

## 7

### Resultados e Discussões

#### 7.1

##### Dados de Campo

Foram considerados no estudo um poço direcional de alta inclinação, dois poços piloto, um de alta inclinação e outro vertical e três poços horizontais perfurados na bacia de Campos, Rio de Janeiro.

Para ambas as etapas de planejamento e acompanhamento, foram consideradas as seguintes premissas:

1. Poços de desenvolvimento;
2. Dados de entrada provenientes dos poços de correlação, vide apêndice C. Os valores considerados para cada parâmetro estão detalhados abaixo:
  - Peso sobre broca e torque na broca: considerados os valores médios aplicados e medidos, respectivamente, em cada fase perfurada;
  - Rotação na coluna, vazão e taxa de penetração: considerados os valores médios dos parâmetros aplicados em cada fase perfurada;
  - Peso de fluido de perfuração e dados de reologia: considerados os valores medidos de peso e leitura *fann* em cada fase perfurada (mínimo de cinco leituras);
  - Jatos da broca e perda de carga dos equipamentos: considerados os mesmos valores utilizados nas fases perfuradas;
3. Planejamento direcional realizado utilizando os dados de *survey* dos poços e inserindo-os no aplicativo *Compass*, da *Landmark*;

4. Foram selecionadas para o estudo as fases que apresentaram problemas operacionais e os trechos foram subdivididos a cada troca do BHA;
5. Foram adotados intervalos para o fator de fricção no trecho de poço aberto de 0,10 a 0,30 variando de 0,05. Os fatores de fricção considerados no trecho revestido estão detalhados na tabela 11, no apêndice C;
6. Os dados provenientes da perfuração dos poços foram obtidos através dos sensores de *mudlogging* e PWD, porém alguns dados vindo do PWD estavam incompletos e não contemplaram toda a profundidade do poço. Só para salientar que os dados trabalhados são em relação à profundidade e não ao tempo;
7. Para melhor visualização nas tendências e redução da incerteza nos dados recebidos foi utilizada uma média móvel, variando o total de pontos considerados no cálculo de acordo com a quantidade de dados recebidos de cada parâmetro. Portanto, foi calculada uma média móvel com vinte pontos para todos os parâmetros, com exceção da taxa de penetração que utilizou cinquenta pontos;
8. Para as fases em que as curvas de torque planejadas estavam distantes dos dados reais foram feitos ajustes no início da perfuração, adotando que o comportamento inicial seguia uma tendência normal.

Após o estudo de retro-análise dos poços, seguindo a metodologia detalhada no capítulo seis e as premissas descritas acima, alguns problemas operacionais durante a perfuração foram mapeados e os mesmos são mostrados a seguir. Além dos problemas operacionais durante a perfuração, encontram-se listados também, por motivo de enriquecimento didático, os ocorridos durante as operações de manobra e o comportamento normal do poço durante uma operação de perfuração, em que foi detectada variação no torque em função de mudança litológica.

## 7.2

### Descrição dos Poços Utilizados no Estudo

O presente trabalho contempla o estudo dos seguintes poços:

- Poço A

Tabela 2: Informações gerais do poço A

Poço A	
Localização	Bacia de Campos
Tipo	Direcional
Mesa rotativa/ lâmina d'água	25 m/ 1227 m
Sonda	Semi-submersível
TVD	4195 m
MD	5236 m
Inclinação máxima	80,8°
Máximo <i>dogleg</i>	6,7°/30 m
N° de fases	5

Abaixo são mostradas as figuras 14 e 15 da trajetória direcional do poço, vista lateral e superior.

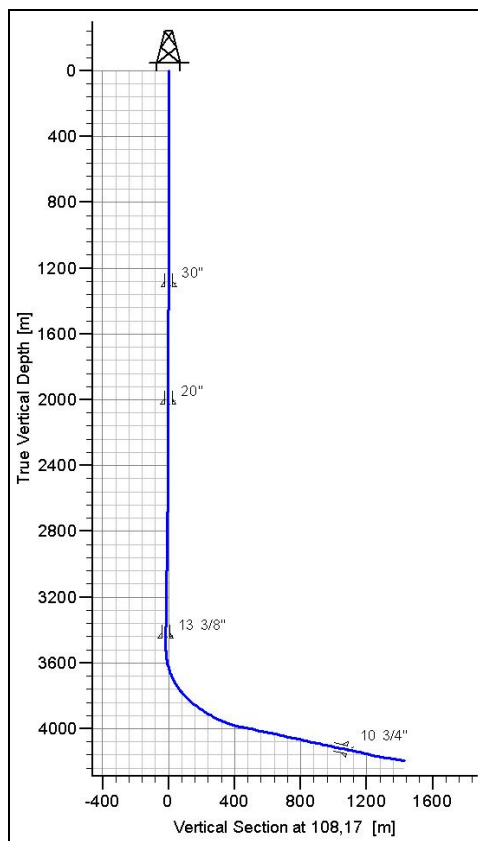


Figura 14: Vista lateral do poço A

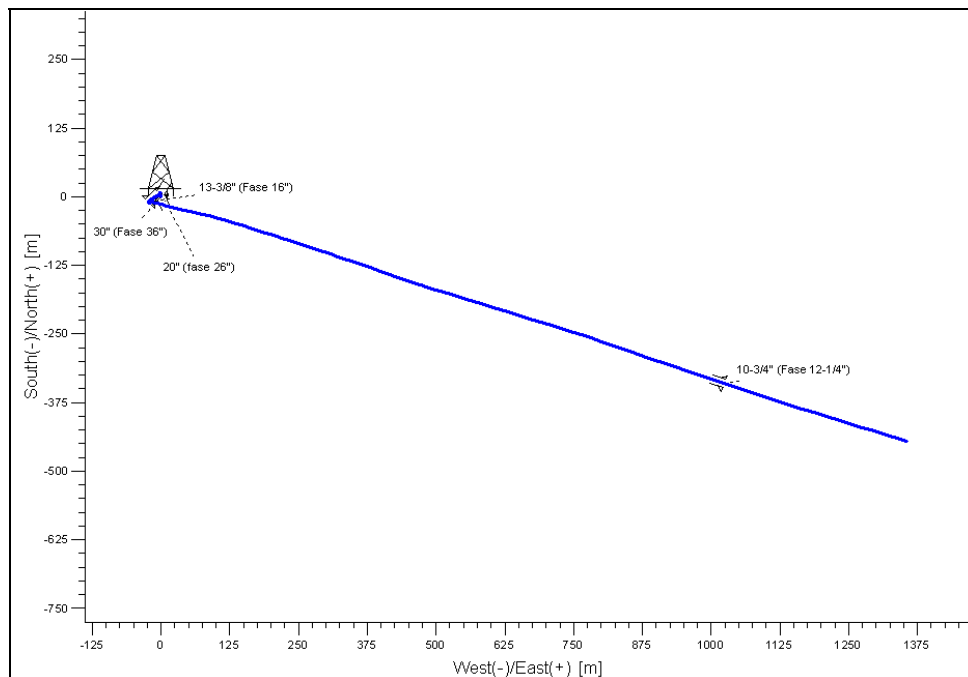


Figura 15: Vista superior do poço A

- Poços B/ B.1

Tabela 3: Informações gerais do poço B e B.1

Poço	B	<i>Sidetrack</i> - B.1
Localização	Bacia de Campos	Bacia de Campos
Tipo	Direcional	Horizontal
Mesa rotativa/ lâmina d'água	17 m/ 1180 m	17 m/ 1180 m
Sonda	Navio Sonda	Semi-submersível
TVD	4580 m	4274 m
MD	4956 m	5700 m
Inclinação máxima	51°	89,6°
Máximo <i>dogleg</i>	4,4°/30 m	5,6°/30 m
Nº de fases	4	2

O poço B é um poço piloto direcional de 8-1/2” compartilhado a partir da sapata do 13-3/8” com o poço B.1. Para melhor esclarecimento das trajetórias de cada um dos poços, seguem abaixo as figuras 16 e 17 das mesmas em ambas as vistas, lateral e superior.

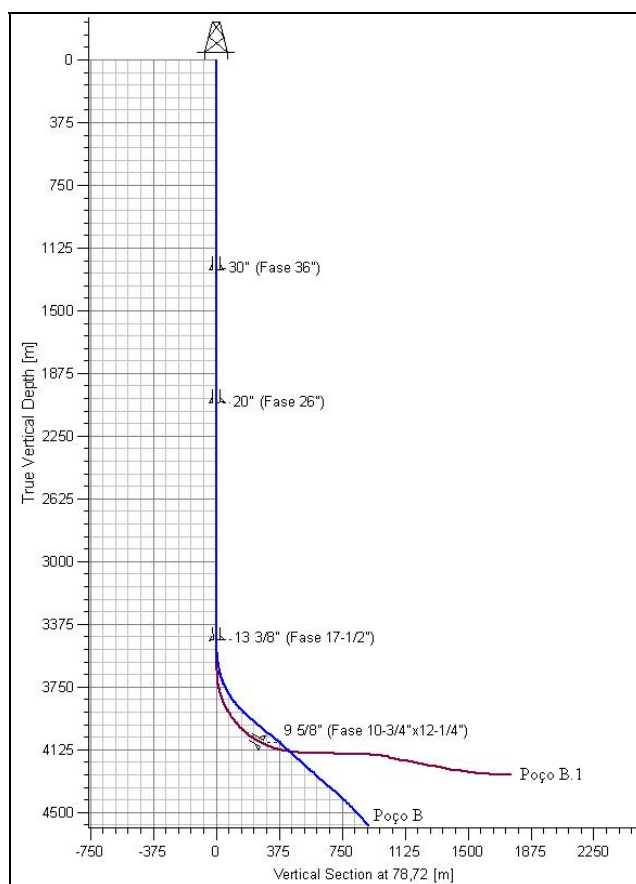


Figura 16: Vista lateral dos poços B e B.1

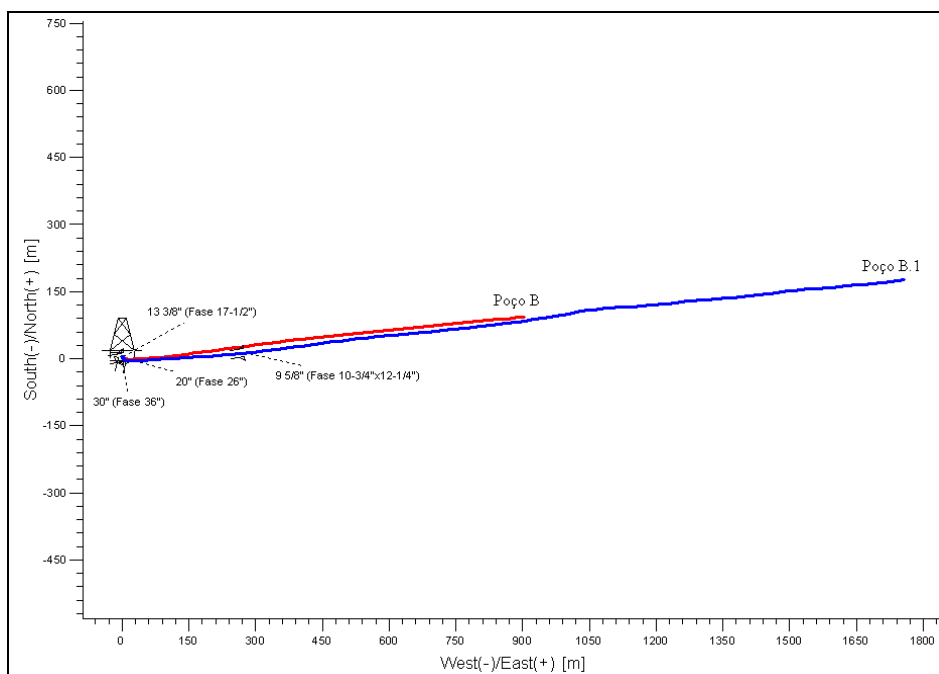


Figura 17: Vista superior dos poços B e B.1

- Poços C/ C.1/ C.2

Tabela 4: Informações gerais do poço C, C.1 e C.2

Poço	C	Sidetrack – C.1	Sidetrack - C.2
Localização	Bacia de Campos	Bacia de Campos	Bacia de Campos
Tipo	Vertical - Piloto	Horizontal	Horizontal
Mesa rotativa/ lâmina d'água	17 m/ 1259 m	17 m/ 1259 m	17 m/ 1259 m
Sonda	Navio Sonda	Navio Sonda	Navio Sonda
TVD	4486 m	4321 m	4286 m
MD	4486 m	5679 m	5360 m
Inclinação máxima	2°	90,5°	100,3°
Máximo <i>dogleg</i>	0,2°/30 m	4,7°/30 m	5,6°/30 m
N° de fases	4	2	1

O poço C é um poço piloto direcional de 8-1/2” compartilhado a partir da sapata do 13-3/8” com o poço C.1. O poço C.1 horizontal foi abandonado devido a ocorrência de prisão da coluna de perfuração na fase de 8-1/2”, sendo compartilhado com o poço C.2 a partir da sapata de 9-5/8”. Para melhor esclarecimento das trajetórias de cada um dos poços, seguem abaixo as figuras 18 e 19 das mesmas em ambas as vistas, lateral e superior.

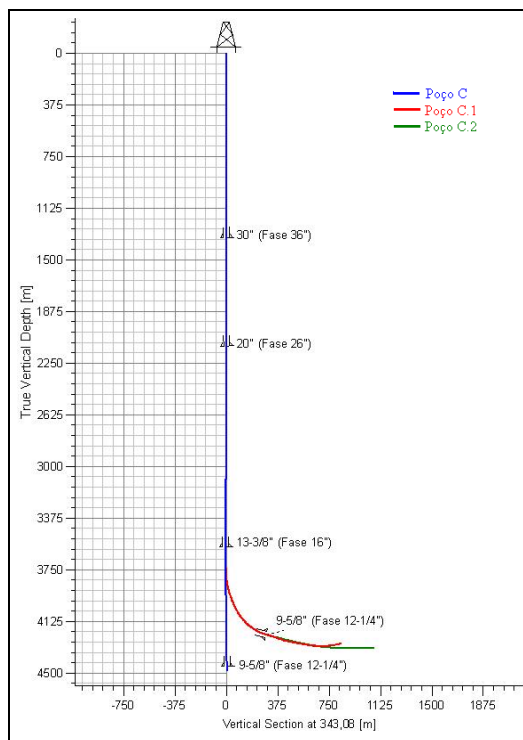


Figura 18: Vista lateral dos poços C, C.1 e C.2

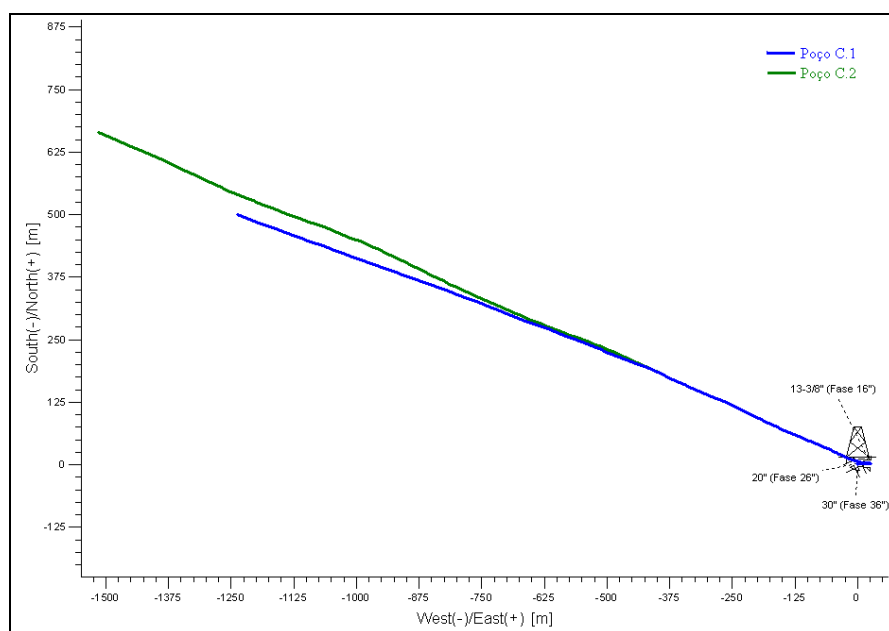


Figura 19: Vista superior dos poços C, C.1 e C.2

Todos os poços encontram-se localizados no mesmo bloco, próximos uns aos outros e fazem parte de uma mesma campanha de desenvolvimento do campo. Portanto, as formações encontradas durante a perfuração dos poços foram bastante similares e algumas características da área estão destacadas abaixo a fim de favorecer o entendimento e a discussão dos resultados:

- Presença de reservatórios com micro fraturas naturais que favorecem o desmoronamento de blocos da formação, uma vez que, o fluido permeia por trás dos mesmos, desestabilizando-os;
- Reservatório calcarenito conhecido por quatro tipos de litologia: *grainstone* (muito poroso, com menos de 5% de matriz na rocha), *packestone* (um pouco menos permeo-poroso, possuindo um pouco mais de matriz na rocha), *wackestone* (poucos poros e mais matriz ainda que o anterior) e *mudstone* (lama carbonática com menos de 10% de grãos);
- Zona de reservatório calcarenito fraturado que apresenta constantes perdas, podendo até chegar a uma perda severa sem possibilidade de controle e levando ao abandono do poço;
- Devido à presença de carbonatos fraturados ocorre uma impossibilidade de formação do reboco com fluido de perfuração, como normalmente acontece na perfuração de arenitos e carbonatos não fraturados;



- ECD limitado em 9,7 ppg durante a perfuração, pois sabe-se que valores maiores podem reabrir as fraturas na formação ou aumentar as existentes. Logo, durante a perfuração quando o valor do ECD se aproximava deste limite, a operação era interrompida e circulava-se a fim de reduzi-lo.

### 7.3

#### Identificação de Problemas Operacionais

##### 7.3.1

#### Perda de Circulação

Após análise foram encontrados problemas de perda de circulação nos seguintes poços:

Poço: A

Fase analisada: 8-1/2"

Problema encontrado: perda de circulação total

Seção do poço: 4894-5236 m

Fluido de perfuração (peso e tipo): 9,2 ppg, polimérico

Inclinação máxima: 80,6°

Litologia desta seção: calcilito com folhelho e reservatório calcário (*grainstone* e *packstone*)

BHA: broca 8-1/2" PDC Smith M616 + geopilot 9600

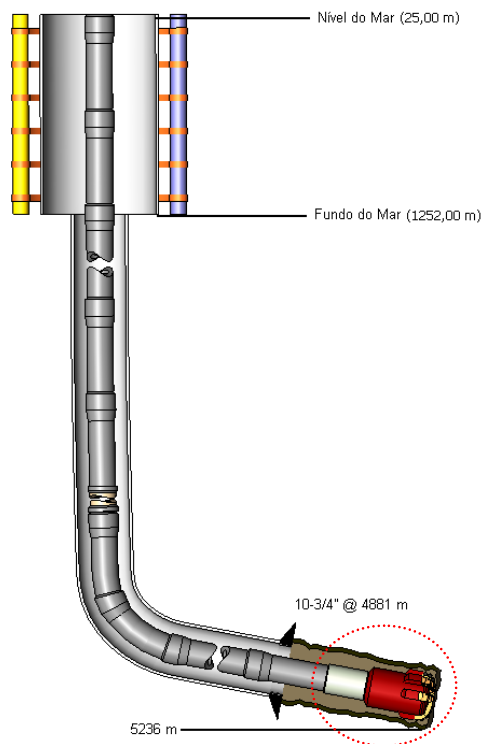


Figura 20: Esquema do poço A (4894-5236 m)

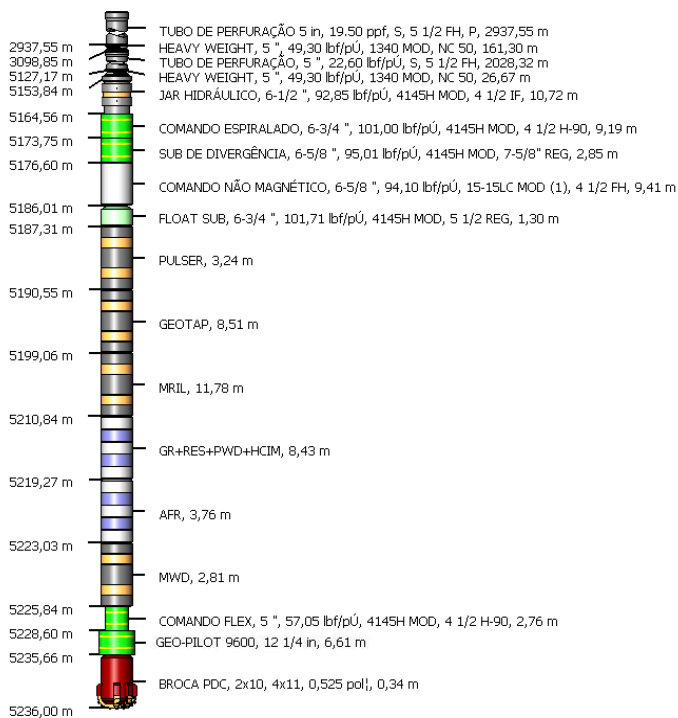


Figura 21: BHA detalhado do poço A (4894-5236 m)

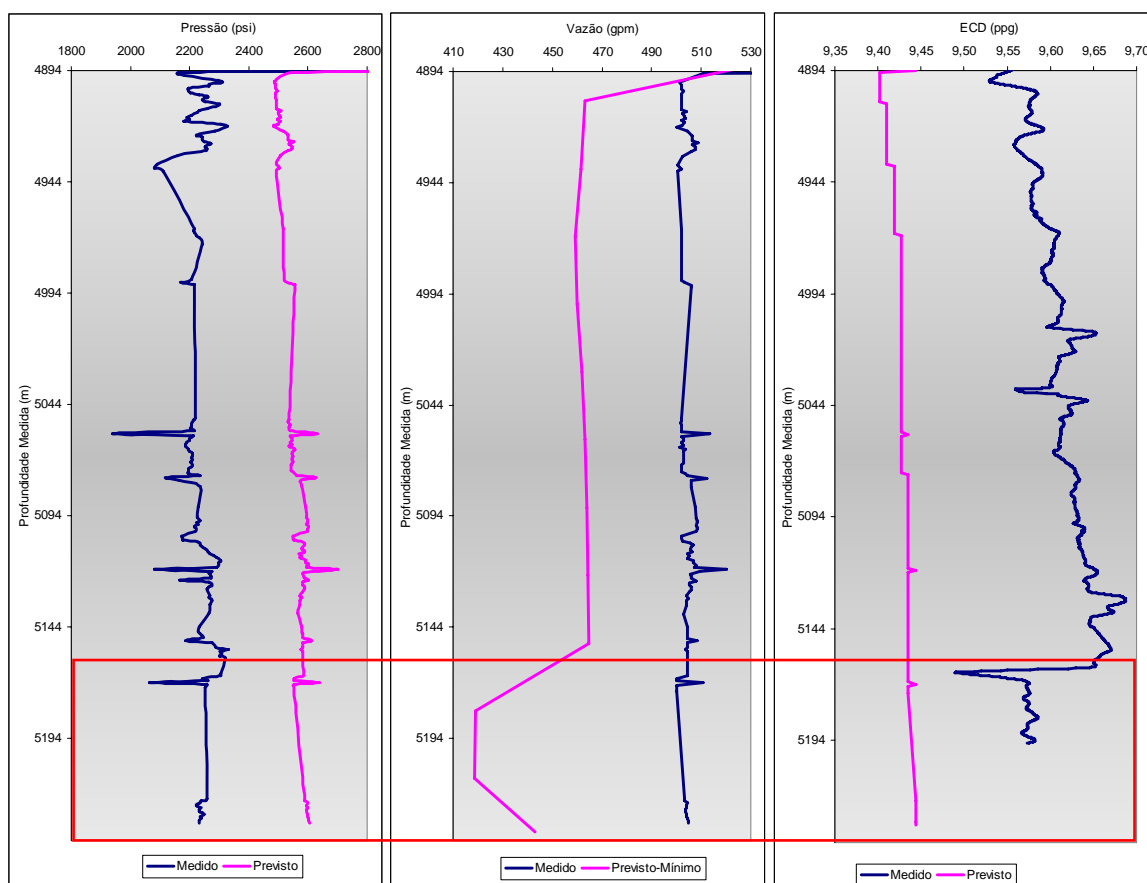


Figura 22: Gráficos dos valores, previsto x medido, de pressão, vazão e ECD do poço A (4894-5236 m)

Esta seção do poço foi perfurada com peso de fluido de perfuração de 9,2 ppg, vazão e pressão média de, respectivamente, 500 gpm e 2200 psi. Ao longo de toda a perfuração o ECD se apresentou elevado (9,55-9,65 ppg) bem próximo do limite de 9,7 ppg. Através da figura 22, observando-se o gráfico de ECD pela profundidade é possível identificar uma queda brusca em seu valor em, aproximadamente, 5160m logo após um aumento no valor do ECD. Esta queda foi analisada como um indício de uma zona de perda natural, uma vez que, este trecho perfurado está dentro de um reservatório calcário fraturado.

Nesta mesma profundidade, pode-se observar uma queda na pressão para um aumento na vazão, comportamento este oposto ao esperado, o que também reforça a afirmação anterior. No final da perfuração desta fase de 8-1/2", a 5236 m, ocorreu uma perda de circulação total no poço, o que pode ser indiciado pela redução na pressão, mas como os dados do ECD não estavam disponíveis nos metros finais da perfuração desta seção não fica evidente através da variação no

ECD que ocorreu a perda de circulação total. A comprovação desta ocorrência se deu somente através da retro-análise realizada.

Como ações mitigadoras para a ocorrência de perda de circulação no poço recomendam-se:

- Bombear tampão de combate à perda e deslocar com fluido de perfuração;
- Circular e aguardar a ação do tampão, reciprocando a coluna;
- Checar o nível do anular e o retorno de fluido na superfície;
- Em caso de perda total, se não conseguir controlar a mesma, substituir o fluido do poço por um de menor densidade e fazer tampão de abandono;
- Em caso de perda parcial com controle da situação, substituir fluido de perfuração por um de menor densidade e continuar a perfuração.

### 7.3.2

#### **Prisão da Coluna de Perfuração**

Poço: C

Fase analisada: 8-1/2”

Problema encontrado: ameaça de prisão da coluna de perfuração

Seção do poço: 4347-4486 m

Fluido de perfuração (peso e tipo): 9,2 ppg, sintético

Inclinação máxima: 1,9°

Litologia da seção: reservatório calcário (*grainstone* e *packestone*)

BHA: broca 8-1/2” PDC Smith M616, sem motor de fundo ou geopilot

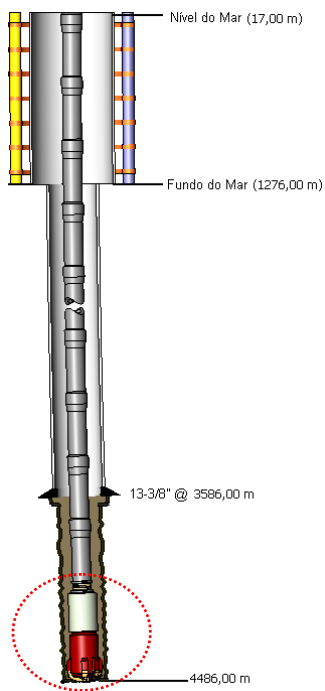


Figura 23: Esquema do poço C (4347-4486 m)

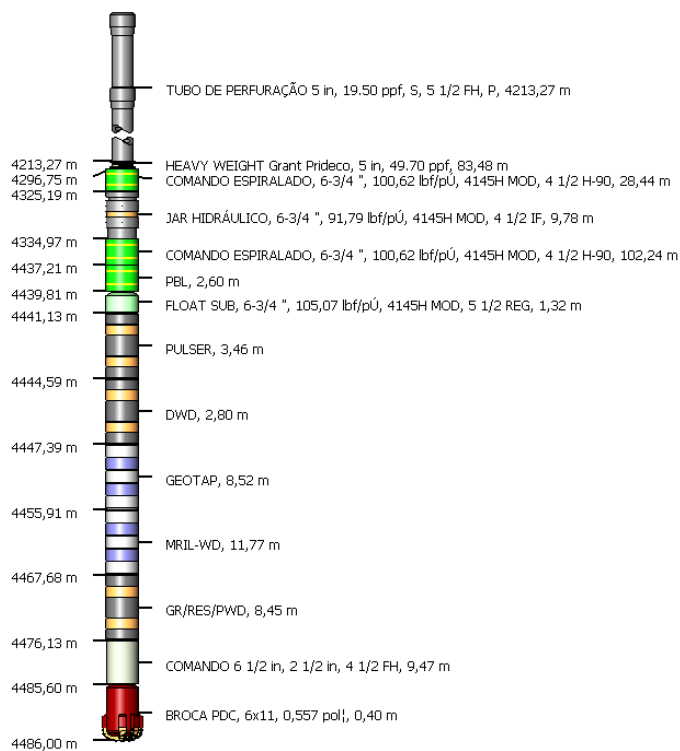


Figura 24: BHA detalhado do poço C (4347-4486 m)

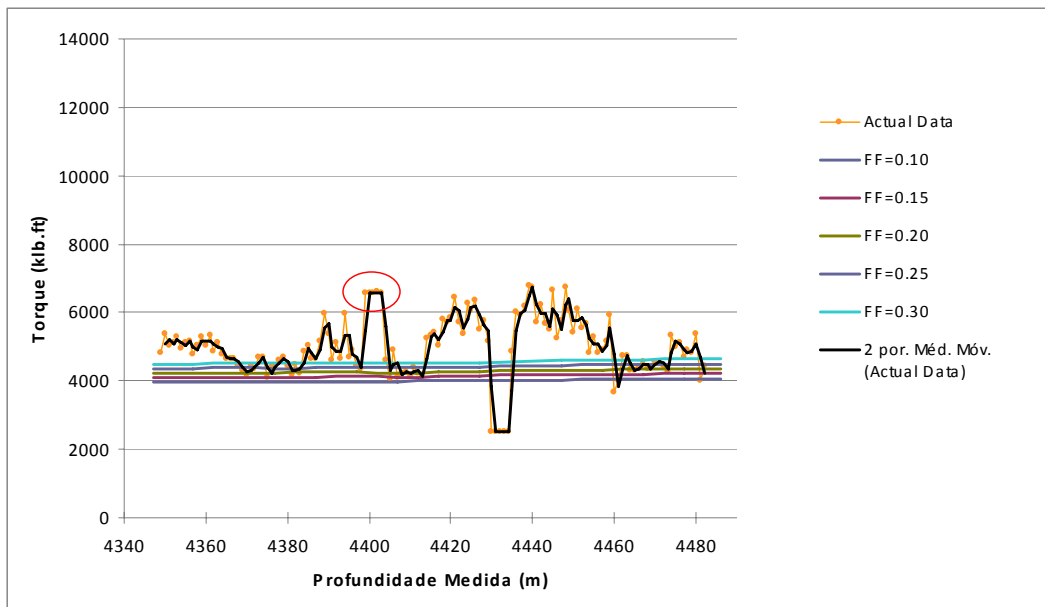


Figura 25: Gráfico de torque x profundidade medida do poço C (4347-4486 m)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0821289/CA

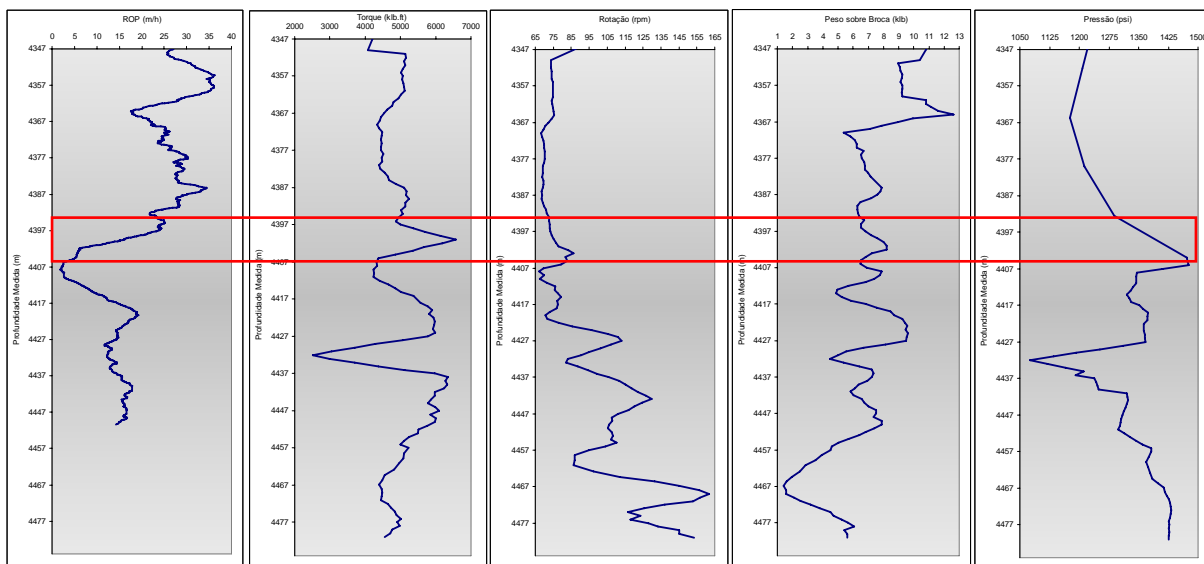


Figura 26: Gráficos de ROP, torque, RPM, WOB e pressão do poço C (4347-4486 m)

Esta seção do poço foi perfurada em uma região de reservatório calcário com fluido sintético de 9,2 ppg e controle no ECD para não ultrapassar 9,7 ppg. Através da análise da figura 26, pode-se observar que no intervalo de 4397 a 4406 m houve um pico no valor do torque (4,3 para 6,5 klb.pé), juntamente com uma quebra na taxa de penetração (de 20-23 para 2 m/h) e uma grande variação na pressão (1300 para 1500 psi) que são indícios da ocorrência de ameaça de prisão durante a perfuração.

Como ações mitigadoras para a ocorrência de prisão da coluna de perfuração recomendam-se:

- Parar a perfuração;
- Repassar intervalo que apresentou restrição;
- Deslocar tampão e circular.

### 7.3.3

#### Dificuldade de Avanço

A dificuldade de prosseguir com a perfuração pode ser influenciada por diversos fatores, dentre os quais, seguem detalhados abaixo os que foram encontrados na análise dos poços.

#### 7.3.3.1

##### Limpeza Deficiente

Poço: B.1

Fase analisada: 8-1/2”

Problema encontrado: limpeza deficiente

Seção do poço: 4232-5084 m

Fluido de perfuração (peso e tipo): 9,2 ppg, aquoso (BIOP+CaCO<sub>3</sub>)

Inclinação máxima: 89°

Litologia da seção: calcilito com folhelho, reservatório calcário (*mudstone*, *grainstone* e *packstone*) com folhelho e margem em pequenas quantidades

BHA: broca 8-1/2” PDC Reed Hycalog M616+ geopilot 7600

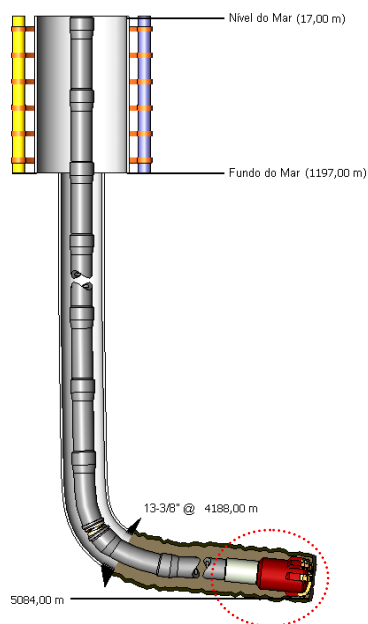
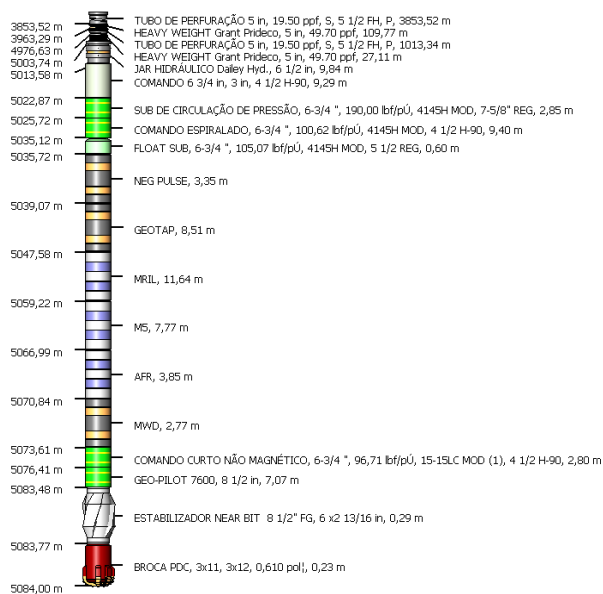


Figura 27: Esquema do poço B.1 (4232-5084 m)



Figuras 28: BHA detalhado do poço B.1 (4232-5084 m)



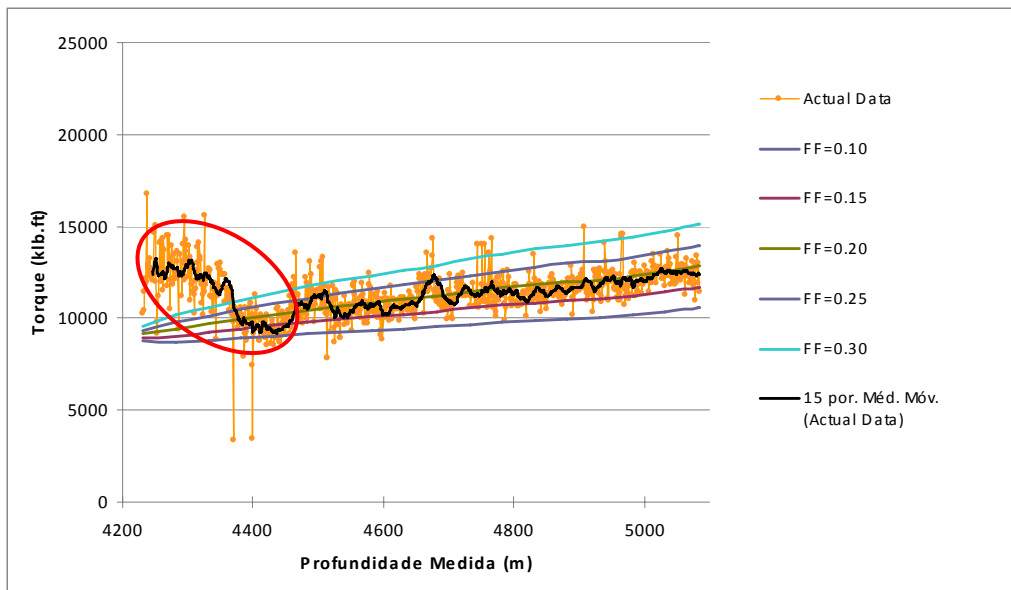


Figura 29: Gráfico do torque x profundidade medida do poço B.1 (4232-5084 m)

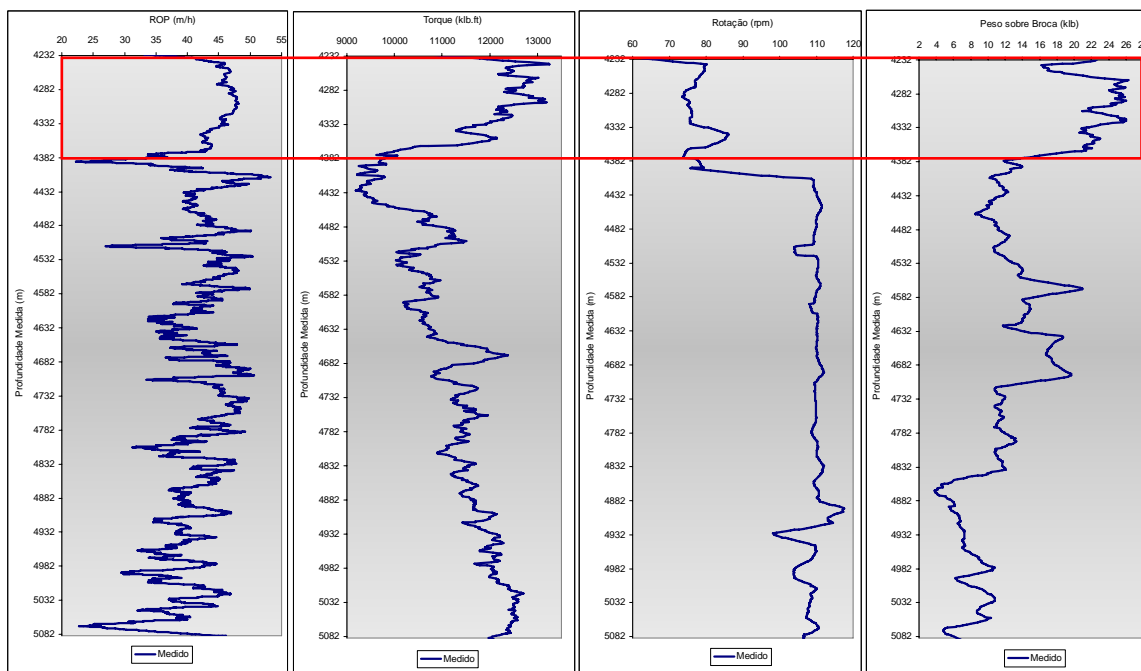


Figura 30: Gráficos de ROP, torque, RPM e WOB do poço B.1 (4232-5084 m)

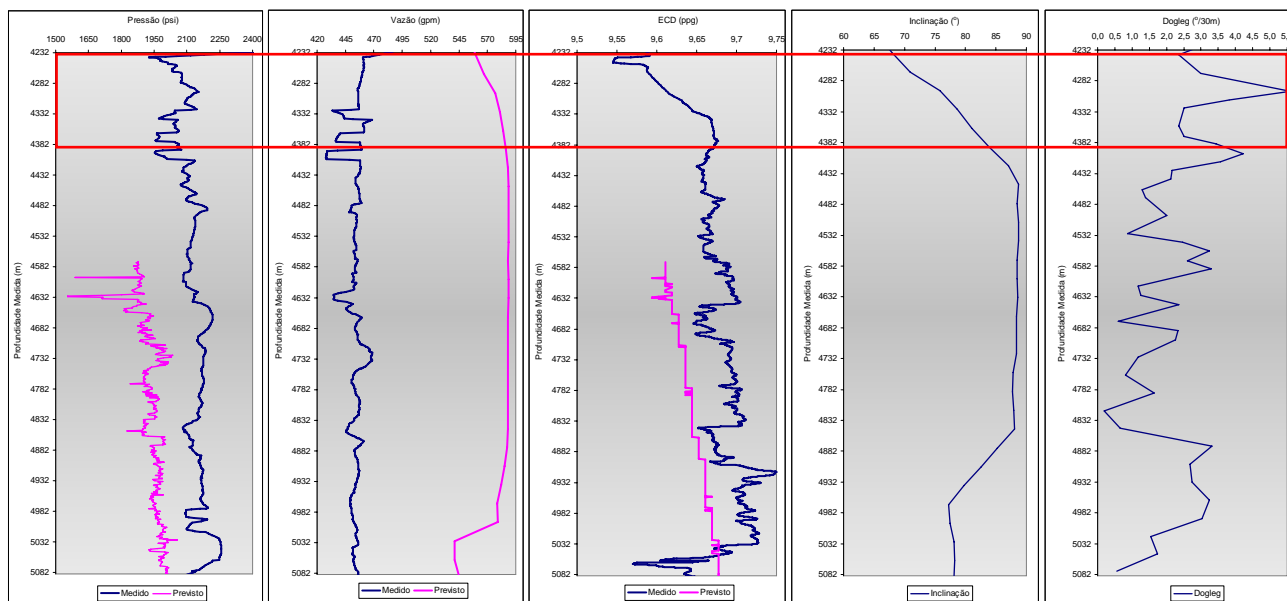


Figura 31: Gráficos dos valores, previsto x medido, de pressão, vazão e ECD, além dos valores de inclinação e *dogleg* medidos do poço B.1 (4232-5084 m)

Através da interpretação das figuras 30 e 31, que mostram as variações dos parâmetros durante a perfuração desta seção do poço, pode-se observar que o intervalo inicial desta perfuração apresenta indícios de limpeza deficiente, pois para uma vazão de entrada de 450 a 460 gpm (menor do que a mínima necessária para limpar o poço) e peso do fluido de perfuração constante de 9,2 ppg, ocorreu um aumento não previsto da pressão em 195 psi (1925 a 2150 psi) e do ECD em 0,07 ppg (9,55 para 9,62 ppg), mesmo não tendo disponíveis os dados iniciais para comprovação. Além disso, ocorreu também um aumento nos patamares da taxa de penetração e do torque de 11 para 13 klb.pé. Este trecho inicial é uma seção de ganho de ângulo chegando à inclinação de 85° e apresentando um elevado *dogleg* de 5,5°/30 m e, por isso, pode ser caracterizado por uma zona propícia a problemas de limpeza deficiente e acúmulo de cascalho no espaço anular. Outro fator que pode confirmar este cenário é o aumento substancial da rotação na coluna de perfuração de 75 para 110 rpm a 4393 m, logo abaixo do trecho destacado na figura 30, a fim de promover uma melhoria na limpeza, uma vez que, estudos da literatura confirmam que poços de alta inclinação têm uma melhor eficiência na limpeza para rotação entre 110 e 120 rpm.

Prosseguindo com a perfuração até o final desta seção do poço (5084 m) não houve registros de outros problemas operacionais, seguindo uma tendência normal com o crescimento do torque variando o fator de fricção de 0,15 a 0,25, *dogleg* controlado em torno de 1,5°/30 m. O ECD esteve elevado durante toda a perfuração, próximo do limite de 9,7 ppg e no final desta seção a, aproximadamente, 5040 m teve uma queda em seu valor para 9,57 ppg após o bombeio de tampão fino e viscoso no poço.

Vale salientar que no exemplo mostrado acima, a seção perfurada foi de 8-1/2", com inclinação de 90° e na zona de reservatório calcário fraturado, tendo a necessidade de controlar o ECD num valor máximo de 9,7 ppg.

Como ações mitigadoras para a ocorrência de limpeza deficiente, recomendam-se:

- Parar a perfuração;
- Bombear tampão viscoso de limpeza de poço;
- Bombear tampão fino para redução do ECD;
- Circular para limpar o poço;
- Aumentar a rotação na coluna de perfuração;
- Realizar manobras fazendo *backreaming*, ou seja, subir ou descer a coluna com rotação e circulação ao mesmo tempo.

### 7.3.3.2

#### Entupimento de jatos

Poço: B

Fase analisada: 14-3/4" x 17-1/2"

Problema encontrado: entupimento de jatos

Seção do poço: 2060-2173 m

Fluido de perfuração (peso e tipo): 9,4 ppg, aquoso catiônico

Inclinação máxima: 1°

Litologia da seção: intercalação de folhelho e marga

BHA: broca 14-3/4" PDC Security DBS M716 + geopilot + alargador 14-3/4"x17-1/2"

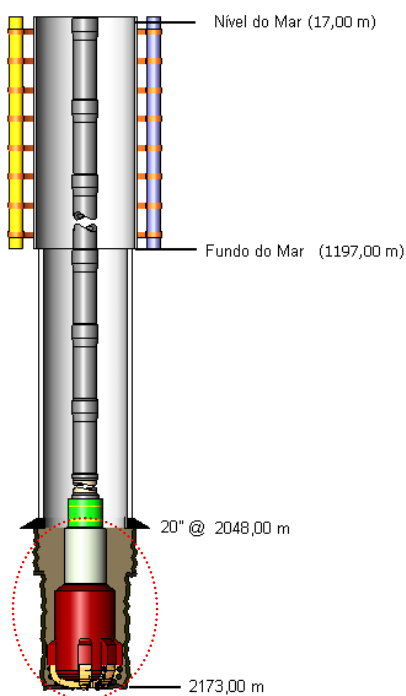
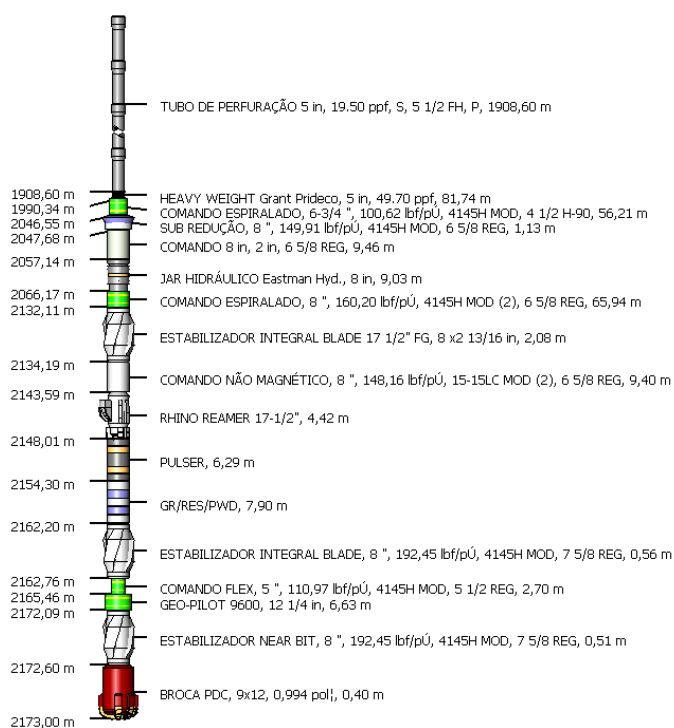


Figura 32: Esquema do poço B (2060-2173 m)



Figuras 33: BHA detalhado do poço B (2060-2173 m)

O problema de entupimentos de jatos foi observado após a retirada da coluna de perfuração, em que quatro dos nove jatos estavam entupidos. No

entanto, não foi possível mostrar através da variação nos parâmetros devido à ausência dos dados de perfuração para esta seção.

### 7.3.3.3

#### Vibração Stick-Slip

Poço: B.1

Fase analisada: 12-1/4"

Problema encontrado: vibração

Seção do poço: 3489-4198m

Fluido de perfuração (peso e tipo): 9,1 ppg, aquoso catiônico

Inclinação máxima: 62°

Litologia: margas, folhelho e calcilutito

BHA: broca 12-1/4" PDC + geopilot 9600

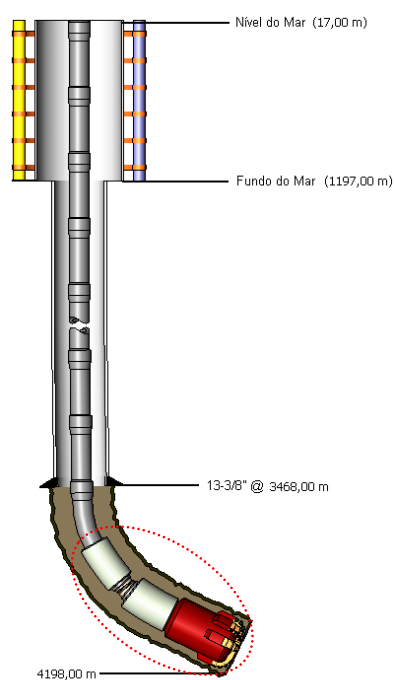


Figura 34: Esquema do poço B.1 (3489-4198 m)

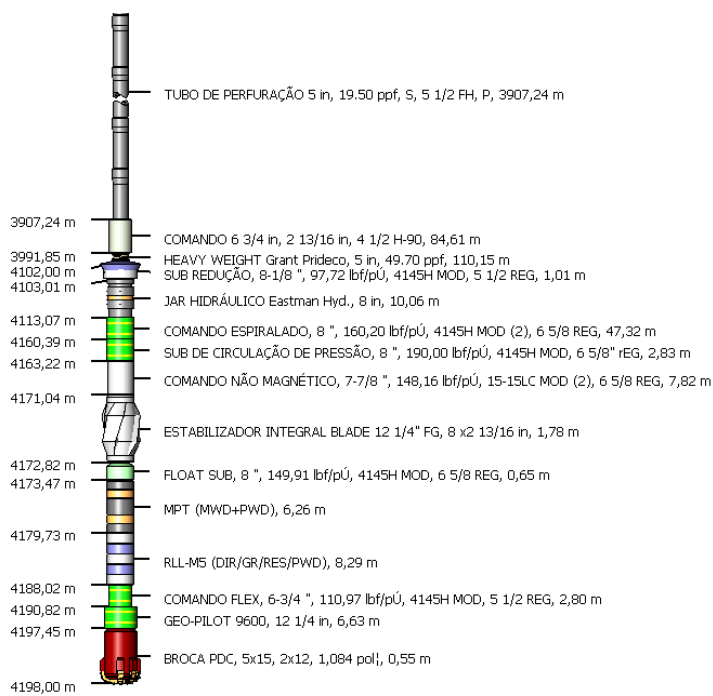


Figura 35: BHA detalhado do poço B.1 (3489-4198 m)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0821289/CA

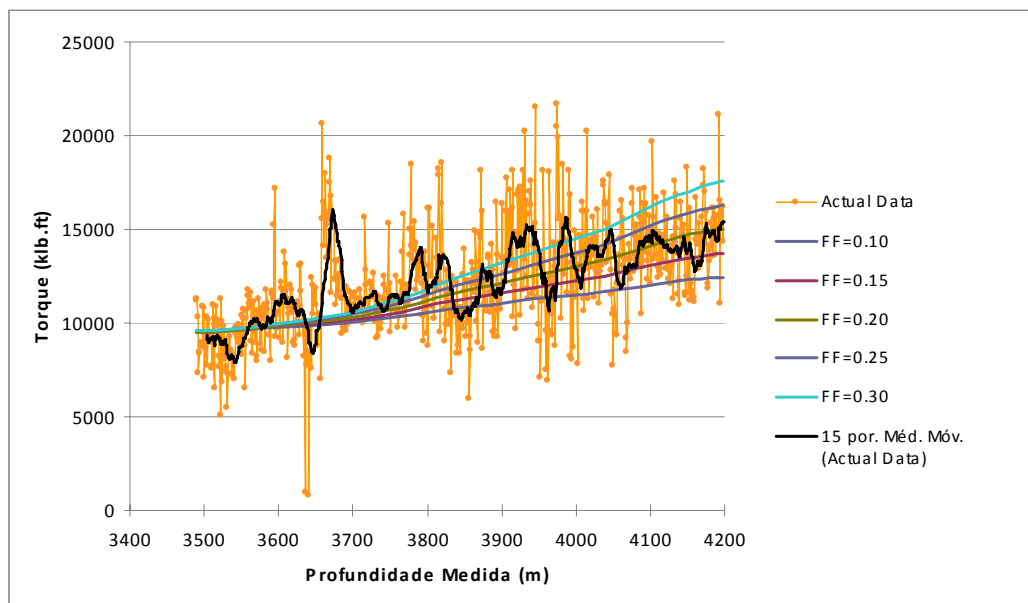


Figura 36: Gráfico de torque x profundidade medida do poço B.1 (3489-4198 m)

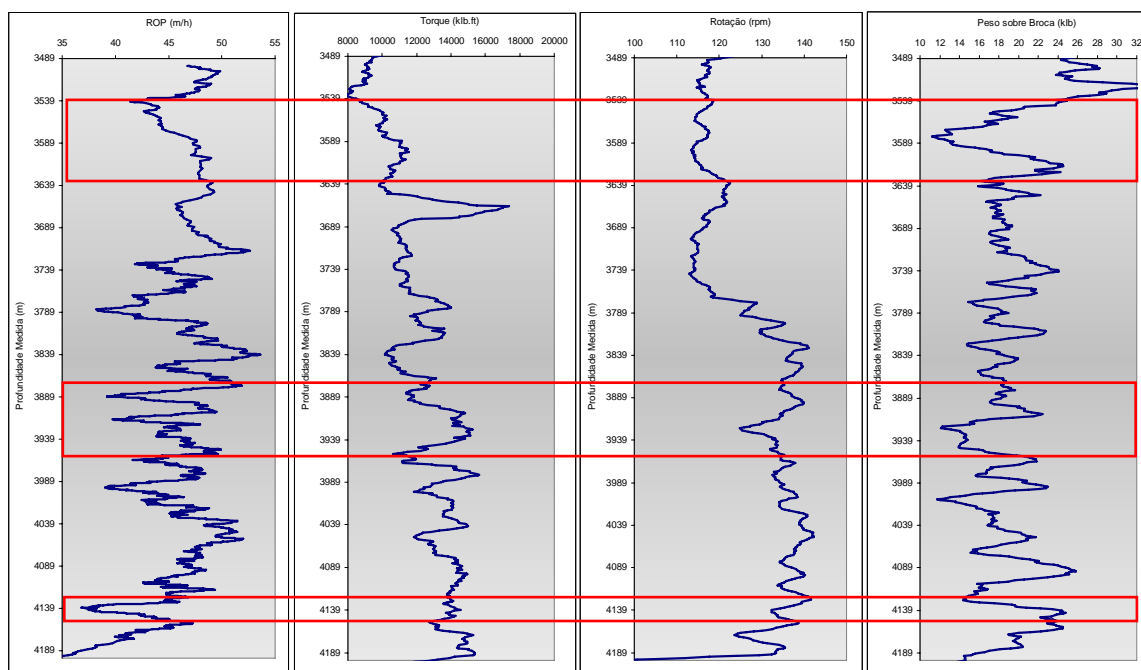


Figura 37: Gráficos de ROP, torque, RPM e WOB do poço B.1 (3489-4198 m)

Esta seção do poço é caracterizada por uma região de intercalações de marga, folhelho e calcilito. Nos trechos destacados acima, no gráfico da figura 37, pode-se observar uma oscilação nos valores do torque e da rotação na coluna de perfuração e também redução na taxa de penetração. Estas oscilações apresentam comportamentos opostos (enquanto um aumenta o outro reduz) e juntamente com a redução da ROP são bons indícios da ocorrência de vibração *stick-slip* na coluna de perfuração.

Além disso, no gráfico da figura 36, de torque pela profundidade medida é possível observar uma oscilação grande nos valores medidos de torque no início e no final do trecho perfurado, o que colabora para a detecção da vibração nos trechos destacados no gráfico da figura 37 como zonas com vibração *stick-slip*.

Vale lembrar que monitorar e identificar vibrações com parâmetros de fundo em relação à profundidade (como foi realizado no trabalho) é muito mais complicado, pois o torque só é registrado a cada metro perfurado. Para um melhor diagnóstico deste tipo de problema o ideal é realizar o acompanhamento com os dados em tempo, uma vez que, é possível observar as oscilações ocorridas no torque e na rotação da coluna sem precisar estar perfurando.

Como ações mitigadoras para a ocorrência de vibração *stick-slip*, recomendam-se:

- Parar a perfuração e levantar um tubo fora do fundo;
- Voltar a perfurar modificando os parâmetros, ou seja, incrementando a rotação na coluna de perfuração e reduzindo o peso sobre a broca;
- Se for o caso, trocar o fluido de perfuração por um com maior lubrificidade.

### 7.3.4

#### Washout

Poço: A

Fase analisada: 12-1/4"

Problema encontrado: washout no tubo de perfuração

Seção do poço: 3465-4222 m

Fluido de perfuração (peso e tipo): 9,3 ppg, sintético

Inclinação máxima: 78°

Litologia da seção: marga, folhelho e calcilito

BHA: broca PDC 12-1/4" smith 616M + geopilot 9600 (figuras 44 e 45 mostradas anteriormente)

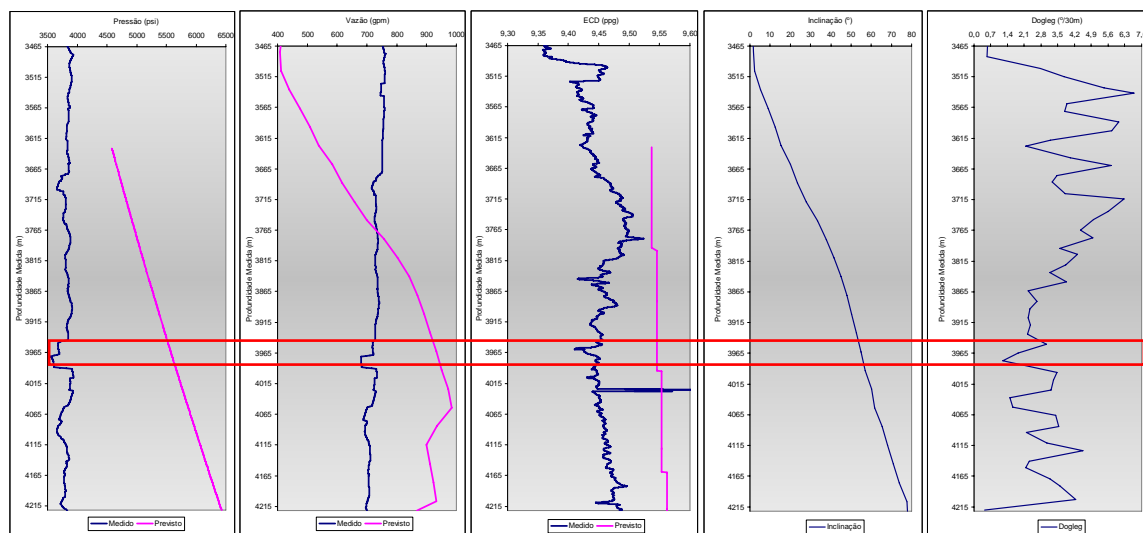


Figura 38: Gráficos dos valores, previsto x medido, de pressão, vazão e ECD, além dos valores medidos de inclinação e *dogleg* do poço A (3465-4222 m)



Através da análise do gráfico da figura 38 foi possível detectar a, aproximadamente, 3945 m uma queda na pressão de 180 psi sem alteração na vazão e uma queda no ECD de 9,45 para 9,4 ppg. Estas ocorrências, juntamente com o fato deste ser um trecho de ganho de ângulo onde se obteve um *dogleg* de até 6,5°/30 m, são claros indícios de ocorrência de *washout* na coluna de perfuração, ou seja, a existência de um furo no tubo de perfuração.

Como ações mitigadoras para a ocorrência de *washouts*, recomendam-se:

- Garantir que todos os componentes da coluna de perfuração estejam inspecionados no nível cinco da norma DS1.

### 7.3.5

#### Dificuldade de Manobra

As causas relacionadas a estes problemas são diversas, tendo algumas delas sido encontradas no presente estudo. No entanto, os dados disponíveis são relacionados à profundidade, sendo somente possível, analisar os desvios ocorridos durante a perfuração. Para conseguir detectar algumas alterações ocorridas durante a manobra é preciso ter acesso aos dados em tempo, o que não foi possível e, portanto, não faz parte do escopo do trabalho.

Durante a retro-análise dos poços através de leituras dos relatórios de perfuração e outras fontes de informação foi possível diagnosticar alguns problemas ocorridos durante as manobras da coluna de perfuração. Apenas para enriquecer didaticamente o presente trabalho estão listados abaixo os principais problemas e suas possíveis causas:

- Poço C.1

Fase analisada: 8-1/2"

Problema encontrado: ameaça de prisão da coluna de perfuração durante manobra e perda de circulação parcial durante a manobra a 4656 m

Seção do poço: 4505-5408 m

Fluido de perfuração (peso e tipo): 9,1 ppg, aquoso (BIOP+CaCO<sub>3</sub>)

Inclinação máxima: 90°

Litologia: reservatório calcário (*grainstone* e *packstone*) com folhelho

BHA: broca PDC full drift Smith M616 + geopilot 7600

Causa: seção perfurada com bastante arraste, limpeza deficiente e ECD elevado. Em dado momento precisou levantar a coluna do fundo para trocar as bombas de lama e ao retornar com a mesma para o fundo do poço ocorreu ameaça de prisão da coluna de perfuração a 4656m (presença de folhelho) e mais a frente após o término da perfuração durante a retirada da coluna de perfuração foi observada perda parcial de fluido para a formação à 4934m devido à indução de pistoneio (*swab*) no poço, favorecido por ser uma zona de reservatório calcário fraturado.

- Poço C.1

Fase analisada: 8-1/2”

Problema encontrado: desmoronamento da formação ocasionando prisão da coluna durante manobra

Seção do poço: 5408-5679 m

Fluido de perfuração (peso e tipo): 9,2 ppg, aquoso (BIOP+CaCO<sub>3</sub>)

Inc. máxima: 90,5°

Litologia: folhelho, reservatcalcário (*packestone e mudstone*)

BHA: broca 8-1/2” PDC full drift Hughes

Causa: instabilidade mecânica da formação. O peso do fluido de perfuração utilizado estava baixo, o que durante a perfuração não apresentava nenhum risco, porém durante a parada da mesma o valor do fluido se aproximou da pressão de colapso e deixando a formação mais instável mecanicamente. Além disso, durante a perfuração ocorre entrada do fluido por trás das fraturas existentes no reservatório calcário, o que favorece o desmoronamento dos blocos da formação durante a manobra da coluna.

- Poço C.2

Fase analisada: 8-1/2”

Problema encontrado: ameaça de prisão de coluna durante a perfilagem no início e no final do trecho

Seção do poço: 4639-4772 m

Fluido de perfuração: 9,0 ppg, aquoso (BIOP+CaCO<sub>3</sub>)

Inc. máxima: 84°

Litologia: reservatório calcário (*packestone, mudstone, wackestone, grainstone*) e folhelho

BHA: broca PDC Hughes M616 + geopilot 7600

Causa: reperfilou o intervalo de 4623 a 4770 m tendo no final pico de torque com ameaça de prisão da coluna de perfuração (zona de folhelho de 4760 a 4780 m). Tentou aprofundar a coluna e repassar sem conseguir devido aos elevados valores de torque e paradas do top drive.

## 7.4

### Perfuração sem Anormalidades

Nesta seção são mostrados exemplos de seções perfuradas que apresentaram comportamento normal. Abaixo seguem dois exemplos de poços perfurados cujas variações apresentadas nos valores de torque foram devido às mudanças litológicas.

- Poço B

Fase analisada: 8-1/2”

Indício: queda do torque e perdas de circulação parciais

Seção do poço: 3507-4956 m

Fluido de perfuração (peso e tipo): 9,3 ppg, aquoso catiônico

Inclinação máxima: 51°

Litologia: marga, folhelho, cacilutito, reservatório calcarenito, sal (anidrita)

BHA: broca 8-1/2” PDC Smith M616 + geopilot 7600

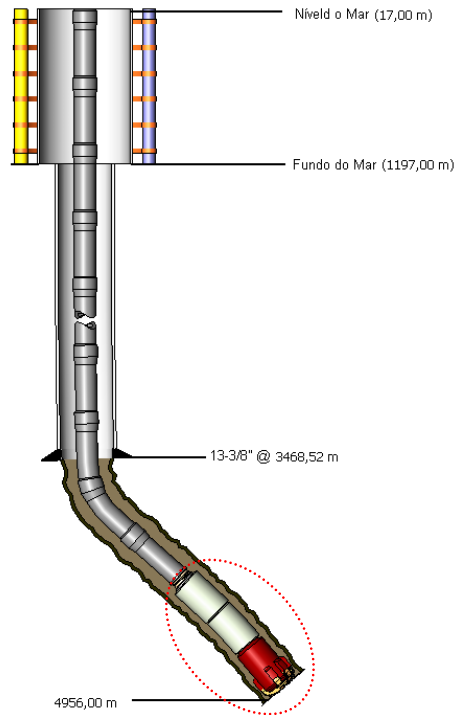


Figura 39: Esquema do poço B (3507-4956 m)

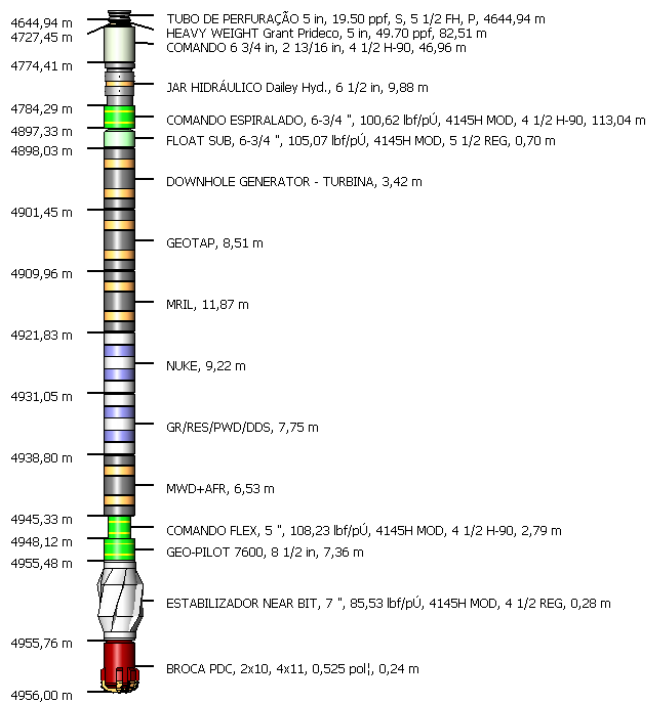


Figura 40: BHA detalhado do poço B (3507-4956 m)

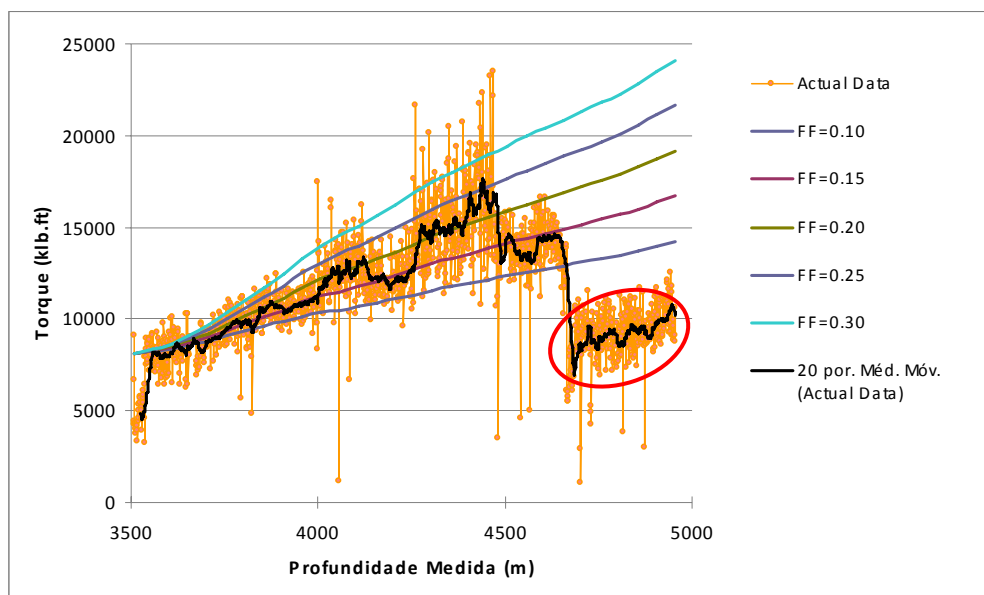


Figura 41: Gráfico de torque x profundidade medida do poço B (3507-4956 m)

O gráfico da figura 41, acima, mostra a perfuração da seção ao longo de formações intercaladas de marga, folhelho e calcilutito até 4250 m, passando para o reservatório calcarenito com folhelho intercalado até 4600 m, tendo dolomita com calcarenito e calcilutito até 4726 m (topo do sal). A perfuração transcorreu normalmente apresentando aumento do valor do torque, medido na superfície durante a rotação da coluna no fundo do poço, com o avanço da profundidade. Porém, no início da perfuração da camada de sal (anidrita) ocorreu uma quebra do torque de 14 klb.pé para 9-10 klb.pé e algumas perdas parciais para a formação foram reportadas.

Para o comportamento normal da perfuração, sem apresentar nenhum problema operacional, pode-se traçar tendências esperadas para o torque e o fator de fricção de acordo com a litologia encontrada, ou seja, para o trecho de intercalações de marga, folhelho e calcilutito o torque variou de, aproximadamente, 8 a 12 klb.pé e o fator de fricção (FF) de 0,15 a 0,20, seguido do trecho de calcarenito com torque de 12-13 klb.pé e FF de 0,20, depois no trecho de folhelho com torque médio de 12 klb.pé e FF de 0,15, no trecho de dolomita e calcarenito com torque de 14-17 klb.pé e FF de 0,20, no trecho de dolomita e calcilutito com torque de 13-14 klb.pé e FF de 0,15 e o sal com queda abrupta abaixo do range estabelecido.

• Poço C

Fase analisada: 16”

Indício: aumento do torque

Seção do poço: 2137-2905 m

Fluido de perfuração (peso e tipo): 9,4 ppg, sintético

Inclinação máxima: 1°

Litologia: marga com folhelho, areia e calcilutito

BHA: broca 16” PDC Smith + motor de fundo

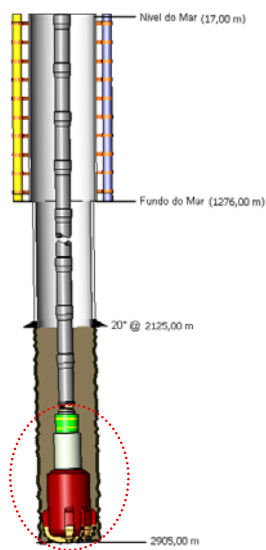


Figura 42: Esquema do poço C (2137-2905 m)

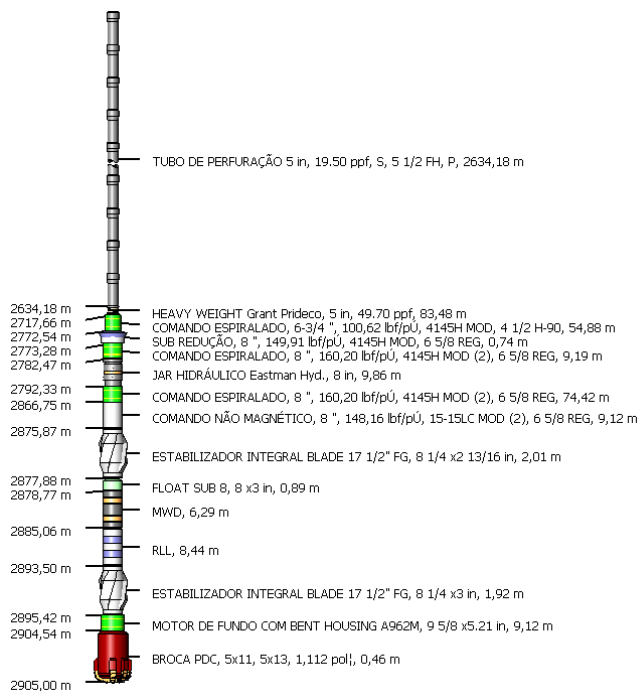


Figura 43: BHA detalhado do poço C (2137-2905 m)

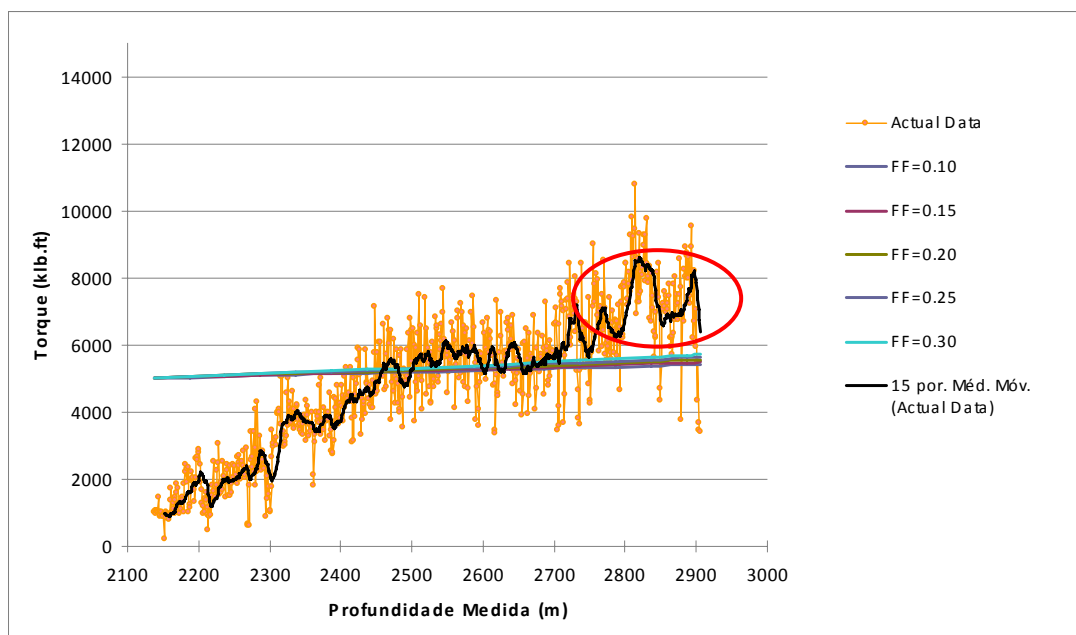


Figura 44: Gráfico de torque x profundidade medida do poço C (2137-2905 m)

A partir do gráfico da figura 44 e dos relatórios do poço, a perfuração desta seção até 2500 m ocorreu com taxa de penetração controlada (trecho de margas intercalado com folhelho). A partir de 2500 m, a perfuração continuou sem controle algum da taxa de penetração, transcorrendo normalmente, porém com dificuldades de limpeza do poço. Percebe-se que o valor do torque aumenta com a profundidade (comportamento esperado em uma operação normal de perfuração) quando a 2732 m teve início o trecho de areia, perfurado até 2757 m e foi observado um aumento do torque de 6 para 7 klb.pé e paradas do top drive. A partir de 2757 m, até o final da perfuração a 2905 m encontrou margas (2757 a 2846 m), calcilutito (2846 a 2860 m) e folhelho com margas (2860 a 2905 m) e o torque apresentou um aumento ainda maior até 8 klb.pé, estolando o motor a 2761 m.

Por ser um trecho vertical não é possível identificar a tendência das curvas dos fatores de atrito, pois as mesmas não apresentam nenhuma variação praticamente.

## 7.5

### Relação Causa-Efeito dos Problemas Operacionais

Após a retro-análise dos poços em estudo e o diagnóstico dos problemas operacionais ocorridos durante a perfuração dos mesmos foi realizado um mapeamento das variações ocorridas nos parâmetros de perfuração que representam possíveis indícios da ocorrência de cada uma das anormalidades.

Além disso, foram listados também alguns fatores, que quando presentes em cada um dos tipos de problemas mapeados contribuem para a ocorrência dos mesmos.

Como forma de enriquecimento do presente trabalho estão apresentadas outras anormalidades que podem ocorrer, mas não foram diagnosticadas. Segue abaixo a tabela 5 de causa-efeito obtida a partir de conversas com profissionais da área e o relato de suas experiências de campo.

Tabela 5: Relação causa-efeito de possíveis problemas operacionais que podem ocorrer durante a perfuração de poços

Indício (efeito)	Fator de Contribuição	Problema Operacional (causa)
Vazão + MW + Nível Fluido Anular constantes Pressão ↓ ECD ↓ Volume de retorno na superfície ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença de formação permeável ou falhas não selantes;</li> <li>• Reservatório fraturado ou depletado;</li> <li>• ECD alto;</li> <li>• MW elevado.</li> </ul>	Perda de circulação: <b>Parcial</b>
Vazão Entrada + MW constantes Pressão ↓ ECD ↓ Nível Fluido Anular ↓ Volume de retorno na superfície = 0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença de formação permeável ou falhas não selantes;</li> <li>• Reservatório fraturado ou depletado;</li> <li>• ECD alto;</li> <li>• MW elevado.</li> </ul>	Perda de circulação: <b>Total</b>
Vazão + MW constantes Torque ↑ (pico) Arraste ↑ (pico)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença de Formação permeável;</li> <li>• Filtrado elevado;</li> <li>• Presença de reboco</li> </ul>	Prisão da Coluna de Perfuração por: <b>Diferencial de Pressão</b>



RPM=0 Tração axial ↑	espesso permeável; • Grande variação na Pressão; • ECD elevado.	
Vazão + MW + RPM constantes Pressão ↑ Torque ↑ Arraste ↑ Restrição da circulação (não zero)	• Peso e reologia de fluido inadequado; • Acúmulo de cascalhos no anular.	Prisão da Coluna de Perfuração por: <b>Desmoronamento da Formação</b>
Vazão + MW + RPM + Circulação constantes Torque ↑ Peso no gancho – tração axial tem aumento abrupto durante a retirada da coluna ↑	• Presença de chavetas; • Trecho de elevado <i>dogleg</i> ; • Cáliper irregular; • Perfuração de formações muito duras com a presença de formação mole logo acima.	Prisão da Coluna de Perfuração por: <b>Chaveta</b>
Vazão + MW + RPM constantes Pressão ↑ Torque ↑ Arraste ↑ Circulação (ECD) = 0	• Má limpeza do poço; • Desmoronamento da formação; • Excessiva ROP; • Trechos de alta inclinação.	Prisão da Coluna de Perfuração por: <b>Pack Off</b>
Vazão + MW constantes Pressão ↑ ECD ↑ Torque ↑ Arraste ↑ Volume de cascalhos retornando na superfície ↑	• Trajetória do poço com alta inclinação (> 45o); • Fluido com reologia inadequada; • Combinação do limite dos equipamentos da sonda + diâmetro da fase + profundidade (caso de fases intermediárias, ou seja, 12-1/4”, 14-3/4”).	Dificuldade de avanço da perfuração devido a: <b>Limpeza Deficiente</b>
Vazão + MW constantes Pressão ↑ ECD ↓	• Presença de formações argilosas (folhelho e marga); • Utilização de fluido base água pouco inibido;	Dificuldade de avanço da perfuração devido o: <b>Enceramento de Broca</b>

ROP↓(quebra do ROP) Torque↓ Arraste↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa ou insuficiente potência na broca (HSI).</li> </ul>	
Vazão + MW + ECD constantes Pressão↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença de motor de fundo na coluna de perfuração;</li> <li>• Coluna de tubo de perfuração em mal estado de conservação;</li> <li>• Presença de carepas no interior dos tubos de perfuração;</li> <li>• Ausência de <i>float valve</i> no BHA para evitar fluxo reverso durante a parada de bombeio.</li> </ul>	Dificuldade de avanço da perfuração devido o: <b>Entupimento de Jatos</b>
Vazão + MW + ROP constantes Pressão↑ ECD ↑ Torque↑ Arraste↑ Diâmetro do poço↑(cáliper sônico) Volume de cascalho retornando na superfície↑ Cascalhos em formato grande	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença de formação (micro) fraturada (equalização das pressões em torno das fraturas);</li> <li>• Presença de formações instáveis quimicamente (ex: hidratação de argilas e folhelhos);</li> <li>• Presença de formação instável mecanicamente (ESD/ECD superior à pressão de colapso superior).</li> </ul>	Dificuldade de avanço da perfuração devido o: <b>Desmoronamento da Formação</b>
Torque↕(oscilando) RPM ↕(oscilando) ROP↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intercalações de formações moles e duras;</li> <li>• Utilização de brocas agressivas (cortadores de grande comprimento).</li> </ul>	Dificuldade de avanço da perfuração devido a: <b>Vibração <i>Stick-Slip</i></b>
MW + Vazão constantes Pressão↓ RPM↓(turbina ou do motor de fundo do LWD) ECD↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Dogleg</i> elevado (&gt; 4°/30m);</li> <li>• Formações abrasivas;</li> <li>• Corrosão por CO<sub>2</sub>/ H<sub>2</sub>S;</li> <li>• Pobre programa de inspeção.</li> </ul>	<b>Washout</b> (por furo na coluna ou perda dos jatos da broca)