

## 4 Metodologia para Determinar a Resistência das Rochas à Perfuração

Este capítulo tem por finalidade apresentar a metodologia usada com o modelo ROP de broca PDC para determinar a resistência das rochas à perfuração e mostrar uma aplicação para dois poços de uma bacia sedimentar brasileira.

Informações referentes aos nomes e profundidades dos poços e das formações atravessadas durante a perfuração são de caráter confidencial e não são divulgados neste trabalho.

### 4.1. Breve Descrição do Poço PUC-1 e Cálculo da Resistência da Rocha à Perfuração.

Como se observa na Figura 4.1 o poço-1 (PUC-1) apresenta uma trajetória direcional. Este poço foi perfurado com um sistema Rotary Steerable (Geopilot da Halliburton).

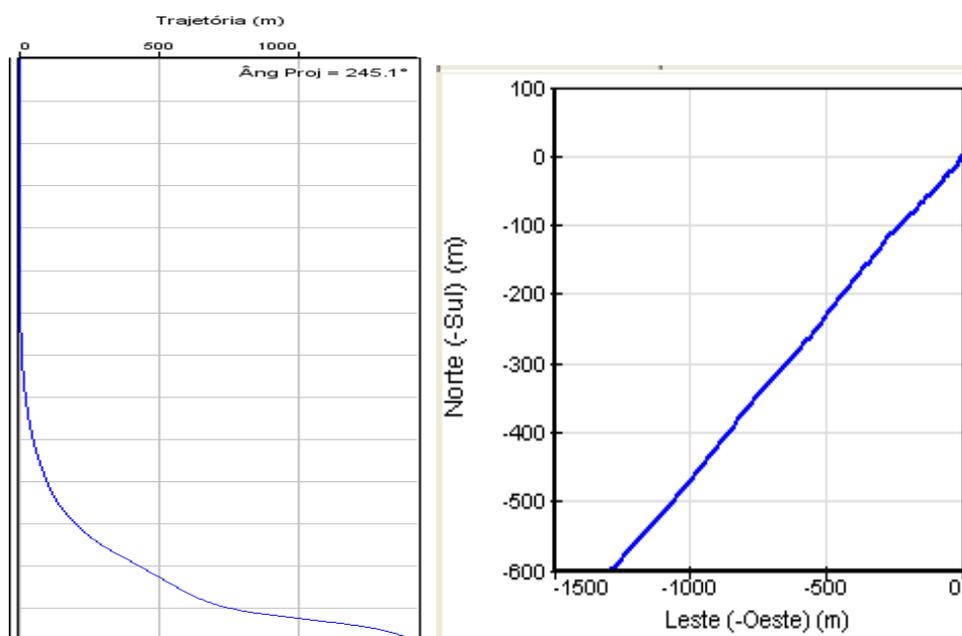


Figura 4.1. Trajetória do poço PUC-1. (Tirada do SEST Software do GTEP-PETROBRAS).

Na Figura 4.2 se apresentam: a taxa de perfuração (ROP) em metros por hora (m/hr), o peso sobre a broca (WOB) em kilolibras (klbs), a taxa de rotação da coluna (RPM) em revoluções por minuto (rpm), e o torque em libras por pés (lbs-ft), para a seção de 12 ¼ " (31,115cm) registrados metro a metro:

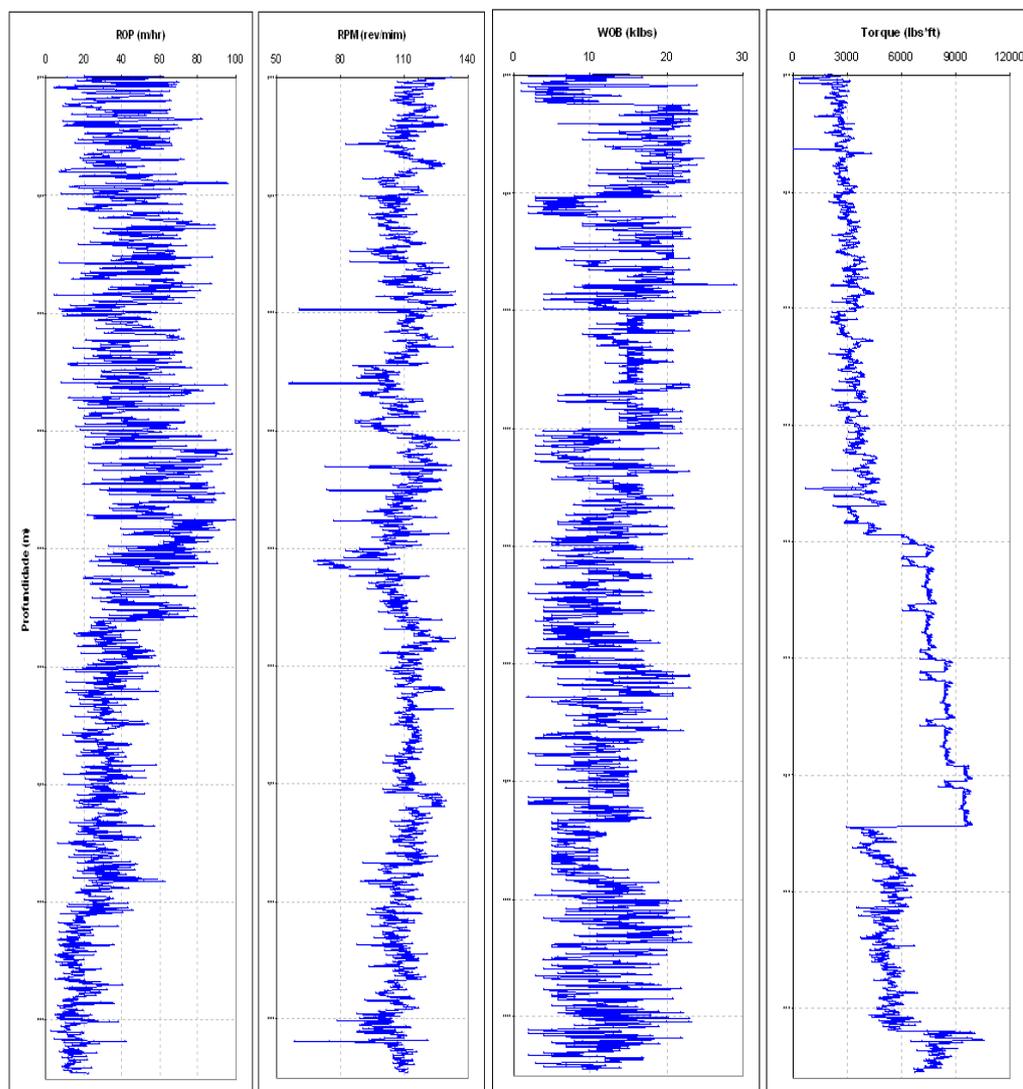


Figura 4.2. Parâmetros operacionais medidos na perfuração da fase 12 ¼" do poço PUC-1.

A avaliação da broca em termo de desgaste ao perfurar todo o intervalo foi qualificada como reutilizável (RR) e sem desgaste na estrutura dos cortadores (0-0). Desta forma, o modelo da broca PDC (equação 2.21) pode ser utilizado para obter o perfil de resistência da rocha in situ à perfuração. Este perfil é chamado também como ASRL, perfil de resistência aparente da rocha (Hareland et al., 1997).

Além dos parâmetros operacionais é requerida informação específica do desenho da broca a qual neste caso foi disponibilizada pela HALLIBURTON.

As características da broca (Figura 4.3) utilizada para perfurar toda a seção do PUC-1 são as seguintes:

Security DBS Drill Bits:

Código IADC : M323

Tipo de corpo: Matriz.

Numero de cortadores: 63 (48 na face).

Diâmetro dos cortadores: 16 mm

Ângulo de back rake: 22 graus meio.

Ângulo side rake 3 graus meio.



Figura 4.3. Tipo de broca utilizada para perfurar o poço PUC-1.

Na Figura 4.4 é apresentado um fluxograma que esquematiza os passos da metodologia seguida para o cálculo do perfil de resistência da rocha à perfuração e as informações requeridas para esse fim. Para os poços sob estudo os passos seguidos foram: se calculou a área projetada na frente dos cortadores ( $A_v$ ), com a equação 2.21, logo com o valor (de  $A_v$ ) e as informações dos ângulos de back rake e side rake se determinada a penetração do cortador (P) usando a equação 2.20(b) por tentativa e erro. Tendo-se determinado a penetração do cortador, se calcula a área projetada ( $A_p$ ) e por fim a resistência aparente da rocha (S) para cada profundidade.

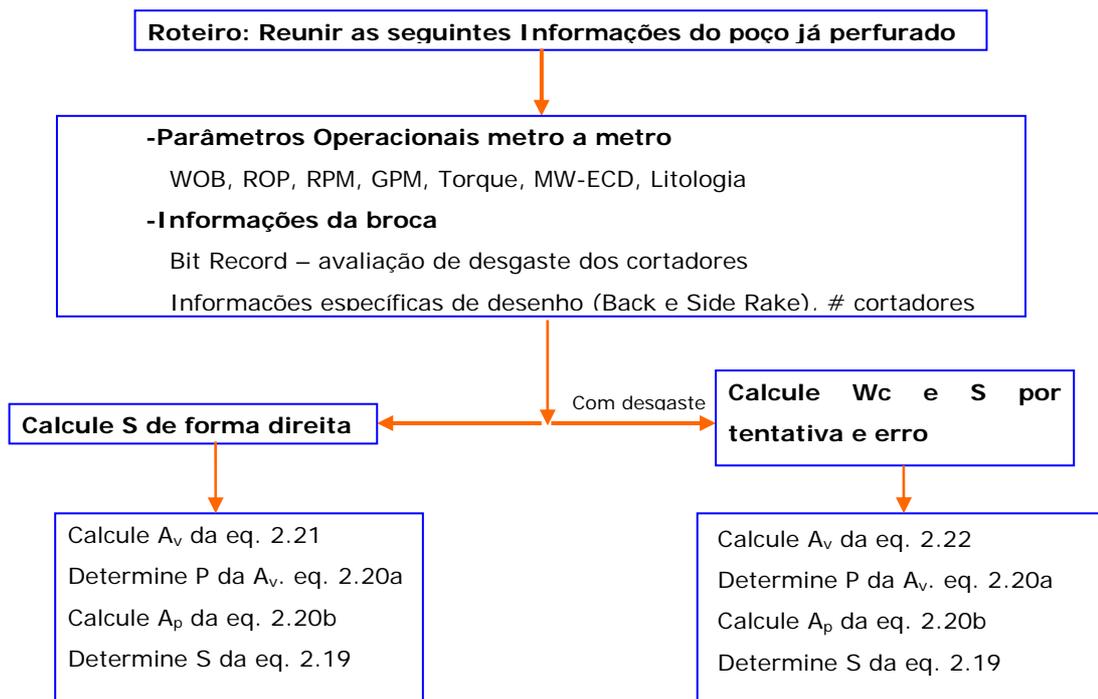


Figura 4.4. Fluxograma de trabalho para a geração do perfil de resistência à perfuração.

Na Figura 4.5 é apresentado o perfil da resistência da rocha à perfuração determinado dos parâmetros operacionais e do modelo de broca PDC. Neste perfil se observam valores de resistência à perfuração de 2 MPa até 60 MPa com média de 20MPa que indicaria a presença de uma rocha branda caso a resistência à perfuração ( $S$ ) se correlacionasse de forma direta com a resistência compressiva não confinada UCS.

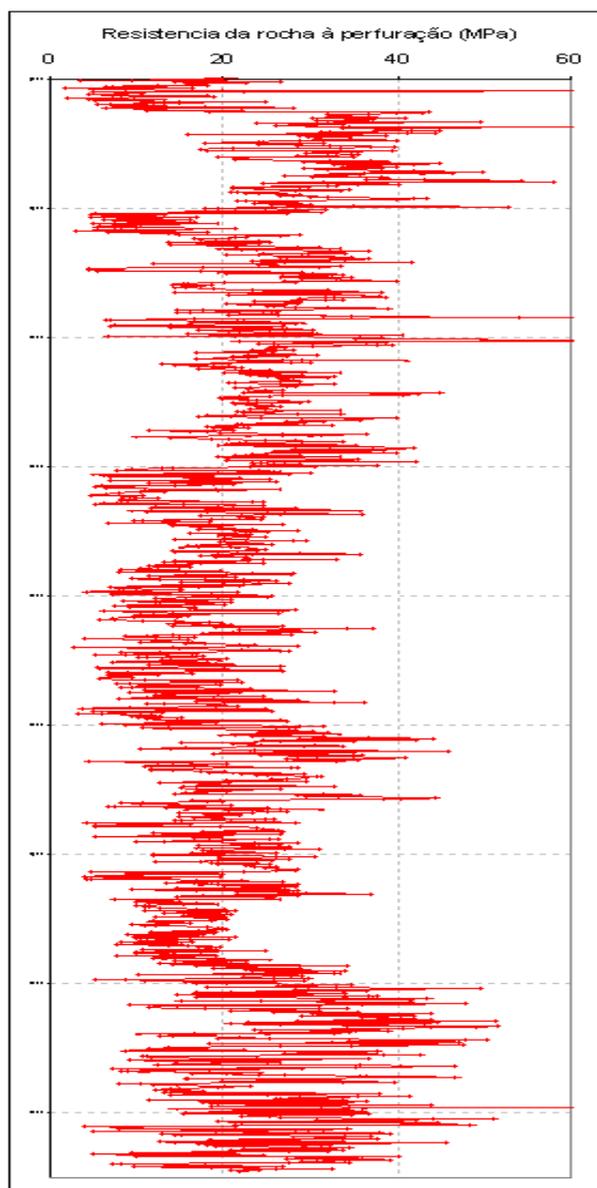


Figura 4.5. Perfil de resistência (MPa) aparente da rocha calculado para PUC-1.

#### 4.2.

#### Breve descrição do poço PUC-2 e Cálculo da Resistência da Rocha à Perfuração.

O poço PUC-2 apresenta características similares às do poço PUC-1, tanto nas litologias perfuradas quanto na configuração das fases das seções da perfuração. Para este poço, se seguiu um procedimento similar ao adotado para o poço PUC-1 para calcular a resistência da rocha à perfuração (da fase de 12 ¼"). Como se apresenta na Figura 4.6 o poço PUC-2 tem uma trajetória similar ao poço PUC-1, mas um azimute completamente diferente. Também foi perfurado com um sistema Rotary Steerable (Autrotrack da Baker Hughes).

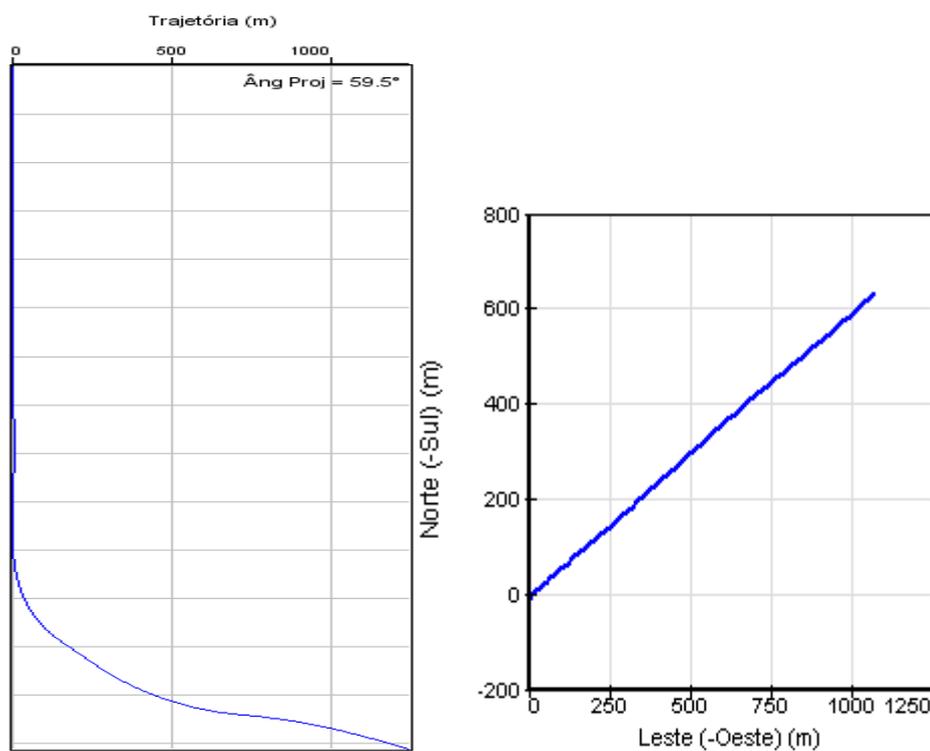


Figura 4.6. Trajetória do poço PUC-2 (Tirada do SEST Software do GTEP-PETROBRAS).

Na Figura 4.7 se mostram os parâmetros operacionais (ROP, WOB, RPM, Torque) utilizados para perfurar a seção 31.115cm (12 ½") registrados metro a metro.

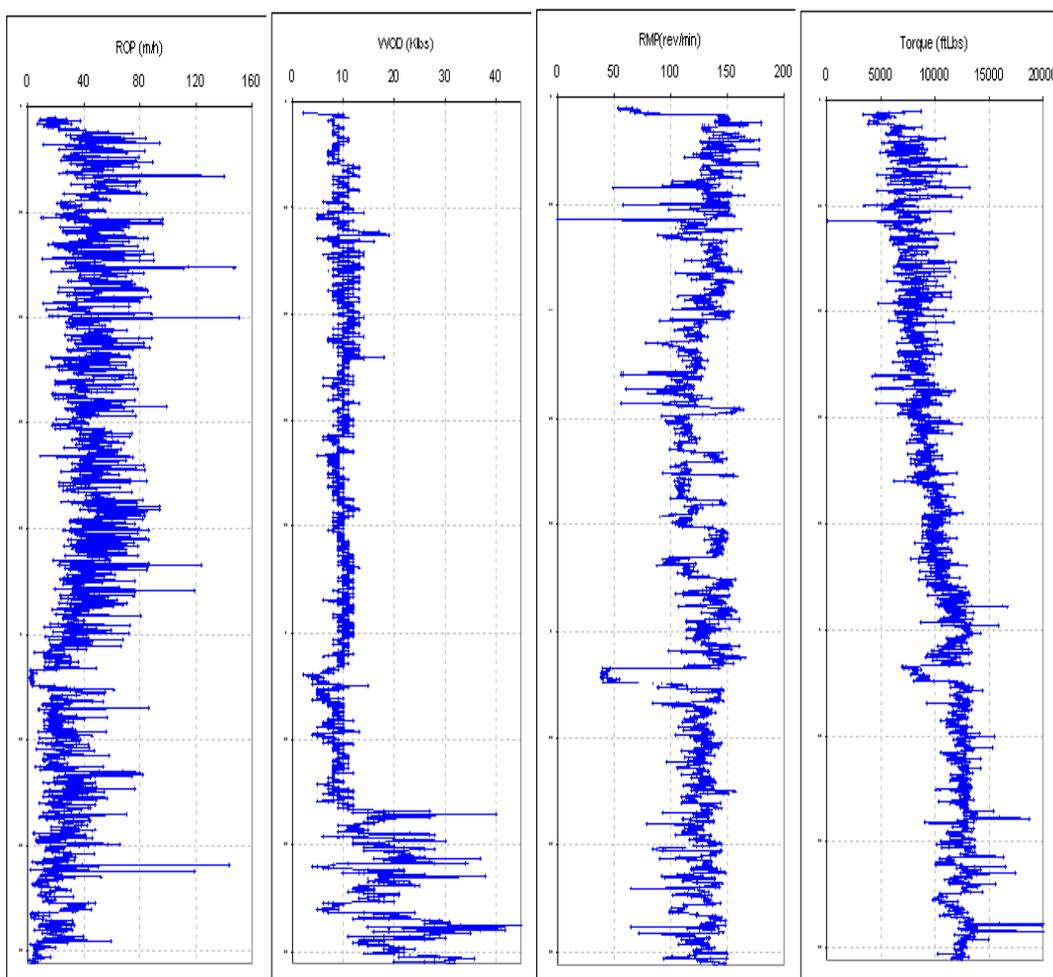


Figura 4.7. Parâmetros operacionais do poço PUC-2

A avaliação da broca utilizada para perfurar a fase sob estudo em termo de desgaste ao perfurar todo o intervalo foi qualificada como reutilizável (RR) e sem desgaste na estrutura dos cortadores (0-0). Como no caso anterior, o procedimento de cálculo seguido foi o mesmo do descrito para o poço PUC-1 e resumido no fluxograma da Figura 4.4.

As características da broca utilizada para perfurar toda a seção do poço PUC-2 são as seguintes:

Numero de cortadores: 63 (48 na face).

Diâmetro dos cortadores: 16 mm

Ângulo de back rake: 22 graus meio (recomendado).

Ângulo side rake 3 graus meio (assumido).

Na Figura 4.8 é apresentado o perfil da resistência à perfuração determinado dos parâmetros operacionais e o modelo de broca PDC para o poço

PUC-2. Neste perfil de resistência se observam valores num range de 3 MPa até 80 MPa com uma média de 20MPa.

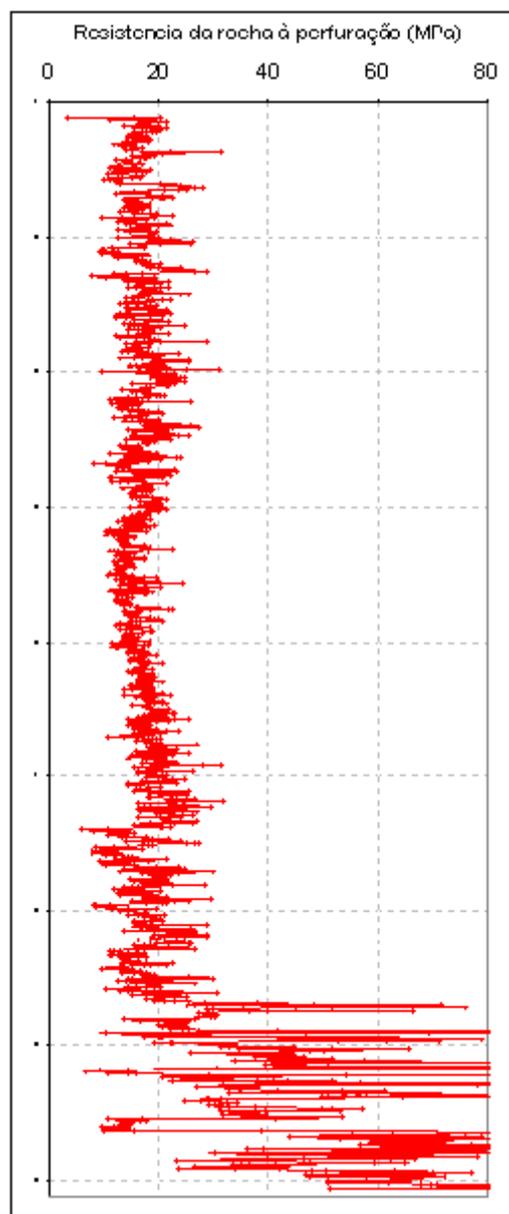


Figura 4.8. Perfil de resistência aparente da rocha (MPa) calculado com os parâmetros operacionais do poço PUC-2.

### 4.3.

#### Comparação dos Parâmetros Operacionais e dos Perfis de Resistência à Perfuração Calculados para os Poços PUC-1 e PUC-2.

Na Figura 4.9 são apresentados os parâmetros operacionais usados nos dois poços PUC-1 (em azul) e PUC-2 (em vermelho) nota-se uma diferença apreciável nos parâmetros operacionais WOB e RPM utilizados para a perfuração dos dois poços. No poço PUC-1 o peso sobre a broca (WOB) foi bastante maior em quase todo o intervalo perfurado só se alterando no trecho final do poço. Já para a taxa de rotação da coluna/broca (RPM), verifica-se que o poço PUC-2 manteve taxas maiores de RPM comparadas às do poço PUC-1. Observa-se, entretanto que a resposta a estes parâmetros, isto é, a ROP, é bastante parecida para os dois poços.

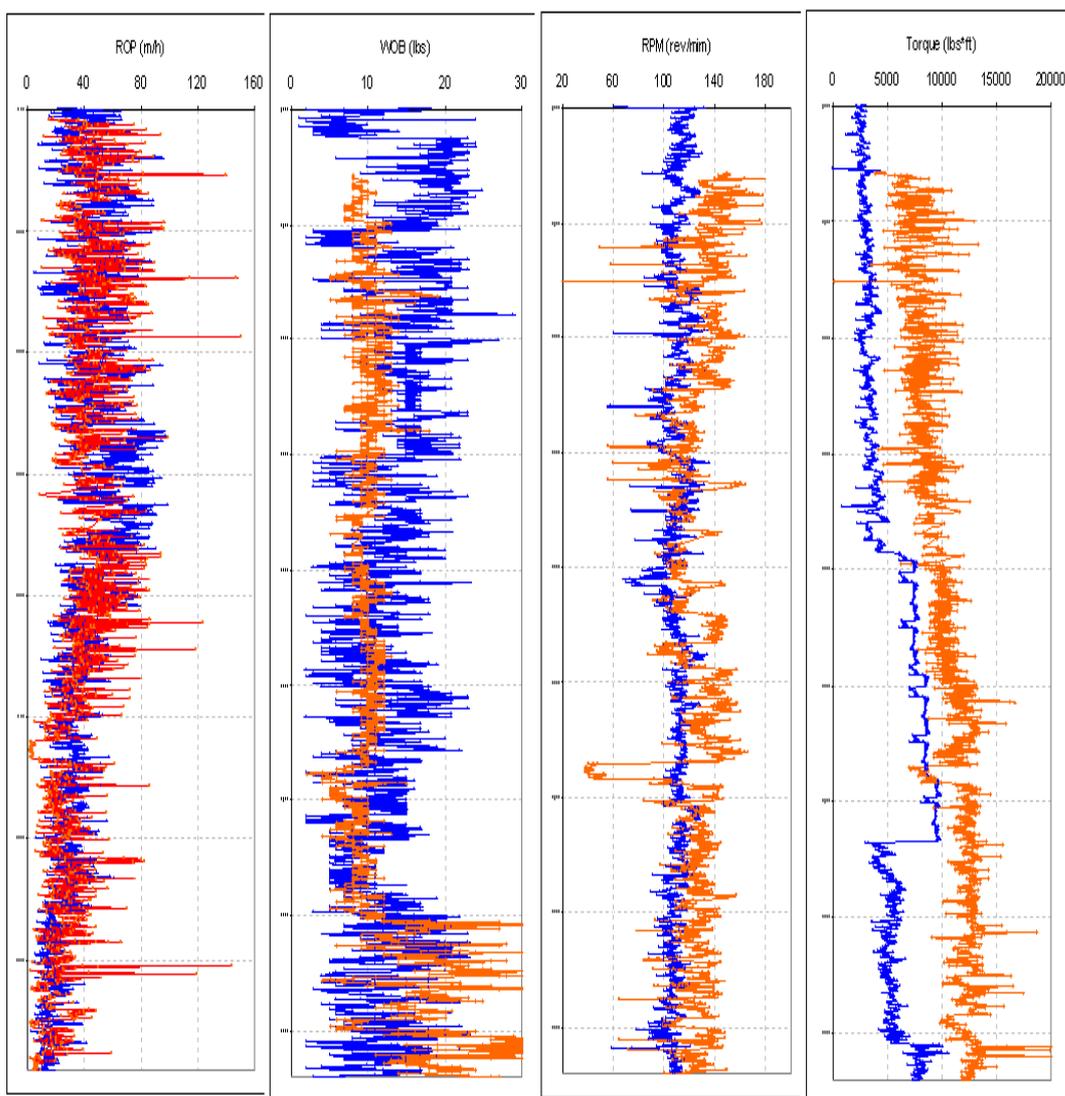


Figura 4.9. Comparação dos parâmetros operacionais dos poços PUC-1 e PUC-2

Na Figura 4.10 é apresentada uma comparação desta vez para os perfis de resistência da rocha à perfuração calculados para os dois poços sob estudo. Em geral observam-se valores de resistência muito similares. No trecho final dos perfis nota-se uma marcada diferença com o poço PUC-2 apresentando rochas de maior resistência à perfuração. Os resultados são bastante satisfatórios deixando entrever o verificado em poços no Mar do Norte e no Canadá para o planejamento/otimização da perfuração de um novo poço. Isto é, uma vez que se conta com os perfis de resistência à perfuração dos poços de correlação ao poço projeto pode-se aplicar uma metodologia que permita selecionar a melhor combinação de WOB-RPM. Essa metodologia com os objetivos de gastar um menor tempo na perfuração como um baixo desgaste da broca para o intervalo de interesse.

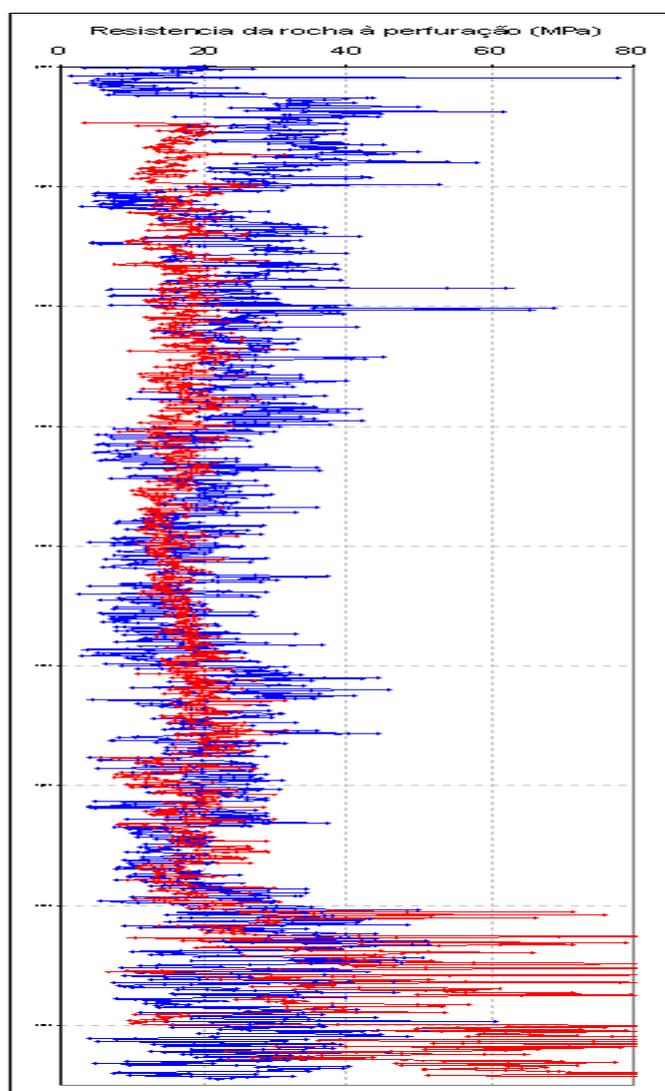


Figura 4.10. Comparação dos perfis de resistência aparente da rocha calculados para os poços PUC-1 e PUC-2, os quais são do mesmo campo.