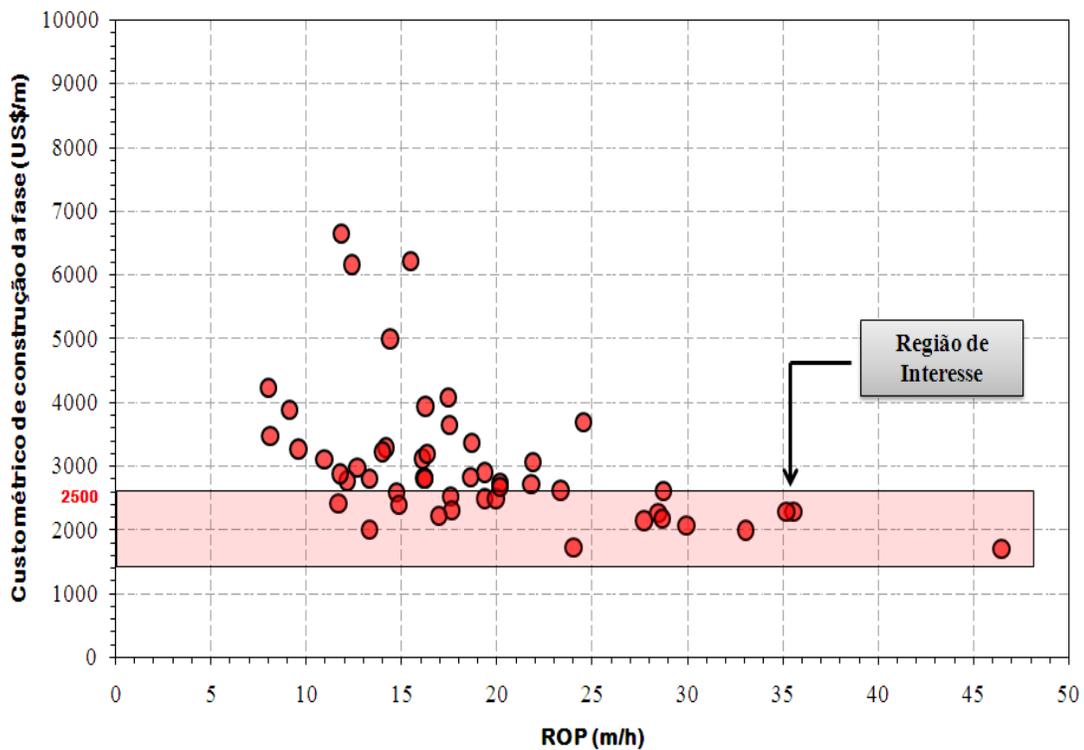
**Figura 5.3.** Comportamento do custo métrico da fase em função da taxa de penetração.

A envoltória ilustra a ocorrência de dois comportamentos distintos, um evidenciado pelo limite superior (custos altos) e outro pelo limite inferior (custos ótimos). É evidente que para as empresas de perfuração interessa repetir os valores de custos situados abaixo e/ou na região descrita pelo limite inferior.

Observa-se, ainda, que a partir de uma determinada taxa de penetração, aproximadamente acima de 17 m/h, independente da taxa de penetração adotada, os resultados de custos métricos de construção da fase não apresentaram uma variação tão significativa (desvio padrão = US\$ 235/ m). Mostra-se, assim, que a obtenção de baixos custos de construção da fase não está condicionada somente à taxa de penetração da broca.

Essas observações vão de encontro com os comentários apresentados por Mensa-Wilmot *et al.* (2010).

Porém, é necessário avaliar que fatores levaram os poços perfurados com diferentes taxas de penetração (ROP) a apresentar comportamento similar de custos métrico de construção de fase. Para isso, analisou-se o intervalo constituído pelos poços que apresentaram os menores custos métricos de construção da fase. Para o presente trabalho, estabeleceu a faixa de poços compreendido abaixo de US\$2500/m, como pode ser visto na Figura 5.4.



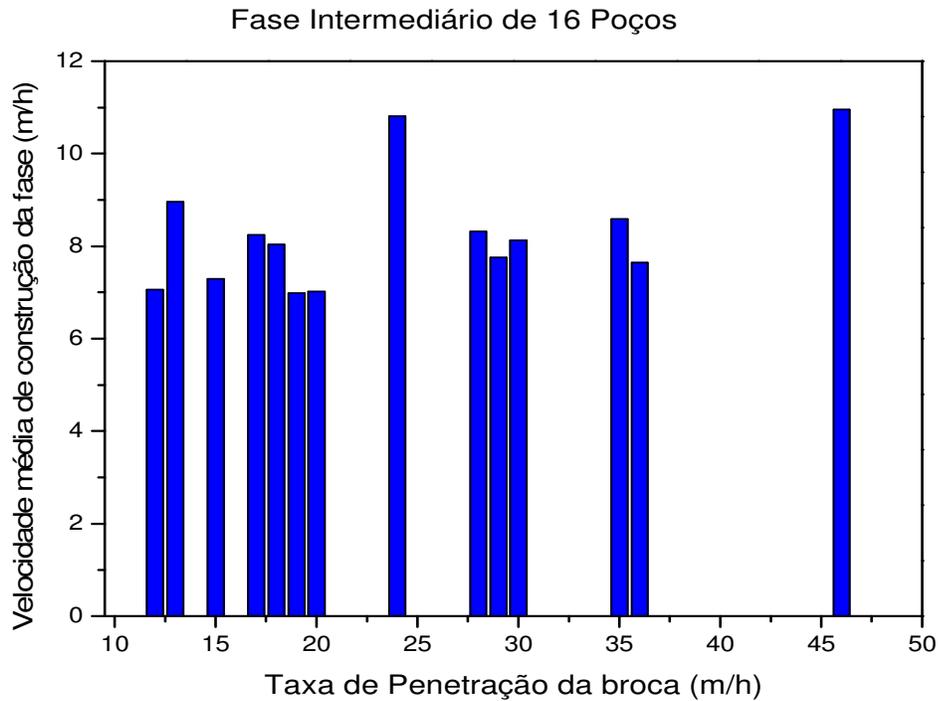
**Figura 5.4:** Ilustração da região de interesse do gráfico.

A região hachurada contém 16 poços os quais algumas de suas características podem ser visualizadas na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1.:** Dados dos poços da região de interesse.

Poço	Prof. de entrada (m)	ROP (m/h)	Metros Perf. (m)	Flat time (h)	Duração fase (h)	CMF (US\$/m)
7-XXX-99D	1028	11,7	977	55	138,5	2431
7-XXX-53D	1163	13,3	730	26,5	81,5	2013
7-XXX-68D	1298	14,8	733	51	100,5	2403
7-XXX-146D	1047	16,9	845	52,5	102,5	2233
7-XXX-71D	1090	17,6	659	44,5	82	2327
7-XXX-82D	1049	19,3	705	64,5	101	2484
7-XXX-91H	1030	20,0	649	60	92,5	2481
7-XXX-87D	1233	24,0	697	35,5	64,5	1736
7-XXX-81D	1061	27,7	707	59,5	85	2139
7-XXX-54D	1085	28,5	655	61,5	84,5	2281
7-XXX-89D	980	28,6	630	55,5	77,5	2188
7-XXX-84D	1124	30,0	704	58,5	82	2087
7-XXX-133D	858	33,0	677	54,5	75	1988
7-XXX-80	1056	35,2	669	68,5	87,5	2303
7-XXX-74	1015	35,6	747	77	98	2295
7-XXX-69D	1116	46,5	674	47	61,5	1713

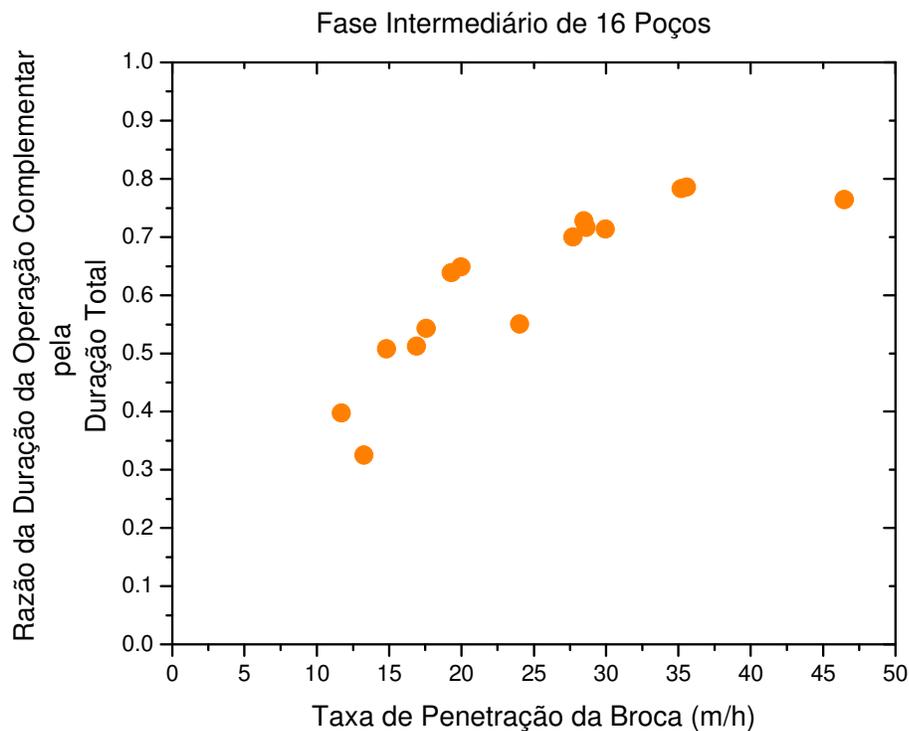
O primeiro procedimento foi analisar a velocidade média da fase para avaliar o comportamento dos 16 poços descritos nessa região. A velocidade média de construção da fase é considerada como sendo a razão da metragem perfurada total pela duração total da fase. Dessa forma, gerou-se o gráfico de velocidade de média de construção da fase em função da taxa de penetração da broca, visualizado na Figura 5.5.



**Figura 5.5:** Gráfico de velocidade média de construção da fase versus ROP.

Pelo gráfico da figura 5.5, observa-se que independente da taxa da perfuração adotada, a velocidade média de construção da fase se mantém quase constante, com poucas variações (desvio padrão = 1,20 m/s). Normalmente, as empresas de perfuração aumentam a taxa de penetração por acreditar que seu impacto atua de forma positiva na redução do tempo da operação de perfuração e, conseqüentemente, na duração total da fase, significando assim, para uma mesma metragem perfurada, um aumento de velocidade de construção da fase.

Contudo, através do gráfico razão da duração da operação complementar pela duração total da fase em função da taxa de penetração ilustrado pela Figura 5.6, observa-se que, mesmo reduzindo-se o tempo da operação de perfuração através da maximização da taxa de penetração da broca algo anômalo ocorre nas atividades subseqüentes. Essa anomalia tem contribuído para que todo o tempo, ganho através da operação de perfuração, se perca nas outras atividades.



**Figura 5.6.** Gráfico de razão da duração das operações complementares pela duração total versus ROP.

Como pode ser visto o comportamento obtido acima descreve que quanto mais se eleva a taxa de penetração da broca (ROP) maior se torna a duração da operação complementar. Na teoria essa parcela deveria apresentar um comportamento constante sugerindo que a operação de perfuração não influencia no seu desenvolvimento.

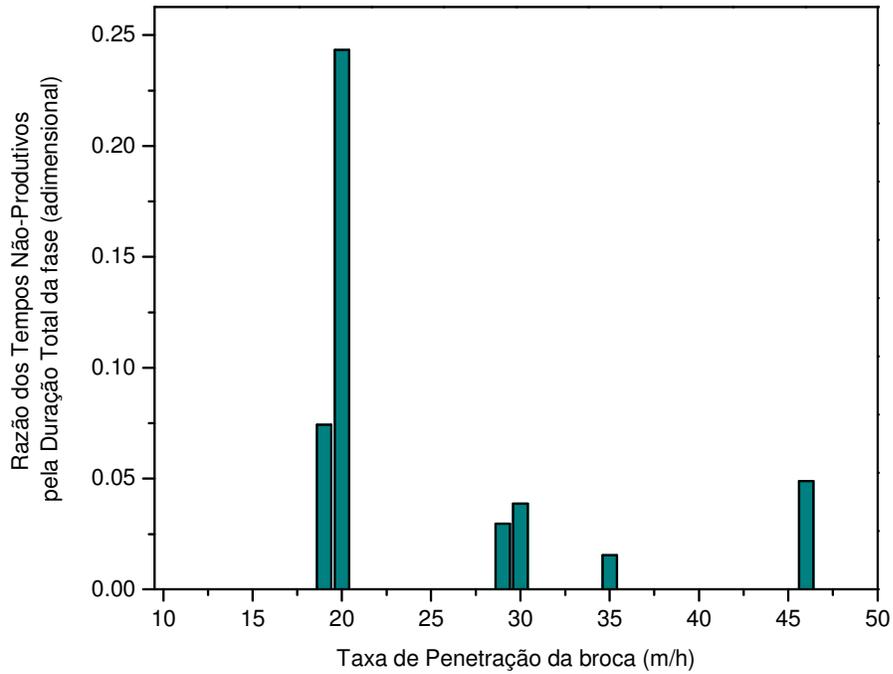
Com a finalidade de verificar a razão desse comportamento apresentam-se na seção seguinte, análises dos fatores que contribuíram para a tendência observada na figura acima em função da taxa de penetração da broca (ROP).

### 5.3 Identificando a influência da taxa de penetração (ROP) da broca

#### 5.3.1 Tempos Não Produtivos (TNP)

Primeiramente, verificou-se o aparecimento de problemas durante a perfuração com o aumento da taxa de penetração da broca. Tal fato pode ser observado pela Figura 5.7, que não

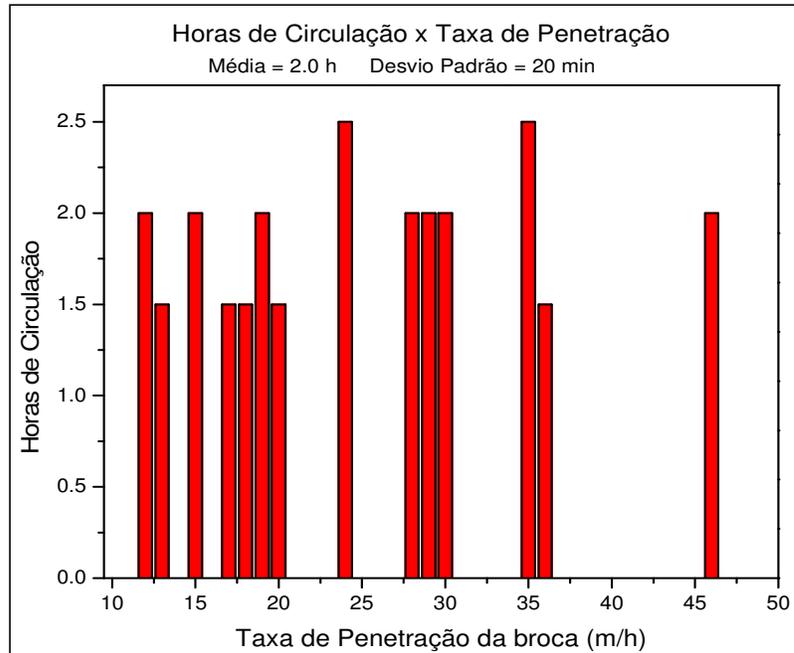
demonstra qualquer tipo de tendência de aumento do número de problemas para esses poços quando se aumentou a taxa de penetração da broca. Como pode-se notar, dos 16 poços analisados, somente 6 apresentaram problemas.



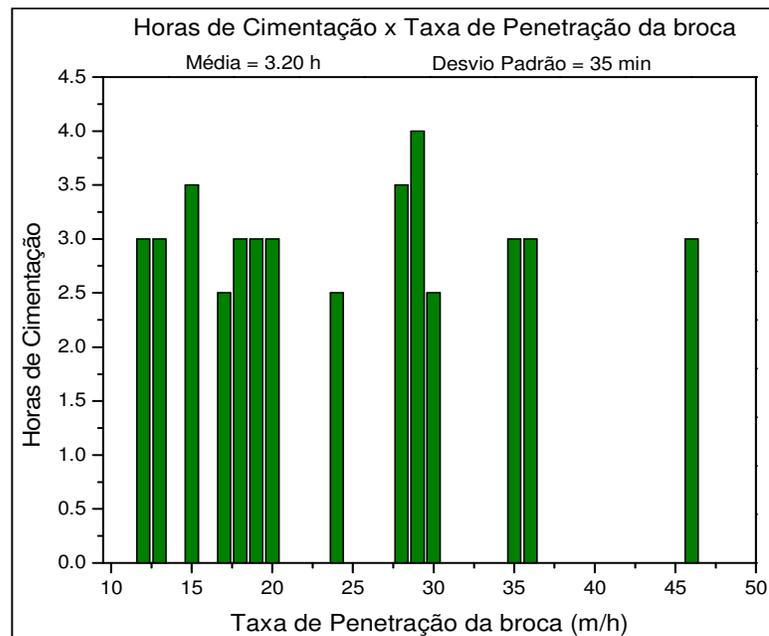
**Figura 5.7.:** Gráfico dos Tempos Não Produtivos (TNP) versus a taxa de penetração.

### 5.3.2 Operações de Circulação e de Cimentação

As figuras a seguir mostram o comportamento do tempo médio de cada uma das operações supracitadas à medida que se eleva a taxa de penetração. A primeira, Figura 5.8, ilustra o comportamento das horas de circulação quando se eleva a taxa de perfuração e a segunda, Figura 5.9, o comportamento das horas de cimentação.



**Figura 5.8.** Duração da atividade de circulação do poço para descida de revestimento versus taxa de penetração (ROP) da broca.



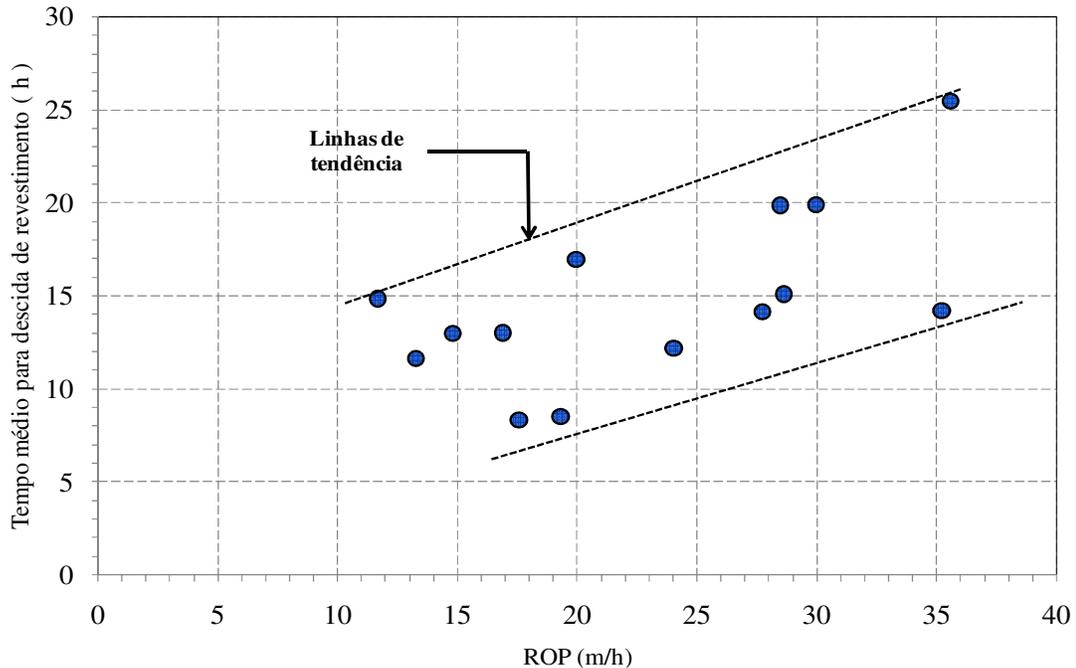
**Figura 5.9.** Duração da atividade de cimentação do revestimento versus taxa de penetração (ROP) da broca.

Conforme os gráficos acima, tanto o tempo gasto para circulação do poço quanto o tempo gasto para cimentação do revestimento não apresentaram qualquer tipo tendência que

se elevasse com o aumento da taxa de penetração da broca (ROP), pois, pelo que se observa, mesmo aumentando a velocidade de perfuração, os desvios padrões apresentados pelas duas operações foram aproximadamente 20 e 25 minutos, respectivamente.

### 5.3.3 Descida de revestimento

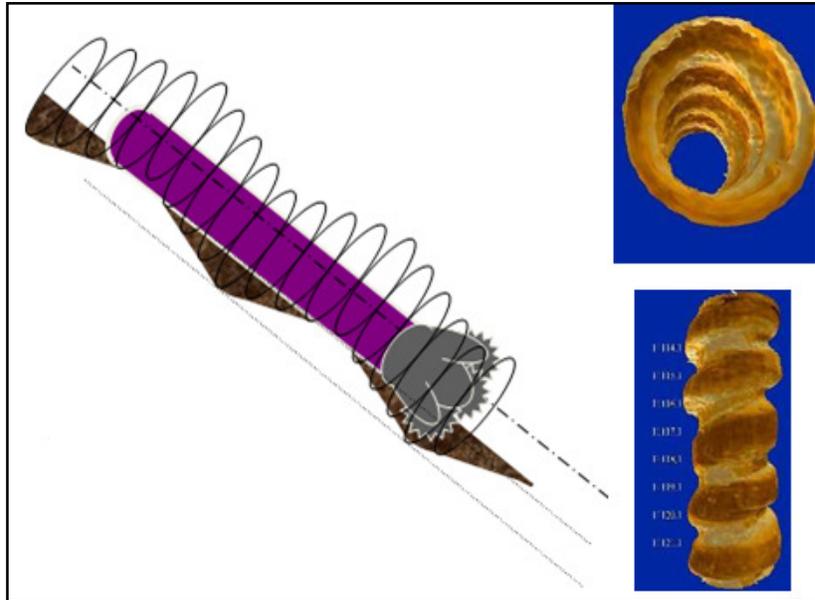
Para verificar a influência da taxa de penetração sobre o tempo médio para a descida do revestimento, gerou-se o gráfico ilustrado pela Figura 5.10. Apesar de não se encontrar relatos de dificuldades encontradas durante a descida de revestimento que poderiam acarretar na diminuição de sua velocidade de descida nos Boletins Diários de Perfuração (BDP), nota-se que ocorre um aumento do tempo médio para a descida de revestimento justamente quando se aumenta a taxa de penetração (ROP) da broca.



**Figura 5.10.** Gráfico de tempo médio de descida de revestimento versus ROP.

Provavelmente, o que pode ter acontecido é que o aumento da taxa de penetração impactou na qualidade do poço e, conseqüentemente, aumentou o tempo médio gasto para se descer o revestimento. Segundo Comeaux *et al.* (2001), a pressão gerada quando se perfurar rapidamente um poço faz com que surjam problemas na qualidade do mesmo. Em seu trabalho, ele descreve que uma ocorrência bastante comum desse processo, o espiralamento

do poço, que constitui em irregularidades em formato espiral de um poço e que possui um impacto significativo na eficiência da perfuração e nos custos da construção dos mesmos. O processo de espiralamento, segundo o autor, ocorre quando o centro da broca segue um caminho helicoidal em torno do eixo planejado para a trajetória do poço. A Figura 5.11 ilustra um possível efeito do aumento da taxa de penetração da broca no poço.



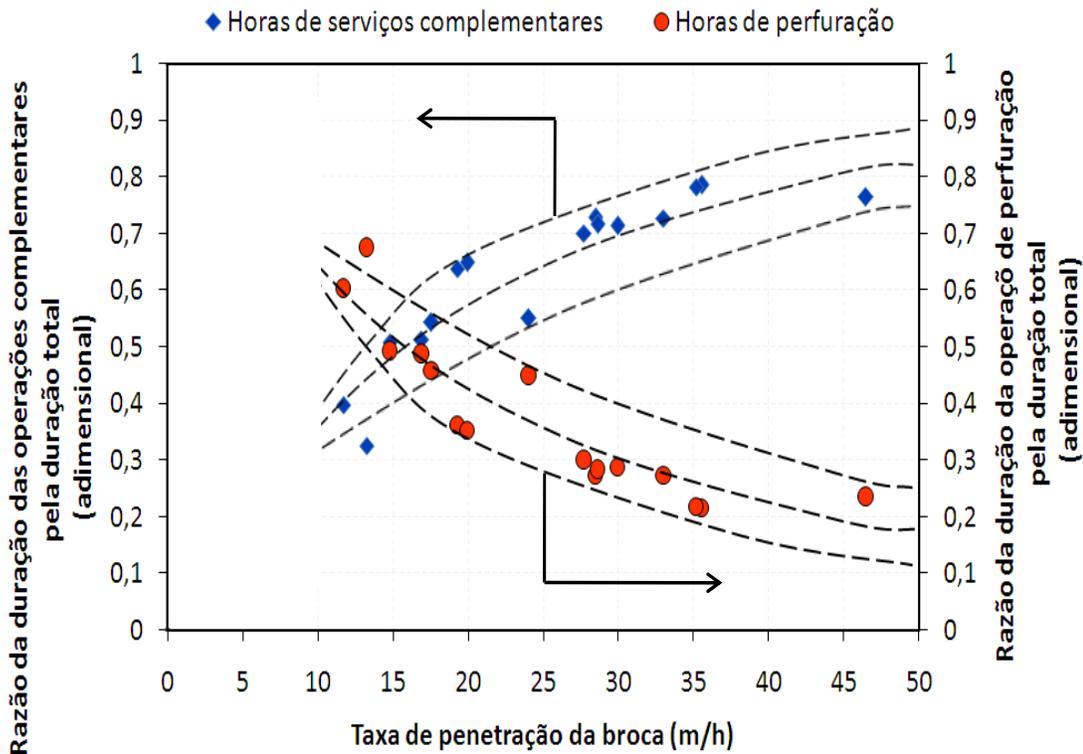
**Figura 5.11.** Ilustração de um poço espiralado (adaptação de Mason, 2007).

Portanto, o aumento do tempo médio para a descida do revestimento pode ter contribuído para que os poços que foram perfurados com diferentes taxas de penetração (ROP) apresentassem comportamento similar de custos métrico de construção de fase.

#### **5.4 Considerações Finais**

Com o objetivo de ilustrar o comportamento da duração das duas operações consideradas principais, neste estudo, em função do aumento da taxa de penetração da broca, plotaram-se no mesmo gráfico as curvas de razão da duração das operações complementares pela duração total da fase (eixo das ordenadas – lado esquerdo), razão da duração da operação de perfuração pela duração total da fase (eixo das ordenadas – lado direito), versus a taxa de penetração da broca (eixo das abscissas), como pode ser visto na Figura 5.12.

Fase Intermediária de 16 poços com menores custo de construção da fase



**Figura 5.12.** Comportamento da duração das operações principais com o aumento da taxa de penetração (ROP) da broca.

Através da Figura 5.12, pode-se verificar como varia a duração das operações com o aumento da taxa de penetração. À medida em que se aumenta a taxa de penetração a duração da operação de perfuração diminui. Em contrapartida, esse aumento de velocidade impacta na qualidade do poço contribuindo, assim, para o aumento da duração para execução das operações complementares.

Dessa forma, entende-se que para ter a obtenção de um poço de baixo custo não se deve apenas aumentar a taxa de penetração. A taxa de penetração é apenas um dos diversos fatores que influenciam na eficiência da construção de poços. Segundo o trabalho de Mensa-Wilmot *et al.* (2010), a eficiência da perfuração poderá apresentar o efeito desejado sobre os custos quando todos os fatores operacionais forem identificados e analisados.

## Capítulo 6

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo desenvolvido neste trabalho representa uma iniciativa de avaliar a influência da taxa de penetração (ROP) da broca nos custos de construção de poços de petróleo. Para tanto, foi concebido um parâmetro de análise baseado no tradicional e difundido custo métrico da broca. Uma característica deste parâmetro é a de permitir a avaliação, de maneira mais simples, do desempenho da perfuração de poços através da análise dos dados operacionais, medidos periodicamente, de diferentes poços. Para o cálculo do Custo Métrico de Construção da Fase empregou-se uma base de dados substancial, resultante do processo de união dos diversos dados medidos. Esse parâmetro foi aplicado sobre dados reais de 50 poços de um mesmo campo marítimo.

#### 6.1 Conclusões

Do objetivo proposto para esta dissertação, destacamos os seguintes pontos.

1. Verificou-se graficamente que a taxa de penetração (ROP) da broca é um parâmetro que influencia os custos de construção de poços, mostrando-se adequada a ênfase dada pela indústria no aprimoramento de pesquisa sobre esse assunto. Contudo, notou-se, também, que a partir de uma determinada taxa de penetração da broca os custos considerados ótimos para este trabalho não apresentaram uma redução significativa ressaltando haver, além da taxa de penetração da broca, outros fatores que são responsáveis pelo aumento da eficiência da perfuração e, conseqüentemente, pela queda dos custos de construção de poços.

2. O estudo aqui desenvolvido mostrou a necessidade de se avaliar o desempenho do processo construtivo do poço de uma forma mais integrada, ou seja, a dependência de todas as operações e, não somente, a análise individual da operação de perfuração.
3. Além disso, pode-se observar que o aumento exacerbado da taxa de penetração da broca pode impactar na perda de qualidade do poço, elevando o tempo gasto para a execução de atividades posteriores.
4. Acredita-se na necessidade de se fazer um estudo mais abrangente sobre outros fatores que influenciam o desempenho operacional como, por exemplo, a qualidade do poço, a fim de aumentar a eficiência da construção de poços e assim, reduzir seus custos.

## **6.2 Sugestões para pesquisas futuras**

Como proposta para a evolução deste trabalho, temos:

1. Mapear e estudar a influencia de outros parâmetros tais como: fatores humanos, tipos de equipamentos, logística etc, no desempenho da perfuração de poços.
2. Gestão de tempos e de métodos: há grande cobrança de eficiência na operação de perfuração. Porém, não se observa o mesmo critério em relação às operações complementares, que podem custar até um terço do valor total de operações em poços profundos (Amorim, 2008). Logo, torna-se necessário o desenvolvimento de métodos que permitam aumentar a eficiência das operações complementares.

## Referências Bibliográficas

- ADAMS, N.J., CHARRIER, T. "Drilling Engineering: A Complete Well Planning Approach" . Pennwell Publishing Company, Tulsa, 1985.
- ADELEYE, A.R., VIRGINILLO, B.K., IYOHO, A.W., PARENTEAU. K., LICIS. H., "Improving Drilling Performance Through Systematic Análisis of Historical Data: Case Study of a Canadian Field." In: IADC/SPE Drilling Conference, 2-4 March 2004, Dallas, Texas.
- AL-BETAIRI, E.A., MOUSSA, M., AL-OTAIBI, S., "Multiple Regression Approach to Optimize Drilling Operations in the Arabian Gulf Area," Middle East Oil Symposium, Bahrain, Março de 1985.
- AMORIM Jr., D. S. "Metodologia para a redução de custos na perfuração de poços". Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. 2008. (Dissertação de Mestrado).
- API, 2007. "Drilling expenditures hit new all-time high at over \$220 billion". Washington, D.C.: American Petroleum Institute. Disponível em: [http://www.api.org/Newsroom/drilling\\_expenditure.cfm](http://www.api.org/Newsroom/drilling_expenditure.cfm). Acessado em 10/12/2010.
- BAHARI, A., SEYED A. B. " Drilling cost optimization in Iranian Khangiran Gas Field." International Oil Conference and Exhibition in Mexico, Veracruz, Mexico, 27-30 Junho de 2007.
- BINGHAM M.G., "A New Approach to Interpreting Rock Drillability," Oil and Gas Journal, Abril 1965.
- BLICK, E. F., CHUKWU, G. A. "How to predict when to pull the bit." In: Petroleum Engineer International, v. 62, n. 1, p. 39-41, Janeiro de 1980.
- BOURGOYNE, A.T. JR., YOUNG, F.S., "A Multiple Regression Approach to Optimal Drilling and Abnormal Pressure Detection", SPE, Agosto de 1974.

- BP, 2008. BP Statistical Review of World Energy 2008. British Petroleum. Disponível em: <http://www.bp.com/statisticalreview>. Acessado em: 05/02/2011.
- BRANNIGAN, J.C., “The Characterization of Drilling Operations and Their Representation in Relational Databases.” In: Petroleum Computer Conference, 19-22 Julho 1992, Houston, Texas.
- BRETT, J. F., MILLHEIM, K. K. “The Drilling Performance Curve: A Yardstick for Judging Drilling Performance.” In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 5-8 October 1986, New Orleans, Louisiana.
- COMEAX, B. C., “Improving Total Well Construction Efficiency by Addressing Wellbore Quality”, AADE National Drilling Technical Conference, March 27 - 29, 2001, Texas.
- CURRY, D., FEAR, M., GOVZITCH, A., AGHAZADA, L.: “Technical Limit Specific Energy-An Index to Facilitate Drilling Performance Evaluation.” In: SPE/IADC Drilling Conference, 23-25 Fevereiro de 2005, Amsterdam, Netherlands.
- DYER, R. S. “Bit optimization for positive displacement motors.” , SPE Rocky Mountain Regional Meeting, Maio de 1984, Casper, Wyoming.
- EIA, 2007a. International Energy Outlook 2007. Washington, D.C.: Energy Information Administration, US Department of Energy. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov>. Acessado em 11/12/2010.
- GALLE, E.M., WOODS, A.B., “Best Constant Weight and Rotary Speed for Rotary Rock Bits,” Drill. And Prod. Prac., API 1963, pp 48-73.
- GARNIER, A.J., LINGEN, N.H., “Phenomena Affecting Drilling Rates at Depth,” Annual Fall Meeting of SPE, Houston, TX, May 1959.
- GIL, I., ROEGIERS, J. "Borehole Design: Stability Considerations." In: SPE/ISRM Rock Mechanics Conference, 20-23 de outubro 2002, Irving, Texas.
- GRAHAM, J.W., MUENCH, N.L., “Analytical Determination of Optimum Bit Weight and Rotary Speed Combinations.”, Fall Meeting of the Society of Petroleum Engineers, Dallas, TX, Outubro 1959.

- GUERRERO, C.A., KULL, B. J. "Deployment of an SeROP Predictor Tool for Real-Time Bit Optimization." In: SPE/IADC Drilling Conference, 20-22 Fevereiro de 2007, Amsterdam, The Netherlands.
- IYOHO, A.W., ADELEYE, A., VIRGINILLO, B., HOOLAND, K.. "Managing Drilling Performance Technical Analysis, Well Challenges and Field Engagement." In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 9-12 October 2005, Dallas, Texas.
- IYOHO, A.W., MEIZE, R.A., MILLHEIM, K.K., CRUMRINE, M.J. "Lessons From Integrated Analysis of GOM Drilling Performance." In: SPE Drilling & Completion, pp. 6-16. Houston, 2004.
- KOEDERITZ, W. L., DUPRIEST, F. E., "Maximizing Drill Rates with Real-Time Surveillance of Mechanical Specific Energy", SPE/IADC Drilling Conference, 23-25 Fevereiro de 2005, Amsterdam, Holanda.
- MANNON, D.C. "Reducing Well Costs by Increasing Drilling Efficiency." In: AADE National Drilling Technical Conference, Houston, Texas, 27 - 29 de março.
- MASON, J. C., "Wellbore Quality Characterization for Drilling and Casing Running in Challenging Wells", apresentação na SPE Distinguished Lecture entre 2006-2007.
- MAURER, W.C., "The 'Perfect-Cleaning' Theory of Rotary Drilling," Journal of Pet. Tech, Novembro 1962.
- MENDES, J.R.P. "Raciocínio Baseado em Casos Aplicado ao Projeto de Poços de Petróleo". Departamento de Engenharia de Petróleo. Universidade Estadual de Campinas. SP. Brasil. 2001. 99 p. Tese (doutorado).
- MENSA-WILMOT, G., HARJADI, Y., LANGDON, S., GAGNEAUX. J., "Drilling Efficiency and Rate of Penetration: Definitions, Influencing Factors, Relationships, and Value." In: IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, 2-4 February 2010, New Orleans, Louisiana.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, "Contexto mundial e preço do petróleo: Uma visão de longo prazo", dezembro de 2008.

- MIURA, K. "Um Estudo sobre Segurança Operacional na Construção e Reparo de Poços Marítimos de Petróleo". Departamento de Engenharia de Petróleo. Universidade Estadual de Campinas. SP. Brasil. 2004. Tese (doutorado).
- MOUAWAD, J. e FACKLER, M., "Dearth of ships delays drilling of offshore oil.", New York Times, Junho de 2008.
- NAKAGAWA. E., DAMSKI. C., E MIURA. K., "What is the Source of Drilling and Completion Data?" In: SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, 5-7 April 2005, Jakarta, Indonesia.
- NOERAGER, J. A., WHITE, J. P., FLOETRA, A., DAWSON, R. "Drilling Time Predictions From Statistical Analysis." In: SPE/IADC Drilling Conference, 15-18 March 1987, New Orleans, Louisiana.
- PESSIER, R.C., FEAR, M.J.: "Quantifying Common Drilling Problems With Mechanical Specific Energy and a Bit-Specific Coefficient of Sliding Friction." In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 4-7 de outubro de 1992, Washington, D.C.
- PHILLIPS, D., " Cost of offshore drilling rising as fast as oil prices.", Energy Industry, 2008.
- RABELO, C. "Uma Metodologia para Análise de Dados de Perfuração de Poços de Desenvolvimento". Departamento de Engenharia de Petróleo. Universidade Estadual de Campinas. SP. Brasil. 2008. 100 p. Dissertação (mestrado).
- RABIA, H., "Specific energy as a criterion for bit selection." JPT, Julho de 1985. p.1225-1229.
- SATO, A. "Sistema Inteligente para Elaborar um Projeto de Perfuração de um Poço de Petróleo". Departamento de Engenharia de Petróleo. Universidade Estadual de Campinas. SP. Brasil. 1992. Dissertação (mestrado).
- SB, 2008. Steel Business. Disponível em: <http://www.steelbb.com>. Acessado em 06/01/2011.
- SHILLING, R.B., LOWE, D.E., "Systems for Automated Drilling AFE Cost Estimating and Tracking." In: Petroleum Computer Conference, 25-28 Junho de 1990, Denver, Colorado.

- SINOR, L. A., J. R. POWERS, e T. M. “The effect of PDC cutter density, back rake, size and speed on performance.”, IADC/SPE Drilling Conference, Março 1998, Dallas, Texas. WARREN.
- SPEARS &. ASSOCIATES, “Drilling and Production Outlook.” março 2009.
- SPEER, J.W., "A Method for Determining Optimum Drilling Techniques," Drill. and Prod. Prac., API 1958, pp 25.
- TEALE, R.: “The Concept of Specific Energy in Rock Drilling.” In: International Journal of Rock Mechanics and Mining Science (1965), vol. 2, 711-725.
- WARDLAW, H.W.R. “Drilling Performance Optimization and Identification of Overpressure Formations,”. Universidade do Texas, Austin, Texas, 1969.
- WARREN, T.M., “Penetration-Rate Performance of Roller–Cone Bits.”, SPE Annual Technical Conference, Houston, Março de 1986.
- WAUGHMAN, R.J., KENNER, J.V., MOORE, R.A.:. “Real-Time Specific Energy Monitoring Reveals Drilling Inefficiency and Enhances the Understanding of When to Pull Worn PDC Bits.” In: IADC/SPE Drilling Conference, 26-28 February 2002, Dallas, Texas.
- WHELEHAN, O. P., THOROGOOD, J. L. “An Automated System for Predicting Drilling Performance.” In: SPE/IADC Drilling Conference, 15-18 Fevereiro de 1994, Dallas, Texas.
- WILSON, D.C., BENTSEN, R.G., “Optimization Techniques for Minimizing Drilling Costs,” , SPE Annual Fall Meeting, San Antonio, Outubro de 1972.
- YOUNG, F.S., “Computerized Drilling Control.”. Annual Fall Meeting, Houston, Outubro de 1968.



## ANEXO I - CRITÉRIO DE CHAUVANET

Ocasionalmente, quando se realiza uma seqüência de  $n$  medições de uma variável é possível a ocorrência de alguns resultados estranhos que parecem diferir significativamente dos demais. Em geral, tais resultados podem ser atribuídos a falhas que provocam distorções significativas.

Os resultados anômalos podem afetar sensivelmente a média e comprometer a exatidão do processo. É razoável, portanto, algum critério para seu descarte.

O **critério de Chauvenet** é um dos métodos mais simples e mais usados para indicar os resultados a ser desprezado.

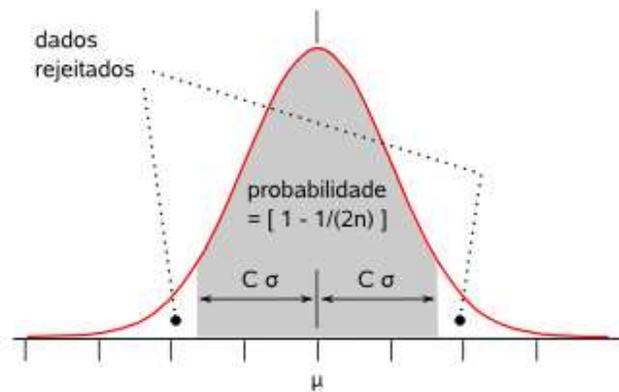
Dado uma seqüência de  $n$  medições que estatisticamente seguem o comportamento comum da distribuição normal, torna-se possível rejeitar resultados cujas probabilidades sejam menores que

$$\frac{1}{2n} \tag{1}$$

Isso significa que resultados considerados "bons" estão dentro de uma faixa cuja probabilidade é

$$1 - \frac{1}{2n} \tag{2}$$

Considerando a curva teórica de uma distribuição normal de média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$  conforme Figura 1, pode-se concluir que esses resultados bons ocupam a faixa central escura, de área igual a  $[1 - 1/(2n)] \times 100\%$  da área total sob a curva. Naturalmente, os dados a serem rejeitados ocupam as áreas extremas sob a curva.



**Figura1.** Curva teórica de uma distribuição normal.

Para aplicar o critério de Chauvenet, primeiro calculamos a média e o desvio padrão dos dados observados. Baseado em quanto o dado suspeito difere da média, usa-se a distribuição normal para determinar a probabilidade.

Para cada valor de  $n$  há um determinado coeficiente  $C$  referente ao número de desvios-padrão para a faixa de valores considerados aceitáveis, como pode ser visto na tabela abaixo.

**Tabela 1.** Número de desvios-padrão para a faixa de valores considerados aceitáveis.

<b>n</b>	<b>C</b>
3	1,38
4	1,54
5	1,65
6	1,73
7	1,80
8	1,87
9	1,91
10	1,96
15	2,13
20	2,24
25	2,33
50	2,57
100	2,81
300	3,14
500	3,29
1000	3,48

Portanto, a faixa de valores aceitáveis é dada por:

média  $\pm C \sigma$

(3)

Valores fora dessa faixa podem ser descartados segundo o critério de Chauvenet.



**ANEXO II**

**DADOS COLETADOS**



Tabela 1: Dados Gerais da operação de perfuração da fase intermediária.

Nome do Poço	Sonda	Fase	Diâmetro da broca (pol)	Diâmetro Revestimento (pol)	Profundidade de Entrada (m)	Metros Perfurados (m)	Horas de Rotação (h)
7-XXX-12-RJS	SS	17H	17	13	1339	478	27.5
7-XXX-13-RJS	SS	17H	17	13	1256	554	34.5
7-XXX-14-RJS	SS	17H	17	13	1275	535	24.5
7-XXX-16D-RJS	SS	17H	17	13	1265	567	62.5
7-XXX-17D-RJS	SS	17H	17	13	1320	488	30
7-XXX-18D-RJS	SS	17H	17	13	1261	533	37
7-XXX-19D-RJS	SS	17H	17	13	1263	561	32
7-XXX-22D-RJS	SS	17H	17	13	1301	571	37
7-XXX-24D-RJS	SS	17H	17	13	1344	483	41
7-XXX-25D-RJS	SS	17H	14	13	1304	752	61
7-XXX-26D-RJS	SS	17H	17	13	1322	744	77.5
7-XXX-42-RJS	SS	17H	17	13	1165	785	36
7-XXX-43D-RJS	SS	17H	17	13	1163	730	55
7-XXX-48D-RJS	SS	17H	17	13	1117	674	33.5
7-XXX-53D-RJS	SS	17H	17	13	1163	730	55
7-XXX-54D-RJS	SS	17H	17	13	1085	655	23
7-XXX-58D-RJS	SS	17H	17	13	1290	718	65.5
7-XXX-60D-RJS	SS	17H	17	13	1297	579	30
7-XXX-64D-RJS	SS	17H	17	13	1195	725	39
7-XXX-67D-RJS	SS	17H	17	13	1176	661	45
7-XXX-68D-RJS	SS	17H	17	13	1298	733	49.5
7-XXX-69D-RJS	SS	17H	17	13	1116	674	14.5
7-XXX-70D-RJS	SS	17H	17	13	1288	575	35.5
7-XXX-71D-RJS	SS	17H	17	13	1090	659	37.5
7-XXX-72D-RJS	SS	17H	17	13	1004	736	58
7-XXX-74-RJS	SS	17H	17	13	1015	747	21
7-XXX-80-RJS	SS	17H	17	13	1056	669	19
7-XXX-81D-RJS	SS	17H	17	13	1061	707	25.5
7-XXX-82D-RJS	SS	17H	17	13	1049	705	36.5
7-XXX-86D-RJS	SS	17H	17	13	1223	677	29
7-XXX-87D-RJS	SS	17H	17	13	1233	697	29
7-XXX-88H-RJS	SS	17H	17	13	1066	689	24
7-XXX-89D-RJS	SS	17H	17	13	980	630	22
7-XXX-91H-RJS	SS	17H	17	13	1030	649	32.5
7-XXX-99D-RJS	SS	17H	17	13	1028	977	83.5
7-XXX-101D-RJS	SS	17H	17	13	1120	932	66
7-XXX-111D-RJS	SS	17H	17	13	1196	704	43.5
8-XXX-15D-RJS	SS	17H	17	13	1306	1450	182.5
8-XXX-31D-RJS	SS	17H	17	13	1325	575	47.5
8-XXX-33D-RJS	SS	17H	17	13	1277	727	89.5
8-XXX-48D-RJS	SS	17H	17	13	1177	674	33.5
8-XXX-55D-RJS	SS	17H	17	13	1067	683	49
8-XXX-61A-RJS	SS	17H	17	13	1306	594	36.5
8-XXX-73-RJS	SS	17H	17	13	1260	557	47.5
8-XXX-75D-RJS	SS	17H	17	13	1260	594	34
9-XXX-84D-RJS	SS	17H	17	13	1124	704	23.5
9-XXX-146D-RJS	SS	17H	17	13	1047	845	50
9-XXX-182D-RJS	SS	17H	17	13	1008	839	45
9-XXX-189D-RJS	SS	17H	17	13	1162	845	34.5
9-VD-3D-RJS	SS	17H	17	13	858	677	20.5



**Tabela 2: Dados da operação de perfuração e duração da operação complementar.**

Nome do Poço	Tipo de Broca	Custo Métrico (US\$/m)	Custo Perfuração (US\$)	Topo Revestimento (m)	Base Revestimento (m)	Duração total (h)	Duração da operação complementar (h)
7-XXX-12-RJS	PDC	1403	670710	1339	1817	106	78.5
7-XXX-13-RJS	triconica	1076	596086	1256	1810	101	66.5
7-XXX-14-RJS	triconica	774	414341	1275	1810	98.5	74
7-XXX-16D-RJS	triconica	1980	1122770	1265	1832	126	63.5
7-XXX-17D-RJS	triconica	1089	531466	1320	1808	115	85
7-XXX-18D-RJS	triconica	1380	735752	1261	1794	157	120
7-XXX-19D-RJS	triconica	1018	571135	1263	1824	80	48
7-XXX-22D-RJS	triconica	1121	640345	1301	1872	222.5	185.5
7-XXX-24D-RJS	triconica	1454	702280	1344	1827	201	160
7-XXX-25D-RJS	triconica	1473	1107722	1304	2056	284	223
7-XXX-26D-RJS	triconica	1678	1248790	1322	2066	144.5	67
7-XXX-42-RJS	triconica	1017	798660	1165	1950	114	78
7-XXX-43D-RJS	triconica	1239	904135	1163	1893	121	66
7-XXX-48D-RJS	triconica	1106	745260	1117	1791	97	63.5
7-XXX-53D-RJS	triconica	1239	904135	1163	1893	81.5	26.5
7-XXX-54D-RJS	triconica	642	420625	1085	1740	84.5	61.5
7-XXX-58D-RJS	triconica	1487	1067350	1290	2008	133	67.5
7-XXX-60D-RJS	triconica	924	535165	1297	1876	97	67
7-XXX-64D-RJS	triconica	918	665575	1195	1920	120.5	81.5
7-XXX-67D-RJS	triconica	1142	754720	1176	1837	99	54
7-XXX-68D-RJS	triconica	1129	827710	1298	2031	100.5	51
7-XXX-69D-RJS	triconica	437	294520	1116	1790	61.5	47
7-XXX-70D-RJS	triconica	1073	617260	1288	1863	93	57.5
7-XXX-71D-RJS	triconica	1084	714650	1090	1749	82	44.5
7-XXX-72D-RJS	triconica	1280	941980	1004	1740	130.5	72.5
7-XXX-74-RJS	triconica	519	387475	1015	1762	98	77
7-XXX-80-RJS	triconica	537	359320	1056	1725	87.5	68.5
7-XXX-81D-RJS	triconica	646	457045	1061	1768	85	59.5
7-XXX-82D-RJS	triconica	882	621505	1049	1754	101	64.5
7-XXX-86D-RJS	triconica	763	516835	1223	1900	102	73
7-XXX-87D-RJS	triconica	742	517285	1233	1930	64.5	35.5
7-XXX-88H-RJS	triconica	631	434770	1066	1755	105	81
7-XXX-89D-RJS	triconica	636	400900	980	1610	77.5	55.5
7-XXX-91H-RJS	triconica	864	560650	1030	1679	92.5	60
7-XXX-99D-RJS	triconica	1489	1455325	1028	2005	138.5	50.5
7-XXX-101D-RJS	triconica	1145	1067200	1120	2052	184.5	118.5
7-XXX-111D-RJS	triconica	1041	733120	1196	1900	116	72.5
8-XXX-15D-RJS	triconica	2242	3251345	1306	2756	353	170.5
8-XXX-31D-RJS	triconica	1389	798925	1325	1900	91.5	44
8-XXX-33D-RJS	triconica	1963	1426765	1277	2004	152.5	63
8-XXX-48D-RJS	triconica	1106	745260	1177	1851	94.5	61
8-XXX-55D-RJS	triconica	1186	809815	1067	1750	131	82
8-XXX-61A-RJS	triconica	1066	633070	1306	1900	112	75.5
8-XXX-73-RJS	triconica	1429	796000	1260	1817	92.5	45
8-XXX-75D-RJS	triconica	999	593500	1260	1854	130	96
9-XXX-84D-RJS	triconica	611	429880	1124	1828	82	58.5
9-XXX-146D-RJS	triconica	1071	905255	1047	1892	102.5	52.5
9-XXX-182D-RJS	triconica	891	747160	1008	1847	171	126
9-XXX-189D-RJS	triconica	706	596590	1162	2007	190.5	156
9-VD-3D-RJS	triconica	551	372910	858	1535	75	54.5



**Tabela 3: Dados Gerais de custo da operação complementar.**

Nome do Poço	Custo Revestimento (US\$/m)	Custo Total Revestimento (US\$)	Custo Sonda (US\$/h)	Custo Operacional Total da Sonda (US\$)
7-XXX-12-RJS	142	67876	15000	1177500
7-XXX-13-RJS	142	78668	15000	997500
7-XXX-14-RJS	142	75970	15000	1110000
7-XXX-16D-RJS	142	80514	15000	952500
7-XXX-17D-RJS	142	69296	15000	1275000
7-XXX-18D-RJS	142	75686	15000	1800000
7-XXX-19D-RJS	142	79662	15000	720000
7-XXX-22D-RJS	142	81082	15000	2782500
7-XXX-24D-RJS	142	68586	15000	2400000
7-XXX-25D-RJS	142	106784	15000	3345000
7-XXX-26D-RJS	142	105648	15000	1005000
7-XXX-42-RJS	142	111470	15000	1170000
7-XXX-43D-RJS	142	103660	15000	990000
7-XXX-48D-RJS	142	95708	15000	952500
7-XXX-53D-RJS	142	103660	15000	397500
7-XXX-54D-RJS	142	93010	15000	922500
7-XXX-58D-RJS	142	101956	15000	1012500
7-XXX-60D-RJS	142	82218	15000	1005000
7-XXX-64D-RJS	142	102950	15000	1222500
7-XXX-67D-RJS	142	93862	15000	810000
7-XXX-68D-RJS	142	104086	15000	765000
7-XXX-69D-RJS	142	95708	15000	705000
7-XXX-70D-RJS	142	81650	15000	862500
7-XXX-71D-RJS	142	93578	15000	667500
7-XXX-72D-RJS	142	104512	15000	1087500
7-XXX-74-RJS	142	106074	15000	1155000
7-XXX-80-RJS	142	94998	15000	1027500
7-XXX-81D-RJS	142	100394	15000	892500
7-XXX-82D-RJS	142	100110	15000	967500
7-XXX-86D-RJS	142	96134	15000	1095000
7-XXX-87D-RJS	142	98974	15000	532500
7-XXX-88H-RJS	142	97838	15000	1215000
7-XXX-89D-RJS	142	89460	15000	832500
7-XXX-91H-RJS	142	92158	15000	900000
7-XXX-99D-RJS	142	138734	15000	757500
7-XXX-101D-RJS	142	132344	15000	1777500
7-XXX-111D-RJS	142	99968	15000	1087500
8-XXX-15D-RJS	142	205900	15000	2557500
8-XXX-31D-RJS	142	81650	15000	660000
8-XXX-33D-RJS	142	103234	15000	945000
8-XXX-48D-RJS	142	95708	15000	915000
8-XXX-55D-RJS	142	96986	15000	1230000
8-XXX-61A-RJS	142	84348	15000	1132500
8-XXX-73-RJS	142	79094	15000	675000
8-XXX-75D-RJS	142	84348	15000	1440000
9-XXX-84D-RJS	142	99968	15000	877500
9-XXX-146D-RJS	142	119990	15000	787500
9-XXX-182D-RJS	142	119138	15000	1890000
9-XXX-189D-RJS	142	119990	15000	2340000
9-VD-3D-RJS	142	96134	15000	817500



**Tabela 4: Dados Gerais de custo da operação de perfuração e operação complementar.**

Nome do Poço	Custo serviço cimentação (US\$/m)	Custo Total Cimentação (US\$)	ROP (m/h)	Custo Métrico (US\$/m)	Custo Métrico da Construção da Fase (US\$/m)
7-MRL-12-RJS	88	42064	17.4	1403	4097
7-MRL-13-RJS	88	48752	16.1	1076	3107
7-MRL-14-RJS	88	47080	21.8	774	3079
7-MRL-16D-RJS	88	49896	9.1	1980	3890
7-MRL-17D-RJS	88	42944	16.3	1089	3932
7-MRL-18D-RJS	88	46904	14.4	1380	4988
7-MRL-19D-RJS	88	49368	17.5	1018	2531
7-MRL-22D-RJS	88	50248	15.4	1121	6224
7-MRL-24D-RJS	88	42504	11.8	1454	6653
7-MRL-25D-RJS	88	66176	12.3	1473	6151
7-MRL-26D-RJS	88	65472	9.6	1678	3259
7-MRL-42-RJS	88	69080	21.8	1017	2738
7-MRL-43D-RJS	88	64240	13.3	1239	2825
7-MRL-48D-RJS	88	59312	20.1	1106	2749
7-MRL-53D-RJS	88	64240	13.3	1239	2013
7-MRL-54D-RJS	88	57640	28.5	642	2281
7-MRL-58D-RJS	88	63184	11.0	1487	3127
7-MRL-60D-RJS	88	50952	19.3	924	2890
7-MRL-64D-RJS	88	63800	18.6	918	2834
7-MRL-67D-RJS	88	58168	14.7	1142	2597
7-MRL-68D-RJS	88	64504	14.8	1129	2403
7-MRL-69D-RJS	88	59312	46.5	437	1713
7-MRL-70D-RJS	88	50600	16.2	1073	2803
7-MRL-71D-RJS	88	57992	17.6	1084	2327
7-MRL-72D-RJS	88	64768	12.7	1280	2987
7-MRL-74-RJS	88	65736	35.6	519	2295
7-MRL-80-RJS	88	58872	35.2	537	2303
7-MRL-81D-RJS	88	62216	27.7	646	2139
7-MRL-82D-RJS	88	62040	19.3	882	2484
7-MRL-86D-RJS	88	59576	23.3	763	2611
7-MRL-87D-RJS	88	61336	24.0	742	1736
7-MRL-88H-RJS	88	60632	28.7	631	2624
7-MRL-89D-RJS	88	55440	28.6	636	2188
7-MRL-91H-RJS	88	57112	20.0	864	2481
7-MRL-99D-RJS	88	85976	11.7	1489	2495
7-MRL-101D-RJS	88	82016	14.1	1145	3282
7-MRL-111D-RJS	88	61952	16.2	1041	2816
8-MRL-15D-RJS	88	127600	7.9	2242	4236
8-MRL-31D-RJS	88	50600	12.1	1389	2767
8-MRL-33D-RJS	88	63976	8.1	1963	3492
8-MRL-48D-RJS	88	59312	20.1	1106	2693
8-MRL-55D-RJS	88	60104	13.9	1186	3217
8-MRL-61A-RJS	88	52272	16.3	1066	3202
8-MRL-73-RJS	88	49016	11.7	1429	2871
8-MRL-75D-RJS	88	52272	17.5	999	3653
9-MRL-84D-RJS	88	61952	30.0	611	2087
9-MRL-146D-RJS	88	74360	16.9	1071	2233
9-MRL-182D-RJS	88	73832	18.6	891	3373
9-MRL-189D-RJS	88	74360	24.5	706	3705
9-VD-3D-RJS	88	59576	33.0	551	1988



**ANEXO III -**  
**EXEMPLO DE CÁLCULO DO CUSTO MÉTRICO DA CONSTRUÇÃO**  
**FASE INTERMEDIÁRIA**  
**POÇO 7-XXX-99D-RJS**



## ANEXO III

### APRESENTAÇÃO DO PASSO A PASSO PARA O CÁLCULO DO CUSTO MÉTRICO DA CONSTRUÇÃO DA FASE INTERMEDIÁRIA DO POÇO 7-XXX-99D-RJS

A seguir, é apresentado um passo a passo do procedimento adotado para se calcular o custo métrico da construção da fase de um poço. Em seguida, é aplicado este procedimento em um dos poços do trabalho em questão.

#### 1.1. Procedimento para o cálculo do custo métrico de construção da fase

- 1) Através do Boletim Diário de Perfuração (BDP), separar a construção do poço em fases (Condutor, Superfície, etc.).
- 2) Organizar as atividades desenvolvidas em cada fase em duas operações principais: operação de perfuração e operação complementar.
  - Para facilitar a visualização dessas operações, pode-se gerar o gráfico Profundidade versus Duração, ilustrado pela Figura 1A, item 1.2 do anexo 3, onde o ganho de profundidade com o passar do tempo corresponde a operação de perfuração e, a conservação da profundidade com o passar do tempo corresponde a operação complementar.
- 3) Calcular os custos de cada operação.
  - ✓ Custo da operação de perfuração:
    - Para o cálculo do custo da operação de perfuração, Equação 1, é necessário reunir as informações referentes às horas de rotação da broca (HR) e metros perfurados (MP) de cada fase, obtidos através dos registros de brocas (*bit records*) e, as informações referentes aos custos de sonda de perfuração (CHs) e de brocas (Cb).

$$C_{\text{perf}} = \sum_{n=1} CM_n \times MP_n \quad (1)$$

$$CM_n = \frac{C_b + CH_s \times (HM + HR)}{MP} \quad (2)$$

**Nota:** Se forem utilizadas mais brocas na perfuração da fase, o custo métrico final desta seção será a média ponderada das frações de n brocas utilizadas:

$$CM_f = \frac{CM_1 \times MP_1 + CM_2 \times MP_2 + \dots + CM_n \times MP_n}{MP_1 + MP_2 + \dots + MP_n} \quad (3)$$

- Para o cálculo das horas de manobras de cada fase (HM), utilizou-se a abordagem desenvolvida por Amorim Junior (2008), como se pode observar na equação a seguir.

$$HM = 0,004 \times PE + 9 \quad (4)$$

onde HM são as horas de manobra para a troca de uma broca (h) e PE é a profundidade de entrada da broca (m).

✓ Custo da operação complementar:

- Para o cálculo do custo da operação de perfuração, Equação 5, é necessário reunir as informações relativas aos custos médios dos serviços de revestimentos, cimentação e condicionamento do poço. Além disso, é necessário coletar também a duração total da operação complementar, o qual é obtido através do Boletim Diário de Perfuração (BDP).

$$C_{\text{op.compl.}} = CH_s \times H_{\text{compl.}} + \sum C_{\text{serviços}} \quad (5)$$

4) Calcular o custo métrico de construção da fase.

$$CMCF = \frac{C_{perf} + C_{compl.}}{MP} \quad (6)$$

## 1.2. Aplicação do Procedimento – Cálculo do Custo Métrico da Fase

No Boletim Diário de Perfuração (BDP), a seguir, as fases do poço foram coloridas com cores diferentes com intuito de facilitar a visualização do início e fim de cada uma delas.

**Tabela 1A: Boletim Diário de Perfuração (BDP) do poço 7-XXX-99D-RJS.**

DATA	Prof. Inicial (RKB)	Prof. Final (RKB)	Hora de Início do Evento (Calculado)	Duração do Evento	Descrição do Evento	Fase
26/03/XXXX	0	0	10:30:00	4.5	RECUPERANDO 02 BEACONS COM AUXILIO	PS
26/03/XXXX	0	0	15:00:00	9.5	NAVEGANDO PARA A LOCAÇÃO DO POÇO	PS
27/03/XXXX	0	0	00:30:00	2.5	DESCENDO COLUNA E POSICIONANDO BE	PS
27/03/XXXX	0	0	03:00:00	2	POSICIONANDO NAVIO , LIBERANDO BEAC	PS
27/03/XXXX	0	0	05:00:00	7	REPARANDO ROV.(OBS1/OBS2)	PS
27/03/XXXX	0	0	12:00:00	3	DESCENDO BEACON #2 COM COLUNA DE M	PS
27/03/XXXX	0	0	15:00:00	10.5	CALIBRANDO SISTEMA DP.	PS
28/03/XXXX	0	0	01:30:00	1.5	DESCENDO REVESTIMENTO 30" (3 TUBOS)	PS
28/03/XXXX	0	0	03:00:00	2.5	CONECTANDO BHA DE JATEAMENTO NO H	PS
28/03/XXXX	0	0	05:30:00	3	DESCENDO COLUNA COM BHA 26"/REVEST	PS
28/03/XXXX	0	0	08:30:00	1.5	DESCENDO ROV,TESTANDO MOTOR DE FLU	PS
28/03/XXXX	0	0	10:00:00	0.5	CONECTANDO SECAO DE JATEAMENTO (2I	PS
28/03/XXXX	0	0	10:30:00	1	MOVIMENTANDO NAVIO,POSICIONANDO CO	PS
28/03/XXXX	782	814	11:30:00	2.5	JATEANDO CONDUTOR 30" ( SAPATA=814M	COND
28/03/XXXX	814	814	14:00:00	0.5	INSPECIONANDO MUD MAT COM ROV (INCI	COND
28/03/XXXX	814	839	14:30:00	2.5	PERFURANDO PARA RETIRAR MWD DE DE	26H
28/03/XXXX	839	936	17:00:00	5.5	PERFURANDO ORIENTADO.	26H
28/03/XXXX	936	945	22:30:00	0.5	PERFURANDO.	26H
28/03/XXXX	945	1010	23:00:00	4	PERFURANDO ORIENTADO.	26H
29/03/XXXX	1010	1022	03:00:00	1	PERFURANDO ORIENTADO. BOMBEANDO 8	26H
29/03/XXXX	1022	1028	04:00:00	0.5	PERFURANDO.	26H
29/03/XXXX	1028	1028	04:30:00	0.5	BOMBEANDO 200 BBL DE TAMPÃO VISCOS	26H
29/03/XXXX	1028	1028	05:00:00	1	EFETUANDO MANOBRA CURTA ATE A SAPA	26H
29/03/XXXX	1028	1028	06:00:00	1.5	CIRCULANDO 813 BBL DE LAMA VISCOSA (	26H
29/03/XXXX	1028	1028	07:30:00	1.5	RETIRANDO COLUNA DE DP 5" COM JET CA	26H
29/03/XXXX	1028	1028	09:00:00	2.5	RETIRANDO BHA 26" E INSPECIONANDO JE	26H
29/03/XXXX	1028	1028	11:30:00	1	PREPARANDO EQUIPAMENTO DE SUPERFI	26H
29/03/XXXX	1028	1028	12:30:00	3	DESCENDO REV. 20". DESCIDAS 20 JUNTAS	26H
29/03/XXXX	1028	1028	15:30:00	1	DESCENDO 6 SECOES DE STINGER (DPS 5	26H
29/03/XXXX	1028	1028	16:30:00	2	CONECTANDO HSG 16 3/4" VETCO MS700 C	26H
29/03/XXXX	1028	1028	18:30:00	3	DESCENDO COLUNA DE ASSENTAMENTO C	26H
29/03/XXXX	1028	1028	21:30:00	1	CONECTANDO KELLY DE CIMENTAÇÃO E A	26H
29/03/XXXX	1028	1028	22:30:00	1	CIRCULANDO PARA CIMENTAÇÃO.	26H
29/03/XXXX	1028	1028	23:30:00	2.5	CIMENTANDO REVESTIMENTO 20".	26H
30/03/XXXX	1028	1028	02:00:00	1	LIBERANDO RT COM 5 VOLTAS A DIREITA.	26H
30/03/XXXX	1028	1028	03:00:00	2.5	RETIRANDO COLUNA DE ASSENTAMENTO	26H
30/03/XXXX	1028	1028	05:30:00	4	QUEBRANDO BHA DE 26" E MONTANDO BH	26H
30/03/XXXX	1028	1028	09:30:00	1	PREPARANDO PLATAFORMA PARA DESCE	26H
30/03/XXXX	1028	1028	10:30:00	4.5	MOVENDO E POSICIONANDO BOP NO MOC	26H
30/03/XXXX	1028	1028	15:00:00	2.5	INSTALANDO FUNIL DOWN NO BOP.	26H
30/03/XXXX	1028	1028	17:30:00	2	REPARANDO BOP (VAZAMENTO NA GAVET	26H
30/03/XXXX	1028	1028	19:30:00	4.5	DESCENDO BOP,TESTANDO LINHAS KILL/C	26H
31/03/XXXX	1028	1028	00:00:00	2	RECEBENDO MATERIAL PARA O FLUIDO DE	26H
31/03/XXXX	1028	1028	02:00:00	1	DESCENDO BOP,TESTANDO LINHAS KILL/C	26H

31/03/XXXX	1028	1028	15:00:00	3.5	CONECTANDO SLIP JOINT E GOOSE NECK	26H
31/03/XXXX	1028	1028	18:30:00	1.5	CONECTANDO TENSIONADORES DE RISEF	26H
31/03/XXXX	1028	1028	20:00:00	1	MOVENDO E POSICIONANDO NAVIO SOBRI	26H
31/03/XXXX	1028	1028	21:00:00	1	TESTANDO GAVETA CEGA/ANEL VX/REVES	26H
31/03/XXXX	1028	1028	22:00:00	2	INSTALANDO DIVERTER E RETIRANDO EQU	26H
01/04/XXXX	1028	1028	00:00:00	3	DESCENDO CAUDA (6 DC 8"+3 DP 5"), MON	26H
01/04/XXXX	1028	1028	03:00:00	3	TESTANDO BOP COM 300/5000PSI/5MIN, GA	26H
01/04/XXXX	1028	1028	06:00:00	2	CONSTATANDO VAZAMENTO NA MANGUEII	26H
01/04/XXXX	1028	1028	08:00:00	2	DESASSENTANDO E RETIRANDO COLUMA	26H
01/04/XXXX	1028	1028	10:00:00	2	TESTANDO VALVULAS DO KELLY E INSIDE	26H
01/04/XXXX	1028	1028	12:00:00	1.5	CORRENDO E CORTANDO CABO DE PERFU	26H
01/04/XXXX	1028	1028	13:30:00	2.5	MONTANDO CONJUNTO SUSPENSOR 13 3/4	26H
01/04/XXXX	1028	1028	16:00:00	5	TESTANDO MOTOR DE FUNDO E MWD. CO	26H
01/04/XXXX	1028	1028	21:00:00	1.5	DESCENDO COLUMA PARA CHECAR TOPO	26H
01/04/XXXX	1028	1028	22:30:00	1	CONECTANDO KELLY E DESCENDO COLUM	26H
01/04/XXXX	1028	1028	23:30:00	2	CORTANDO CIMENTO. PARAMETROS: PSB-	26H
02/04/XXXX	1028	1028	01:30:00	1.5	BOMBEANDO 60 BBL DE COLCHAO VISCOS	26H
02/04/XXXX	1028	1028	03:00:00	3.5	AGUARDANDO CONDICOES DE MAR DEVID	26H
02/04/XXXX	1028	1028	06:30:00	1.5	CORTANDO CIMENTO, SAPATA E LAVANDC	26H
02/04/XXXX	1028	1036	08:00:00	0.5	PERFURANDO.	16H
02/04/XXXX	1036	1064	08:30:00	2	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
02/04/XXXX	1064	1074	10:30:00	0.5	PERFURANDO.	16H
02/04/XXXX	1074	1103	11:00:00	1	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
02/04/XXXX	1103	1122	12:00:00	1	PERFURANDO.	16H
02/04/XXXX	1122	1141	13:00:00	1	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
02/04/XXXX	1141	1161	14:00:00	1.5	PERFURANDO.	16H
02/04/XXXX	1161	1161	15:30:00	3.5	AGUARDANDO CONDICOES DE MAR, COM	16H
02/04/XXXX	1161	1180	19:00:00	1	PERFURANDO.	16H
02/04/XXXX	1180	1195	20:00:00	1	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
02/04/XXXX	1195	1219	21:00:00	1	PERFURANDO.	16H
02/04/XXXX	1219	1229	22:00:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
02/04/XXXX	1229	1298	22:30:00	4.5	PERFURANDO.	16H
03/04/XXXX	1298	1312	03:00:00	1	PERFURANDO. OBS.1.	16H
03/04/XXXX	1312	1312	04:00:00	3.5	AGUARDANDO CONDICOES DE MAR, COM	16H
03/04/XXXX	1312	1325	07:30:00	1	PERFURANDO.	16H
03/04/XXXX	1325	1329	08:30:00	1	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
03/04/XXXX	1329	1480	09:30:00	12.5	PERFURANDO. REPASSANDO UMA VEZ CA	16H
03/04/XXXX	1492	1490	22:00:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
03/04/XXXX	1490	1567	22:30:00	4.5	PERFURANDO.	16H
04/04/XXXX	1567	1577	03:00:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
04/04/XXXX	1577	1587	03:30:00	0.5	PERFURANDO.	16H
04/04/XXXX	1587	1587	04:00:00	5	AGUARDANDO CONDICOES DE MAR. CIRC	16H
04/04/XXXX	1587	1683	09:00:00	5.5	PERFURANDO.	16H
04/04/XXXX	1683	1693	14:30:00	1	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
04/04/XXXX	1693	1712	15:30:00	0.5	PERFURANDO.	16H
04/04/XXXX	1712	1722	16:00:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
04/04/XXXX	1722	1799	16:30:00	8.5	PERFURANDO.	16H
05/04/XXXX	1799	1808	01:00:00	1.5	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
05/04/XXXX	1808	1814	02:30:00	0.5	PERFURANDO.	16H
05/04/XXXX	1814	1828	03:00:00	2.5	PERFURANDO. REPASSADO O TRECHO. (C	16H
05/04/XXXX	1828	1835	05:30:00	2	PERFURANDO ORIENTADO. (OBS.2)	16H
05/04/XXXX	1835	1885	07:30:00	7	PERFURANDO. REPASSADO CADA TUBO D	16H
05/04/XXXX	1885	1895	14:30:00	1	PERFURANDO ORIENTADO. (OBS.2)	16H
05/04/XXXX	1895	1914	15:30:00	2.5	PERFURANDO.	16H
05/04/XXXX	1914	1924	18:00:00	1.5	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
05/04/XXXX	1924	1943	19:30:00	2	PERFURANDO.	16H
05/04/XXXX	1943	1962	21:30:00	1.5	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
05/04/XXXX	1962	1972	23:00:00	1.5	PERFURANDO.	16H
06/04/XXXX	1972	1977	00:30:00	1.5	PERFURANDO ORIENTADO.	16H
06/04/XXXX	1977	1982	02:00:00	1	PERFURANDO.	16H
06/04/XXXX	1982	2005	03:00:00	4.5	PERFURANDO	16H
06/04/XXXX	2005	2005	07:30:00	2.5	BOMBEANDO 60 BBL DE TP.VISCOZO. CIRC	16H
06/04/XXXX	1017	2005	10:00:00	2.5	BOMBEANDO TAMPAO PESADO. REALIZAN	16H
06/04/XXXX	1017	2005	12:30:00	2	CONCLUINDO MANOBRA CURTA. DESCEN	16H

06/04/XXXX	2005	2005	14:30:00	2.5	CIRCULANDO PARA CONDICIONAR. BOMBE	16H
06/04/XXXX	2005	2005	17:00:00	2	RETIRANDO COLUNA EM POCO ABERTO. (C	16H
06/04/XXXX	2005	2005	19:00:00	1	RETIRANDO COLUNA EM POCO REVESTIDO	16H
06/04/XXXX	2005	2005	20:00:00	3	RETIRANDO E QUEBRANDO BHA. DESCONI	16H
06/04/XXXX	2005	2005	23:00:00	2.5	DESCENDO COLUNA PARA RECUPERAR BU	16H
07/04/XXXX	2005	2005	01:30:00	1.5	RECUPERANDO BUCHA COM 25 KLB DE OV	16H
07/04/XXXX	2005	2005	03:00:00	0.5	CONCLUINDO RETIRADA DA COLUNA E LIB	16H
07/04/XXXX	2005	2005	03:30:00	1	PREPARANDO PARA DESCER REVESTIMEN	16H
07/04/XXXX	2005	2005	04:30:00	8	DESCENDO REVESTIMENTO DE 13.3/8". DE	16H
07/04/XXXX	2005	2005	12:30:00	0.5	TROCANDO ELEVADOR SIDE DOOR POR S	16H
07/04/XXXX	2005	2005	13:00:00	3.5	DESCENDO REVESTIMENTO DE 13.3/8". DE	16H
07/04/XXXX	2005	2005	16:30:00	1	CONECTANDO CONJUNTO CASING HANGE	16H
07/04/XXXX	2005	2005	17:30:00	3	DESCENDO REVESTIMENTO DE 13.3/8" C/ C	16H
07/04/XXXX	2005	2005	20:30:00	2	CIRCULANDO P/ CIMENTAR REVESTIMENTO	16H
07/04/XXXX	2005	2005	22:30:00	3	CIMENTANDO REVESTIMENTO DE 13.3/8" (2	16H
08/04/XXXX	2005	2005	01:30:00	1.5	ENERGIZANDO E TESTANDO PACK OFF (O	16H
08/04/XXXX	2005	2005	03:00:00	4.5	TESTANDO BOP. VALVULAS E GAVETAS C/	16H
08/04/XXXX	2005	2005	07:30:00	0.5	LIBERANDO RT DO CASING HANGER, QUEE	16H
08/04/XXXX	2005	2005	08:00:00	1.5	RETIRANDO COLUNA DE ASSENTAMENTO,	16H
08/04/XXXX	2005	2005	09:30:00	1.5	MONTANDO RT, DESCENDO COLUNA E ASS	16H
08/04/XXXX	2005	2005	11:00:00	1.5	RETIRANDO COLUNA COM WBRT.	16H
08/04/XXXX	2005	2005	12:30:00	1.5	TESTANDO EQUIPAMENTO DE SUPERFICIE	16H
08/04/XXXX	2005	2005	14:00:00	4.5	MONTANDO E DESCENDO BHA DE 12.1/4".	16H
08/04/XXXX	2005	2005	18:30:00	2.5	DESCENDO COLUNA E TOPANDO COLAR F	16H
08/04/XXXX	2005	2005	21:00:00	2.5	CORTANDO COLAR FLUTUANTE @ 1975M E	16H
08/04/XXXX	2005	2005	23:30:00	1	CORTANDO CIMENTO 1987/1996M, SAPATA	16H
09/04/XXXX	2005	2005	00:30:00	1	CIRCULANDO E CONCLUINDO SUBSTITUIC	16H
09/04/XXXX	2005	2015	01:30:00	1.5	PERFURANDO.	12H
09/04/XXXX	2015	2080	03:00:00	5	PERFURANDO.	12H
09/04/XXXX	2080	2080	08:00:00	3	AGUARDANDO CONDICOES DE MAR P/ PRO	12H
09/04/XXXX	2080	2293	11:00:00	13.5	PERFURANDO (VIDE OBS#2).	12H
10/04/XXXX	2293	2300	00:30:00	1	PERFURANDO ORIENTADO.	12H
10/04/XXXX	2300	2304	01:30:00	0.5	PERFURANDO.	12H
10/04/XXXX	2304	2308	02:00:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.	12H
10/04/XXXX	2308	2318	02:30:00	0.5	PERFURANDO.	12H
10/04/XXXX	2318	2350	03:00:00	2	PERFURANDO.	12H
10/04/XXXX	2350	2358	05:00:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.	12H
10/04/XXXX	2358	2436	05:30:00	4.5	PERFURANDO (OBS#1).	12H
10/04/XXXX	2436	2436	10:00:00	2.5	RETIRANDO 2 SECOES E CIRCULANDO @ 2	12H
10/04/XXXX	2436	2436	12:30:00	0.5	INICIANDO MANOBRA CURTA ATE A SAPAT	12H
10/04/XXXX	2436	2436	13:00:00	2	PROSSEGUINDO MANOBRA CURTA. RETIRA	12H
10/04/XXXX	2436	2436	15:00:00	1	CONECTANDO KELLY, TRABALHANDO COL	12H
10/04/XXXX	2436	2436	16:00:00	2	PROSSEGUINDO MANOBRA CURTA C/ AME	12H
10/04/XXXX	2436	2436	18:00:00	1	CONECTANDO KELLY, TRABALHANDO COL	12H
10/04/XXXX	2436	2436	19:00:00	1.5	CIRCULANDO C/ 450GPM PELA COLUNA E 4	12H
10/04/XXXX	2436	2436	20:30:00	1.5	DESCENDO COLUNA E TOPANDO @ 2389M	12H
10/04/XXXX	2436	2436	22:00:00	1.5	DEITANDO 4 JUNTAS DE DPS E REPASSAN	12H
10/04/XXXX	2436	2490	23:30:00	3.5	PERFURANDO.	12H
11/04/XXXX	2490	2524	03:00:00	2.5	PERFURANDO.	12H
11/04/XXXX	2524	2532	05:30:00	1.5	PERFURANDO ORIENTADO.	12H
11/04/XXXX	2532	2554	07:00:00	1.5	PERFURANDO.	12H
11/04/XXXX	2554	2561	08:30:00	2	PERFURANDO ORIENTADO.	12H
11/04/XXXX	2561	2639	10:30:00	4	PERFURANDO.	12H
11/04/XXXX	2639	2648	14:30:00	1	PERFURANDO ORIENTADO.	12H
11/04/XXXX	2648	2697	15:30:00	3.5	PERFURANDO.	12H
11/04/XXXX	2697	2697	19:00:00	0.5	CIRCULANDO P/ TROCA DE BHA C/ 630GPM	12H
11/04/XXXX	2697	2697	19:30:00	0.5	DESCONECTANDO KELLY, RETIRANDO 1 S	12H
11/04/XXXX	2697	2697	20:00:00	2	BOMBEANDO 20 BBL TAMPAO PARAFINA E	12H
11/04/XXXX	2697	2697	22:00:00	1	CIRCULANDO P/ TROCA DE BHA C/ 450GPM	12H
11/04/XXXX	2697	2697	23:00:00	2.5	RETIRANDO COLUNA P/ TROCA DE BHA. RE	12H
12/04/XXXX	2697	2697	01:30:00	1.5	CIRCULANDO P/ LIMPEZA DO POCO P/ TRO	12H
12/04/XXXX	2697	2697	03:00:00	1	CIRC. P/ TROCA DE BHA C/ 450GPM/1500PS	12H
12/04/XXXX	2697	2697	04:00:00	1	RETIRANDO COLUNA EM POCO ABERTO. D	12H
12/04/XXXX	2697	2697	05:00:00	2	RETIRANDO COLUNA COM KELLY DEVIDO /	12H

12/04/XXXX	2697	2697	07:00:00	0.5	RETIRANDO COLUNA EM POCO ABERTO.	12H
12/04/XXXX	2697	2697	07:30:00	5	CONCLUINDO RETIRADA DA COLUNA. DEIT	12H
12/04/XXXX	2697	2697	12:30:00	1	REPARANDO SWIVEL.	12H
12/04/XXXX	2697	2697	13:30:00	1.5	CORRENDO E CORTANDO CABO DE PERFU	12H
12/04/XXXX	2697	2697	15:00:00	1.5	CONCLUINDO REPARO DO SWIVEL.	12H
12/04/XXXX	2697	2697	16:30:00	3	MONTANDO NOVO BHA DE 12.1/4" E TESTA	12H
12/04/XXXX	2697	2697	19:30:00	2.5	DESCENDO COLUNA ATE 2019M.	12H
12/04/XXXX	2697	2697	22:00:00	1	CONECTANDO 3 DP 5"OD P/ UNIDADE, PEG	12H
12/04/XXXX	2697	2697	23:00:00	2	RETIRANDO KELLY, DESCENDO COLUNA E	12H
13/04/XXXX	2697	2697	01:00:00	0.5	DEITANDO 6 DPS 5"OD E DESCENDO 2 SEC	12H
13/04/XXXX	2697	2697	01:30:00	1.5	REPASSANDO.	12H
13/04/XXXX	2697	2697	03:00:00	0.5	REPASSANDO.	12H
13/04/XXXX	2697	2728	03:30:00	2.5	PERFURANDO.	12H
13/04/XXXX	2728	2728	06:00:00	0.5	CIRCULANDO P/ LIMPEZA DAS PENEIRAS D	12H
13/04/XXXX	2728	2781	06:30:00	6.5	PERFURANDO.	12H
13/04/XXXX	2781	2781	13:00:00	2	CIRCULANDO P/ TROCA DE BHA P/ MELHOR	12H
13/04/XXXX	1997	2781	15:00:00	2.5	RETIRANDO COLUNA ATE A SAPATA DO RE	12H
13/04/XXXX	2781	2781	17:30:00	3.5	CONCLUINDO RETIRADA DA COLUNA E DE	12H
13/04/XXXX	2781	2781	21:00:00	4.5	MONTANDO NOVO BHA. TESTADO MWD E I	12H
14/04/XXXX	2781	2781	01:30:00	1	DESCENDO E ABASTECENDO COLUNA @ 1	12H
14/04/XXXX	2781	2781	02:30:00	0.5	PROSEGUINDO DESCIDA DA COLUNA ATE	12H
14/04/XXXX	2781	2781	03:00:00	1	DESCENDO COLUNA, CONECTANDO KELLY	12H
14/04/XXXX	2781	2781	04:00:00	1	PROSEGUINDO DESCIDA DA COLUNA E T	12H
14/04/XXXX	2781	2781	05:00:00	1	QUEBRANDO 2 DP 5"OD, CONECTANDO KE	12H
14/04/XXXX	2781	2838	06:00:00	4.5	PERFURANDO.	12H
14/04/XXXX	2838	2844	10:30:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.	12H
14/04/XXXX	2844	2925	11:00:00	7	PERFURANDO.	12H
14/04/XXXX	2925	2930	18:00:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.	12H
14/04/XXXX	2930	2964	18:30:00	3	PERFURANDO.	12H
14/04/XXXX	2964	2964	21:30:00	0.5	CIRCULANDO @ 650GPM P/ MANOBRA CUF	12H
14/04/XXXX	2964	2964	22:00:00	0.5	DESCONECTANDO KELLY E RETIRANDO 1	12H
14/04/XXXX	2964	2964	22:30:00	1	CIRCULANDO @ 650GPM P/ MANOBRA CUF	12H
14/04/XXXX	2964	2964	23:30:00	2	CIRCULANDO @ 450GPM + 450GPM PELO C	12H
15/04/XXXX	2964	2964	01:30:00	1.5	RETIRANDO COLUNA ATE A SAPATA DO 13	12H
15/04/XXXX	2964	2964	03:00:00	1	CONCLUINDO RETIRADA DA COLUNA ATE /	12H
15/04/XXXX	2964	2964	04:00:00	1	DESMONTANDO CAMISAS E PISTOES DE 6.	12H
15/04/XXXX	2964	2964	05:00:00	4	SUBSTITUINDO CAMISAS E PISTOES DAS E	12H
15/04/XXXX	2964	2964	09:00:00	1.5	DESCENDO COLUNA E TOPANDO C/ 70 KIP	12H
15/04/XXXX	2964	2964	10:30:00	1	REPASSANDO 2892/2964M (10KIPS/40+160F	12H
15/04/XXXX	2964	3070	11:30:00	7.5	PERFURANDO.	12H
15/04/XXXX	3070	3073	19:00:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.	12H
15/04/XXXX	3073	3176	19:30:00	7.5	PERFURANDO.	12H
16/04/XXXX	3176	3360	03:00:00	11.5	PERFURANDO.	12H
16/04/XXXX	3360	3360	14:30:00	1	CIRCULANDO C/ 700GPM/4300PSI P/ TROCA	12H
16/04/XXXX	3360	3360	15:30:00	0.5	DESCONECTANDO KELLY E RETIRANDO 1	12H
16/04/XXXX	3360	3360	16:00:00	1.5	CIRCULANDO C/ 700GPM/4250PSI P/ TROCA	12H
16/04/XXXX	3360	3360	17:30:00	1.5	CIRCULANDO C/ 360GPM/1400PSI + 360GPM	12H
16/04/XXXX	3360	3360	19:00:00	3.5	BOMBEANDO TAMPAO PESADO E RETIRAN	12H
16/04/XXXX	3360	3360	22:30:00	3.5	CONCLUINDO RETIRADA DA COLUNA.	12H
17/04/XXXX	3360	3360	02:00:00	1	DEITANDO MWD/MF/STBS E SDC DE 8".	12H
17/04/XXXX	3360	3360	03:00:00	0.5	CONCLUINDO DESMONTAGEM DO BHA 12.	12H
17/04/XXXX	3360	3360	03:30:00	2	MONTANDO E DESCENDO NOVO BHA 12.1/	12H
17/04/XXXX	3360	3360	05:30:00	3.5	DESCENDO COLUNA E TOPANDO @ 3325M	12H
17/04/XXXX	3360	3360	09:00:00	1	REPASSANDO.	12H
17/04/XXXX	3360	3401	10:00:00	5.5	PERFURANDO.	12H
17/04/XXXX	3401	3401	15:30:00	4	CIRCULANDO E EFETUANDO MANOBRA CU	12H
17/04/XXXX	3401	3427	19:30:00	7.5	PERFURANDO.	12H
18/04/XXXX	3427	3427	03:00:00	0.5	CIRCULANDO ENQUANTO AGUARDANDO C	12H
18/04/XXXX	3427	3428	03:30:00	1	PERFURANDO (VIDE OBS#1).	12H
18/04/XXXX	3428	3428	04:30:00	6.5	RETIRANDO COLUNA @ 1965M, CIRCULAN	12H
18/04/XXXX	3428	3447	11:00:00	5.5	PERFURANDO.	12H
18/04/XXXX	3447	3447	16:30:00	4	CIRCULANDO, LANCANDO SSM E RETIRAN	12H
18/04/XXXX	3447	3447	20:30:00	5	RETIRANDO COLUNA P/ TROCA DE BHA E E	12H
19/04/XXXX	3447	3447	01:30:00	1.5	CORRENDO E CORTANDO CABO DE PERFU	12H

19/04/XXXX	3447	3447	03:00:00	2.5	CONECTANDO BROCA, MONTANDO E DESCO	12H
19/04/XXXX	3447	3447	05:30:00	0.5	DESCENDO COLUNA ATE 737M.	12H
19/04/XXXX	3447	3447	06:00:00	13	AGUARDANDO CONDICOES DE MAR P/ PRO	12H
19/04/XXXX	3447	3447	19:00:00	1.5	BOMBEANDO 55 BBL DE TAMPAO VISCOSC	12H
19/04/XXXX	3447	3447	20:30:00	6.5	AGUARDANDO CONDICOES DE MAR P/ PRO	12H
20/04/XXXX	3447	3447	03:00:00	16	AGUARDANDO CONDICOES DE MAR P/ PRO	12H
20/04/XXXX	3447	3447	19:00:00	2	RETIRANDO COLUNA E TROCANDO BROCA	12H
20/04/XXXX	3447	3447	21:00:00	2	DESCENDO COLUNA @ 737M ENQUANTO A	12H
20/04/XXXX	3447	3447	23:00:00	4	AGUARDANDO CONDICOES DE MAR P/ PRO	12H
21/04/XXXX	3447	3447	03:00:00	21.5	AGUARDANDO CONDICOES DE MAR P/PRO	12H
22/04/XXXX	3447	3447	00:30:00	0.5	SUBSTITUINDO AGUA DO MAR DO RISER P	12H
22/04/XXXX	3447	3447	01:00:00	1.5	DESCENDO COLUNA.	12H
22/04/XXXX	3447	3447	02:30:00	0.5	REALIZANDO TREINAMENTO DE FECHAMEI	12H
22/04/XXXX	3447	3447	03:00:00	2.5	DESCENDO COLUNA.	12H
22/04/XXXX	3447	3447	05:30:00	1	EFETUANDO TOMADA DE DRAG E TORQUE	12H
22/04/XXXX	3447	3531	06:30:00	14.5	PERFURANDO (35/40KIPS,150RPM,650GPM	12H
22/04/XXXX	3531	3531	21:00:00	2	REPASSANDO DE 3512 A 3531M, DEVIDO A	12H
22/04/XXXX	3531	3557	23:00:00	4	PERFURANDO (30KIPS,150RPM,650GPM,17	12H
23/04/XXXX	3557	3671	03:00:00	24	PERFURANDO (35/40KIPS,150/80RPM,650/7	12H
24/04/XXXX	3671	3675	03:00:00	2	PERFURANDO (35/40KIPS,150RPM,700GPM	12H
24/04/XXXX	3675	3675	05:00:00	2	CIRCULANDO PARA AMOSTRA DE FUNDO E	12H
24/04/XXXX	3675	3675	07:00:00	9	RETIRANDO COLUNA, CONECTANDO O KEL	12H
24/04/XXXX	3675	3675	16:00:00	1	CIRCULANDO NA SAPATA(1998M).	12H
24/04/XXXX	3675	3675	17:00:00	2.5	DESCENDO COLUNA ATE 3669M, CIRCULAN	12H
24/04/XXXX	3675	3675	19:30:00	0.5	LAVANDO/REPASSANDO DE 3669 A 3675M	12H
24/04/XXXX	3675	3675	20:00:00	3	BOMBEANDO 100BBL DE FLUIDO LEVE, DE	12H
24/04/XXXX	3675	3675	23:00:00	0.5	LANCANDO SINGLE SHOT.	12H
24/04/XXXX	3675	3675	23:30:00	3	DESLOCANDO TAMPAO VISCOSO E RETIRA	12H
25/04/XXXX	3675	3675	02:30:00	0.5	RETIRANDO COLUNA A POCO REVESTIDO	12H
25/04/XXXX	3675	3675	03:00:00	1	RETIRANDO COLUNA C/BROCA A POCO RE	12H
25/04/XXXX	3675	3675	04:00:00	1.5	RETIRANDO BHA, RECUPERANDO SSM E D	12H
25/04/XXXX	3675	3675	05:30:00	1.5	MONTANDO EQUIPAMENTOS DE SUPERFIC	12H
25/04/XXXX	3675	3675	07:00:00	8	EFETUANDO CORRIDA N.01 COM PERFIS D	12H
25/04/XXXX	3675	3675	15:00:00	10	REALIZANDO CORRIDA N.02 COM PERFIS F	12H
26/04/XXXX	3675	3675	01:00:00	0.5	DESMONTANDO CIRCO DE PERFILAGEM.	12H
26/04/XXXX	3675	3675	01:30:00	1.5	MONTANDO E ESTALEIRANDO CSG HGR 9	12H
26/04/XXXX	3675	3675	03:00:00	2.5	SUBSTITUINDO MONEIS POR DC DE 8" E DE	12H
26/04/XXXX	3675	3675	05:30:00	1.5	DESCENDO COLUNA COM BROCA ATE A SA	12H
26/04/XXXX	3675	3675	07:00:00	2	DESCENDO COLUNA A POCO ABERTO SEM	12H
26/04/XXXX	3675	3675	09:00:00	2	CIRCULANDO PARA CONDICIONAR POCO (	12H
26/04/XXXX	3675	3675	11:00:00	0.5	POSICIONANDO 60BBL DE TAMPAO VISCOS	12H
26/04/XXXX	3675	3675	11:30:00	0.5	RETIRANDO COLUNA ATE 3547 E POSICION	12H
26/04/XXXX	3675	3675	12:00:00	2	RETIRANDO COLUNA A POCO ABERTO.	12H
26/04/XXXX	3675	3675	14:00:00	1.5	RETIRANDO COLUNA A POCO REVESTIDO	12H
26/04/XXXX	3675	3675	15:30:00	0.5	JATEANDO BOP E CABECA DO POCO COM	12H
26/04/XXXX	3675	3675	16:00:00	2	CONCLUINDO RETIRADA DA COLUNA C/BR	12H
26/04/XXXX	3675	3675	18:00:00	2	MONTANDO CAUDA COM PATA DE ELEFAN	12H
26/04/XXXX	3675	3675	20:00:00	3.5	RECUPERANDO WEAR BUSHING.	12H
26/04/XXXX	3675	3675	23:30:00	1.5	PREPARANDO PLATAFORMA PARA DESCE	12H
27/04/XXXX	3675	3675	01:00:00	2	DESCENDO REVESTIMENTO 9 5/8". DESCID	12H
27/04/XXXX	3675	3675	03:00:00	9.5	DESCENDO REVESTIMENTO 9 5/8". DESCID	12H
27/04/XXXX	3675	3675	12:30:00	1	SUBSTITUINDO ELEVADOR SIDE DOOR PEI	12H
27/04/XXXX	3675	3675	13:30:00	1.5	PROSEGUINDO DESCIDA DO REVESTIMEI	12H
27/04/XXXX	3675	3675	15:00:00	1.5	MONTANDO LINHAS DE SUPERFICIE E CAB	12H
27/04/XXXX	3675	3675	16:30:00	3.5	CONCLUINDO DESCIDA DO REVESTIMENTC	12H
27/04/XXXX	3675	3675	20:00:00	1	DESMONTANDO EQUIPAMENTOS DE DESC	12H
27/04/XXXX	3675	3675	21:00:00	1	CONECTANDO CSG HGR 9 5/8".	12H
27/04/XXXX	3675	3675	22:00:00	0.5	CIRCULANDO A 2902M.	12H
27/04/XXXX	3675	3675	22:30:00	2	DESCENDO REVESTIMENTO DE 9 5/8" COM	12H
28/04/XXXX	3675	3675	00:30:00	0.5	CIRCULANDO A 3376M (90CPM,550PSI).	12H
28/04/XXXX	3675	3675	01:00:00	0.5	CONCLUINDO DESCIDA DO REVESTIMENTC	12H
28/04/XXXX	3675	3675	01:30:00	1	CONECTANDO LINHAS E KELLY DE CIMENT	12H
28/04/XXXX	3675	3675	02:30:00	0.5	CIRCULANDO PARA CIMENTAR REVESTIME	12H
28/04/XXXX	3675	3675	03:00:00	2.5	CIRCULANDO PARA CIMENTAR REVESTIME	12H

28/04/XXXX	3675	3675	05:30:00	3.5	PREPARANDO PARA CIMENTAR, TESTAND	12H
28/04/XXXX	3675	3675	09:00:00	2	LIBERANDO DART E DESLOCANDO PASTA.	12H
28/04/XXXX	3675	3675	11:00:00	0.5	ENERGIZANDO PACK OFF COM 3.000PSI.	12H
28/04/XXXX	3675	3675	11:30:00	2.5	TENTANDO TESTAR PACK OFF COM 300/5.(	12H
28/04/XXXX	3675	3675	14:00:00	1	CICLANDO FERRAMENTA E RETESTANDO	12H
28/04/XXXX	3675	3675	15:00:00	1	SUBSTITUINDO FLUIDO DO RISER POR AG	12H
28/04/XXXX	3675	3675	16:00:00	2	DESCONECTANDO KELLY E LINHAS DE CIM	12H
28/04/XXXX	3675	3675	18:00:00	0.5	EFETUANDO MANUTENCAO NA RT E DESA	12H
28/04/XXXX	3675	3675	18:30:00	1.5	CORRENDO E CORTANDO CABO DE PERFU	12H
28/04/XXXX	3675	3675	20:00:00	2	CONECTANDO PATA DE ELEFANTE E DESC	EOW
28/04/XXXX	3675	3675	22:00:00	0.5	CONECTANDO LINHAS DE SSUPERFICIE E	EOW
28/04/XXXX	3675	3675	22:30:00	0.5	TESTANDO LINHAS COM 1000PSI E EFETUA	EOW
28/04/XXXX	3675	3675	23:00:00	1	DESCONECATANDO LINHAS E CABECA DE	EOW
29/04/XXXX	3675	3675	00:00:00	0.5	CIRCULANDO (700GPM,450PSI).	EOW
29/04/XXXX	3675	3675	00:30:00	1	RETIRANDO COLUNA COM PATA DE ELEFA	EOW
29/04/XXXX	3675	3675	01:30:00	1.5	QUEBRANDO D.JAR DO BHA DE 12 1/4" E S	EOW
29/04/XXXX	3675	3675	03:00:00	2	DESMONTANDO DIVERTER.	EOW
29/04/XXXX	3675	3675	05:00:00	1	CHECANDO CONDICOES DE MAR PARA DE	EOW
29/04/XXXX	3675	3675	06:00:00	0.5	DESCENDO ROV.	EOW
29/04/XXXX	3675	3675	06:30:00	0.5	DESCONECTANDO BOP E POSICIONANDO	EOW
29/04/XXXX	3675	3675	07:00:00	4.5	DESMONTANDO LINHAS DE CHOKE E KILL	EOW
29/04/XXXX	3675	3675	11:30:00	4.5	RETIRANDO COLUNA DE RISER COM BOP.	EOW
29/04/XXXX	3675	3675	16:00:00	2	OPERANDO COM BARCOS CLARISSE E NO	EOW
29/04/XXXX	3675	3675	18:00:00	9	RETIRANDO COLUNA DE RISER COM BOP.	EOW
30/04/XXXX	3675	3675	03:00:00	6	MOVENDO FIBAP/FIBAP P/ O MOON POOL, F	EOW
30/04/XXXX	3675	3675	09:00:00	1	DESMONTANDO PISO DA PLATAFORMA E F	EOW
30/04/XXXX	3675	3675	10:00:00	1	REMOVENDO FUNIL DO H4, MOVIMENTAND	EOW
30/04/XXXX	3675	3675	11:00:00	6	MANUSEANDO BOP NA SUPERFICIE E FAZI	EOW
30/04/XXXX	3675	3675	17:00:00	2	RETIRANDO FERJAT.----MAS--500--GSC	EOW
30/04/XXXX	3675	3675	19:00:00	2	JATEANDO HOUSING (700 GPM, 1.500 PSI).-	EOW
30/04/XXXX	3675	3675	21:00:00	1.5	DESCENDO ROV E POSICIONANDO NAVIO E	EOW
30/04/XXXX	3675	3675	22:30:00	103	RETIRANDO EQUIPAMENTOS DE MANUSEI	EOW

O custo métrico de construção da fase (CMCF), Equação 1A, é uma abordagem que pode ser utilizada na avaliação do desempenho do processo construtivo de qualquer fase do poço. No entanto, o presente trabalho optou-se por analisar somente a fase intermediária dos poços. O motivo dessa escolha se deve ao fato de que as fases de condutor e superfície serem fases de pequenas durações e metragens perfuradas. Já no caso da fase de produção, sua desconsideração se deve ao fato de existir limitações tecnológicas nas ferramentas utilizadas na perfuração o que impossibilita captar as informações litológicas do reservatório quando perfuradas a altas taxas de penetração (ROP) da broca. A fase intermediária, em contrapartida, apresenta grande duração e metragem perfurada características estas que se encaixam perfeitamente nesta análise.

$$CMCF = \frac{C_{tf}}{MP} \quad (1A)$$

Onde :

$C_{tf}$  = Custo total da fase, US\$.

MP = Comprimento total da fase, m.

Como definido no capítulo 4, o custo total da fase é o somatório dos custos da operação de perfuração e da operação complementar como pode ser visto na Equação 2A.

$$C_{tf} = C_{perf} + C_{compl}. \quad (2A)$$

Neste trabalho definiu-se a operação de perfuração como toda atividade que proporciona ganho de profundidade do poço, o que inclui a perfuração propriamente dita, jateamento (avanço em formações friáveis, como o fundo do mar) e testemunhagem. Já as operações complementares são todas as atividades posteriores à operação de perfuração, necessárias ao desenvolvimento do poço e que visam à melhoria de sua qualidade, no entanto sem produzir avanço ou aprofundamento do poço onde se incluem as manobras, descidas de revestimento, perfilagem, testes de formação, cimentação, etc.

A Figura 1A e a Tabela 2A ilustram, respectivamente, o comportamento e a separação no Boletim Diário de Perfuração dessas duas principais operações para a fase Intermediária do Poço 7-XXX-99D-RJS.

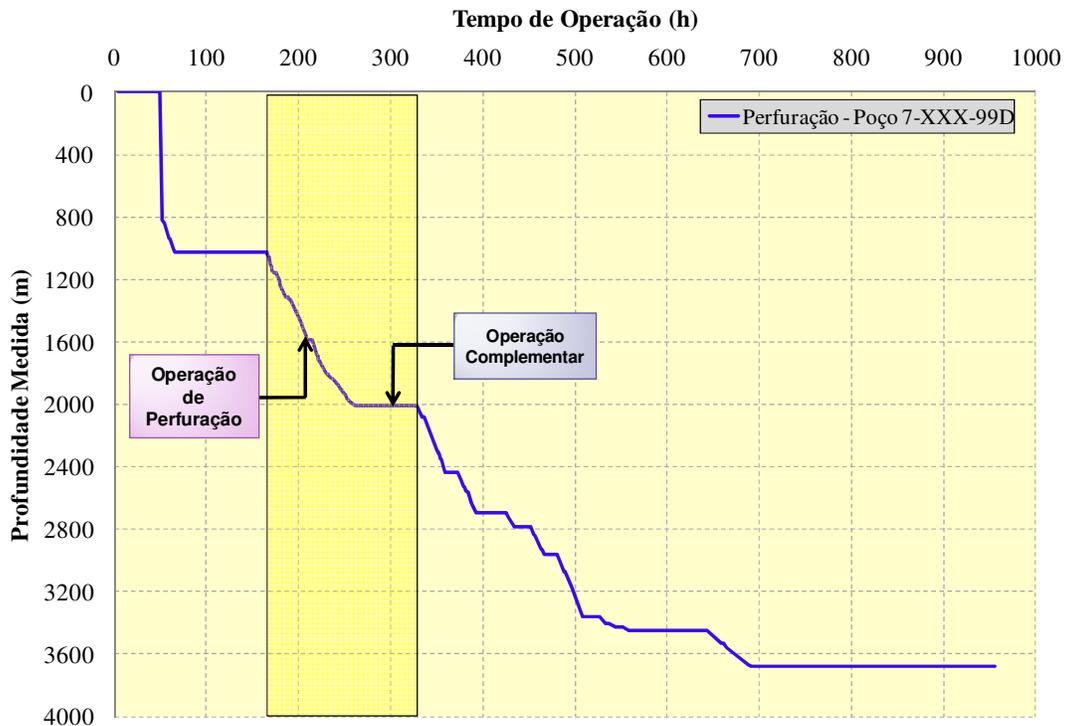


Figura 1A: Ilustração das operações do poço.

**Tabela 2A: Boletim Diário de Perfuração (BDP) - Fase Intermediária do Poço 7-XXX-99D-RJS.**

02/04/XXXX	1028	1036	08:00:00	0.5	PERFURANDO.
02/04/XXXX	1036	1064	08:30:00	2	PERFURANDO ORIENTADO.
02/04/XXXX	1064	1074	10:30:00	0.5	PERFURANDO.
02/04/XXXX	1074	1103	11:00:00	1	PERFURANDO ORIENTADO.
02/04/XXXX	1103	1122	12:00:00	1	PERFURANDO.
02/04/XXXX	1122	1141	13:00:00	1	PERFURANDO ORIENTADO.
02/04/XXXX	1141	1161	14:00:00	1.5	PERFURANDO.
02/04/XXXX	1161	1161	15:30:00	3.5	AGUARDANDO CONDICÕES DE MAR, COM
02/04/XXXX	1161	1180	19:00:00	1	PERFURANDO.
02/04/XXXX	1180	1195	20:00:00	1	PERFURANDO ORIENTADO.
02/04/XXXX	1195	1219	21:00:00	1	PERFURANDO.
02/04/XXXX	1219	1229	22:00:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.
02/04/XXXX	1229	1298	22:30:00	4.5	PERFURANDO.
03/04/XXXX	1298	1312	03:00:00	1	PERFURANDO. OBS.1.
03/04/XXXX	1312	1312	04:00:00	3.5	AGUARDANDO CONDICÕES DE MAR, COM
03/04/XXXX	1312	1325	07:30:00	1	PERFURANDO.
03/04/XXXX	1325	1329	08:30:00	1	PERFURANDO ORIENTADO.
03/04/XXXX	1329	1480	09:30:00	12.5	PERFURANDO. REPASSANDO UMA VEZ C
03/04/XXXX	1492	1490	22:00:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.
03/04/XXXX	1490	1567	22:30:00	4.5	PERFURANDO.
04/04/XXXX	1567	1577	03:00:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.
04/04/XXXX	1577	1587	03:30:00	0.5	PERFURANDO.
04/04/XXXX	1587	1587	04:00:00	5	AGUARDANDO CONDICÕES DE MAR. CIR
04/04/XXXX	1587	1683	09:00:00	5.5	PERFURANDO.
04/04/XXXX	1683	1693	14:30:00	1	PERFURANDO ORIENTADO.
04/04/XXXX	1693	1712	15:30:00	0.5	PERFURANDO.
04/04/XXXX	1712	1722	16:00:00	0.5	PERFURANDO ORIENTADO.
04/04/XXXX	1722	1799	16:30:00	8.5	PERFURANDO.
05/04/XXXX	1799	1808	01:00:00	1.5	PERFURANDO ORIENTADO.
05/04/XXXX	1808	1814	02:30:00	0.5	PERFURANDO.
05/04/XXXX	1814	1828	03:00:00	2.5	PERFURANDO. REPASSADO O TRECHO. (
05/04/XXXX	1828	1835	05:30:00	2	PERFURANDO ORIENTADO. (OBS.2)
05/04/XXXX	1835	1885	07:30:00	7	PERFURANDO. REPASSADO CADA TUBO
05/04/XXXX	1885	1895	14:30:00	1	PERFURANDO ORIENTADO. (OBS.2)
05/04/XXXX	1895	1914	15:30:00	2.5	PERFURANDO.
05/04/XXXX	1914	1924	18:00:00	1.5	PERFURANDO ORIENTADO.
05/04/XXXX	1924	1943	19:30:00	2	PERFURANDO.
05/04/XXXX	1943	1962	21:30:00	1.5	PERFURANDO ORIENTADO.
05/04/XXXX	1962	1972	23:00:00	1.5	PERFURANDO.
06/04/XXXX	1972	1977	00:30:00	1.5	PERFURANDO ORIENTADO.
06/04/XXXX	1977	1982	02:00:00	1	PERFURANDO.
06/04/XXXX	1982	2005	03:00:00	4.5	PERFURANDO
06/04/XXXX	2005	2005	07:30:00	2.5	BOMBEANDO 60 BBL DE TP.VISCOSO. C
06/04/XXXX	1017	2005	10:00:00	2.5	BOMBEANDO TAMPÃO PESADO. REALIZAN
06/04/XXXX	1017	2005	12:30:00	2	CONCLUINDO MANOBRA CURTA. DESCEI
06/04/XXXX	2005	2005	14:30:00	2.5	CIRCULANDO PARA CONDICIONAR. BOME
06/04/XXXX	2005	2005	17:00:00	2	RETIRANDO COLUNA EM POÇO ABERTO.
06/04/XXXX	2005	2005	19:00:00	1	RETIRANDO COLUNA EM POÇO REVESTID
06/04/XXXX	2005	2005	20:00:00	3	RETIRANDO E QUEBRANDO BHA. DESCO
06/04/XXXX	2005	2005	23:00:00	2.5	DESCENDO COLUNA PARA RECUPERAR
07/04/XXXX	2005	2005	01:30:00	1.5	RECUPERANDO BUCHA COM 25 KLB DE (
07/04/XXXX	2005	2005	03:00:00	0.5	CONCLUINDO RETIRADA DA COLUNA E L
07/04/XXXX	2005	2005	03:30:00	1	PREPARANDO PARA DESCER REVESTIME
07/04/XXXX	2005	2005	04:30:00	8	DESCENDO REVESTIMENTO DE 13.3/8". D
07/04/XXXX	2005	2005	12:30:00	0.5	TROCANDO ELEVADOR SIDE DOOR POR
07/04/XXXX	2005	2005	13:00:00	3.5	DESCENDO REVESTIMENTO DE 13.3/8". D
07/04/XXXX	2005	2005	16:30:00	1	CONECTANDO CONJUNTO CASING HANG
07/04/XXXX	2005	2005	17:30:00	3	DESCENDO REVESTIMENTO DE 13.3/8" C
07/04/XXXX	2005	2005	20:30:00	2	CIRCULANDO P/ CIMENTAR REVESTIMEN
07/04/XXXX	2005	2005	22:30:00	3	CIMENTANDO REVESTIMENTO DE 13.3/8"
08/04/XXXX	2005	2005	01:30:00	1.5	ENERGIZANDO E TESTANDO PACK OFF (C
08/04/XXXX	2005	2005	03:00:00	4.5	TESTANDO BOP. VALVULAS E GAVETAS C
08/04/XXXX	2005	2005	07:30:00	0.5	LIBERANDO RT DO CASING HANGER, QUI
08/04/XXXX	2005	2005	08:00:00	1.5	RETIRANDO COLUNA DE ASSENTAMENTO
08/04/XXXX	2005	2005	09:30:00	1.5	MONTANDO RT, DESCENDO COLUNA E A
08/04/XXXX	2005	2005	11:00:00	1.5	RETIRANDO COLUNA COM WBRT.
08/04/XXXX	2005	2005	12:30:00	1.5	TESTANDO EQUIPAMENTO DE SUPERFIC
08/04/XXXX	2005	2005	14:00:00	4.5	MONTANDO E DESCENDO BHA DE 12.1/4"
08/04/XXXX	2005	2005	18:30:00	2.5	DESCENDO COLUNA E TOPANDO COLAR
08/04/XXXX	2005	2005	21:00:00	2.5	CORTANDO COLAR FLUTUANTE @ 1975M
08/04/XXXX	2005	2005	23:30:00	1	CORTANDO CIMENTO 1987/1996M, SAPAT
09/04/XXXX	2005	2005	00:30:00	1	CIRCULANDO E CONCLUINDO SUBSTITU

**Operação de Perfuração**

**Operação Complementar**

### 1.1 Custo da operação de perfuração ( $C_{perf}$ )

Para o cálculo do custo da operação de perfuração, consideraram-se as seguintes expressões.

$$C_{perf} = \sum_{n=1} CM_n \times MP_n \quad (3A)$$

onde:

$CM_n$  = Custo métrico da broca descida ao poço, US\$/m;

$MP_n$  = Metros perfurados da broca descida ao poço, m;

$$CM_n = \frac{C_b + CH_s \times (HM + HR)}{MP} \quad (4A)$$

onde:

$CM$  = Custo métrico da broca, US\$/m,

$C_b$  = Custo da broca, US\$,

$CH_s$  = Custo horário da sonda, US\$/h,

$HM$  = Horas gastas para troca de broca, h,

$HR$  = Horas de rotação ou broca de fundo, h,

$MP$  = Intervalo Perfurado, m ou ft.

As informações referentes aos custos de sonda de perfuração ( $CH_s$ ) e de brocas ( $C_b$ ), Tabela 3A e 4A, foram coletadas do trabalho de Amorim Junior (2008). Outras informações necessárias para o cálculo do custo da operação de perfuração da fase intermediária do poço 7-XXX-99D, como horas de rotação da broca ( $HR$ ) e metros perfurados ( $MP$ ) foram obtidas através dos registros de brocas (*bit records*).

**Tabela 3A.: Custo de broca, por diâmetros e tecnologia. Fonte: Amorim Junior (2008).**

Tipo	6.1/8"	8.1/2"	9.1/2"	12.1/4"	14.3/4"	17.1/2"	26"
Triconica de dentes de aço	3072	3809	4761	6145	7066	11800	12980
Triconicas de Insertos	5443	6750	8437	11772	13099	21875	24063
Triconicas para motores	8811	11976	15422	22986	35254	41616	45778
Diamantes	6400	10000	13000	20000	23000	30000	33000
PDC	20000	30000	35000	50000	65000	95000	105000

Tabela 4A.: Custo horário de sondas, por aplicação e capacidade de perfuração. Fonte: Amorim Junior (2008)

Sonda	Custo Horário da sonda (US\$/h)
Navios e semi-submersíveis	15000
Plataformas, jackups	3000
Sondas de terra 7.000 m	2000
Sondas de terra < 3.000 m.	750

Tabela 5A.: Registro de brocas utilizadas na perfuração do poço 7-XXX-99D-RJS

POÇO	N° da broca	Prof. de Saída (RKB)	Metragem	Tempo de rotação da broca (h)	Diâmetro do poço	Diâmetro da broca	N° de série da broca	Tipo de broca	ID	Fabricante
7-XXX-99D-RJS	1R	1028	214	14	26	26	66170	M11	Tricônica	CBV
7-XXX-99D-RJS	2	2005	977	83.5	16	16	656726	SS33SG	Tricônica	Security DBS
7-XXX-99D-RJS	3	2697	692	49	12.25	12.25	22328	DS133DGNW	PDC	Reed Hycalog
7-XXX-99D-RJS	3R	2781	84	9	12.25	12.25	22328	DS133DGNW	PDC	Reed Hycalog
7-XXX-99D-RJS	3R	3360	579	42.5	12.25	12.25	22328	DS133DGNW	PDC	Reed Hycalog
7-XXX-99D-RJS	3R	3447	87	19.5	12.25	12.25	22328	DS133DGNW	PDC	Reed Hycalog
7-XXX-99D-RJS	4	3675	228	44.5	12.25	12.25	YE0186	MFDSHODC	Tricônica	Smith

Durante a análise das atividades através dos Boletins Diários de Perfuração notou-se que as informações não são muito precisas do ponto de vista temporal devido ao modo como são registradas. Como os eventos não são individualizados no momento do registro, não é possível saber exatamente o tempo de sonda consumido por cada atividade. Outra dificuldade encontrada é a não uniformidade dos intervalos de classificação. Através da análise de uma amostra de boletins de vários poços, foi observado que o menor intervalo de classificação utilizado era de 30 minutos.

A não uniformidade nos intervalos de tempo aliada à subjetividade no processo de preenchimento inviabilizou, em alguns trechos, a utilização do Boletim Diário de Perfuração como fonte de informação da duração de algumas atividades, por exemplo: manuseio de coluna de perfuração, circulação, início e fim de descida e retirada de coluna de perfuração. Devido a essa dificuldade, para o cálculo do tempo total gasto por todas essas atividades optou-se por se utilizar a fórmula gerada por Amorim Junior (2008), descrita no capítulo 2.

$$HM=0,004 \times PE+9 \quad (5A)$$

onde HM são as horas de manobra para a troca de uma broca (h) e PE é a profundidade de entrada da broca (m).

Para o cálculo da operação de perfuração da fase intermediária do Poço 7-XXX-99D-RJS foram utilizados:

**Tabela 6A.: Informações utilizadas para o cálculo do custo da operação de perfuração.**

Parâmetros	Características	Valores
$C_{BROCA}$	Tricônica de dentes de aço	US\$ 7.066.00
$CH_{SONDA}$	Navio Sonda	US\$/h 15.000.00
PE	—	1028 m
HR	—	83.5 horas
MP	—	977 m
HM	—	13 horas

A fase intermediária do Poço 7-XXX-99D-RJS foi perfurada por uma única broca. Dessa forma, tem-se que o custo métrico da broca é igual a:

$$CM = 1.488,81 \text{ US\$/m}$$

**Nota:** Caso fossem utilizadas mais brocas na perfuração da fase, o custo métrico final desta seção será a média ponderada das frações de n brocas utilizadas:

$$CM_f = \frac{CM_1 \times MP_1 + CM_2 \times MP_2 + \dots + CM_n \times MP_n}{MP_1 + MP_2 + \dots + MP_n} \quad (6A)$$

Para este poço, o custo total da operação de perfuração da fase intermediário é:

$$C_{\text{perf}} = \sum_{n=1} CM_n \times MP_n \quad (7A)$$

$$C_{\text{perf}} = \text{US\$ } 1.455.325,^{00}$$

## 1.2. Custo da operação complementar ( $C_{\text{compl.}}$ )

Concluindo a construção da fase do poço, temos a operação complementar ( $C_{\text{compl.}}$ ) ilustrada pela linha amarela na Figura 1A. O custo da operação complementar é dado como sendo a somatória dos custos de todas as operações desenvolvidas após a operação de perfuração. A análise do desempenho da operação complementar recai sobre três atividades principais: condicionamento do poço, descida de revestimento e cimentação.

Para a análise do desempenho da operação complementar, separou-se a duração de cada atividade. Para as atividades de cimentação e condicionamento do poço, a coleta da duração foi facilitada pela sua separação no momento do registro. Já no caso da descida de revestimento, devido à atividade apresentar uma duração maior foram agregados os tempos das descidas interrompidas para manutenção ou outro motivo externo à operação.

O cálculo do custo da operação complementar é dado pela Equação 8A.

$$C_{\text{op.compl.}} = CH_s \times H_{\text{compl.}} + \sum C_{\text{serviços}} \quad (8A)$$

onde:

$CH_s$  = Custo horário da sonda, US\$/h;

$H_{\text{compl.}}$  = duração das operações complementares, h;

$C_{\text{serviços}}$  = Custo dos serviços, US\$;

Para o cálculo da operação complementar da fase intermediária do Poço 7-XXX-99D-RJS foram utilizados:

As informações relativas aos custos médios dos revestimentos e dos serviços de cimentação e condicionamento são apresentadas no banco de dados do anexo deste trabalho. Em posse dessas informações, torna-se possível o cálculo dos custos da operação complementar.

**Tabela 7A.: Composição do custo de revestimento.**

<b>Custo Revestimento</b>		
<b>Revestimento</b>	<b>Tipo</b>	<b>US\$/m</b>
30"	Condutor	190
20"	Superfície	185
16"	intermediário	150
13 3/8"	intermediário	142
11 3/4"	intermediário	101
9 5/8"	Produção	99
7"	Produção	70

**Tabela 8A.: Composição do custo do fluido de perfuração e do custo de cimentação.**

<b>Custo do fluido de perfuração</b>		<b>Custo da cimentação</b>
Fluido de Perfuração (US\$/h)	Tratamento do Fluido (US\$/h)	Cimetação de Revestimento (US\$/ft³)
100	25	88

Para o cálculo da operação complementar da fase intermediária do Poço 7-XXX-99D-RJS foram utilizados:

**Tabela 9A.: Informações utilizadas para o cálculo do custo da operação complementar.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Características</b>	<b>Valores</b>
CREVESTIMENTO	Intermediária	US\$/m 142.00
CCIMENTAÇÃO	—	US\$/m 88.00
CHSONDA	Navio Sonda	US\$/m 15.000.00
HCOMPL	—	50.5 horas

Dessa forma, tem-se que o custo da operação complementar é igual a:

$$C_{\text{COMPL.}} = \text{US\$ } 982.210,00$$

Assim o valor do custo métrico de construção da fase intermediário do Poço 7-XXX-99D-RJS, segundo a Equação 2A, é:

$$\text{CMCF} = \frac{C_{\text{perf}} + C_{\text{compl.}}}{\text{MP}} = \frac{1.455,325 + 982.210}{977} \approx 2494,92 \text{ US\$/m}$$