



Bruno Romanelli Menechini Esteu

**Clusterização de dados de vibração na perfuração de
poços de petróleo através de redes neurais não
supervisionadas**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de
Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

Orientador : Prof. Arthur Martins Barbosa Braga

Rio de Janeiro
Abril de 2014



Bruno Romanelli Menechini Esteu

Clusterização de dados de vibração na perfuração de poços de petróleo através de redes neurais não supervisionadas

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Arthur Martins Barbosa Braga

Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica – PUC-Rio

Prof. João Carlos Ribeiro Plácido

Departamento de Engenharia Mecânica – PUC-Rio

Prof. Luiz Alberto Santos Rocha

CCE – PUC-Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 15 de Abril de 2014

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Bruno Romanelli Menechini Esteu

Graduou-se em Engenharia de Produção no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca do Rio de Janeiro – CEFET-RJ (2006). Pós-graduado em Engenharia de Petróleo na Federação de Apoio ao CEFET - FUNCEFET-RJ (2009). Mestre em Engenharia Mecânica com ênfase em Petróleo e Energia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RJ (2014). Trabalhou como LWD/MWD na Baker Hughes (2008-2011). Atua como consultor de perfuração na Landmark/Halliburton desde 2011.

Ficha Catalográfica

Esteu, Bruno Romanelli Menechini

Clusterização de dados de vibração na perfuração de poços de petróleo através de redes neurais não supervisionadas / Bruno Romanelli Menechini Esteu; orientador : Arthur Martins Barbosa Braga - 2014.

104 f.: il. (color) ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, 2014.

1. Engenharia Mecânica – Teses 2. Perfuração 3. Vibração 4. Clusterização 5. Redes neurais não supervisionadas. I. Braga, Arthur Martins Barbosa. II Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Mecânica. III. Título.

CDD:621

Dedico este trabalho as pessoas que tiveram papel especial na minha vida : minha
mãe Clarice, meu pai Fernando, a minha esposa Cecília e aos meus amigos.

Agradeço pelo apoio, carinho e amor.

Agradecimentos

A Deus por sempre prover saúde, paz e muitas alegrias.

A minha família pelo apoio e entendimento pelas ausências durante tanto tempo ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A minha noiva pelo companheirismo, paciência, carinho, amor e toda a conquista durante estes 6 anos de relacionamento.

Ao professor e orientador Arthur Braga pelas horas dedicadas ao auxílio e direcionamento ao longo do mestrado.

Aos amigos e demais familiares que tiveram seu papel nesta etapa cumprida de minha vida.

A universidade PUC-Rio e ao CNPq, pelos auxílios concedidos e por ter me concedido a oportunidade de estudo nesta instituição.

Grato a todos.

Resumo

Esteu, Bruno Romanelli Menechini; Braga, Arthur Martins Barbosa (Orientador) . **Clusterização de dados de vibração na perfuração de poços de petróleo através de redes neurais não supervisionadas** . Rio de Janeiro, 2014. 104p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A perfuração de poços de petróleo em águas profundas tem como objetivo atingir o melhor ponto de extração de óleo e gás natural presentes em reservatórios a alguns milhares de metros no fundo do mar. Um melhor entendimento da dinâmica de perfuração através da análise de parâmetros operacionais em tempo real é importante para otimizar os processos de perfuração e reduzir seus tempos de operação. Com esse objetivo, operadoras de petróleo têm realizado grandes investimentos no desenvolvimento de ferramentas de medição e transmissão de parâmetros durante a perfuração, tais como, entre outros, o peso sobre broca, rotação da coluna e vazão do fluido de perfuração. Dentre as vantagens em se monitorar estes dados em tempo real, destaca-se a otimização de parâmetros operacionais buscando obter uma taxa de penetração satisfatória com o menor gasto de energia possível. Em uma perfuração rotativa, essa energia é muitas vezes parcialmente dissipada devido à vibração da coluna causada pela interação entre broca e formação. Nesta dissertação, com o objetivo de extrair características comuns que pudessem vir a ajudar na otimização da atividade de perfuração, foi utilizada uma técnica de redes neurais não supervisionadas para análise de uma extensa base de dados levantados ao longo de campanhas de perfuração de poços em um mesmo campo de petróleo. Os dados de campo analisados foram obtidos ao longo de perfurações de poços verticais, exclusivamente empregando brocas tipo PDC e exibindo elevados níveis de vibração torcional. O estudo realizado a partir de registros de parâmetros de perfuração, características dos poços e respostas de vibração obtidas em tempo real por ferramentas de poço, e empregando o código de mineração de dados WEKA e a plataforma computacional de análise TIBCO Spotfire®, permitiu a determinação de uma curva de desgaste de broca e a influência das ferramentas de navegação no nível de severidade de vibração ao longo da perfuração.

Palavras-chave

Perfuração; vibração; clusterização; redes neurais não supervisionadas

Abstract

Esteu, Bruno Romanelli Menechini Esteu; Braga, Arthur Martins Barbosa (Advisor). **Clustering vibration data from oil wells through unsupervised neural network** . Rio de Janeiro, 2014. 104p. MSc Dissertation – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Drilling oil wells in deep waters aims to achieve the best point of extraction of oil and natural gas reservoirs present in a few thousand meters in the seabed. A better understanding of the drilling dynamics through the analysis of real time operation parameters is important to optimize drilling process and reduce operation time. For this purpose petroleum operator companies have been made great investments in developing tools that measure and transmit parameters during drilling operation, such as the weight on bit, pipes rotation per minute and drilling fluid flow. Among the advantages to monitor this real time data there is the operational parameters optimization looking for the least expenditure of energy as possible. In a rotary drilling operation this energy is often lost partially due to column vibration caused by the interaction between bit and formation. In this master's thesis in order to extract common features that could help on the drilling operation optimization a technique using unsupervised neural networks for analyze an extensive database which was built over drilling campaigns in a big oil field . The field data analyzed were obtained during drilling vertical wells exclusively employing PDC bits and presented high levels of torcional vibration. The study was made from drilling parameters records, wells characteristics and vibration responses obtained in real time by downhole tools. Employing the WEKA data mining code and the computing analysis platform TIBCO Spotfire® it was possible determine a bit wear curve and the real influence of navigation tools on the severity levels of vibration during drilling operations.

Keywords

Drilling; vibration; clustering; unsupervised neural network

Sumário

1 Introdução.....	15
1.1 Motivação.....	15
1.2 Objetivo	17
1.3 Organização do trabalho.....	18
2 Perfuração de poços de petróleo	20
2.1 MSE.....	23
2.2 UCS	26
2.3 Teste de DrillOff	27
3 Vibrações na perfuração de poços de petróleo	30
3.1 Vibrações axiais.....	32
3.2 Vibrações Torcionais	34
3.3 Vibrações Laterais.....	35
3.4 Modelos de interação entre broca e a formação rochosa	37
3.5 Modelos dinâmicos de perfuração	39
3.6 Zona ótima.....	40
4 Processo de medição das vibrações: ferramenta MWD/LWD	43
5 Redes Neurais	47
6 Clusterização	55
6.1 Mapas auto-organizáveis.....	55
6.1.1 Mapa Auto-Organizável de Kohonen	57
6.1.2 O processo competitivo	60
6.1.3 O processo cooperativo	62
6.1.4 O processo adaptativo	64
6.1.5 As duas fases do processo adaptativo: ordenação e cooperação	65
6.2 Resumo do algoritmo SOM.....	67
7 Metodologia.....	69
8 Resultados	72
9 Validação.....	95
10 Conclusão	99
10.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	100
11 Referências bibliográficas	101

Lista de figuras

Figura 1.1 Diagrama esquemático de uma sonda durante a atividade de perfuração.....	21
Figura 1.2. Mesa rotativa rotaciona provendo giro ao tubo de perfuração.	22
Figura 1.3. Esquema de topdrive em sondas de perfuração offshore	22
Figura 1.4. Topdrive em sondas de perfuração offshore.....	23
Figura 2.1. Dados de teste de <i>drilloff</i> mostrando o comportamento não-linear abaixo da profundidade de corte mínima e acima do <i>founder point</i>	28
Figura 2.2. Regiões com zona eficiente e não eficiente em uma curva típica de teste de <i>drilloff</i>	28
Figura 3.1. Modos de vibração em colunas de perfuração.....	32
Figura 3.2. Representação esquemática da coluna de perfuração durante a ocorrência de vibrações laterais	36
Figura 3.3. Esquemático da zona ótima	41
Figura 3.4. Estreitamento da zona ótima.....	42
Figura 4.1. Esquema de localização de acelerômetros em ferramenta LWD/MWD.....	45
Figura 5.1. Modelo não linear de um neurônio j da camada $k+1$	48
Figura 5.2 Transformação produzida pela polarização ou bias.....	50
Figura 6.1. Diagrama esquemático de uma grade bidimensional de neurônios	59
Figura 8.1. Cluster rodada 1 com apenas 3 variáveis	73
Figura 8.2. Rodada 2 resultado utilizando 17 variáveis na clusterização	75
Figura 8.3 Rodada 3 tomando os dados do cluster 3 da rodada 2	78
Figura 8.4 Rodada 3 tomando os dados do cluster 3 da rodada 2 sendo destacado somente o cluster 2 com base em formato de pirâmide.	79
Figura 8.5 Clusterização realizada com MSE e vibração	81
Figura 8.6 Clusterização realizada com MSE e vibração destacado.	83
Figura 8.7. Metragem acumulada e desgaste para alta vibração	84
Figura 8.8 Influência na vibração do número de estabilizadores presentes na coluna	87
Figura 8.9 Somente cluster 0 da rodada 5	88
Figura 8.10. Diferentes distâncias do sensor de leitura de vibração à broca	

com níveis de alta vibração	90
Figura 8.11. Diferentes distâncias do sensor de leitura de vibração à broca com níveis de baixa vibração	91
Figura 8.12 Influência da distância do sensor à broca em relação a leituras de torque somente para a fase de 8 1/2”	92
Figura 8.13 Influência da distância do sensor à broca em relação a leituras de torque somente para a fase de 12 1/4”	93
Figura 9.1 Dados do poço teste de validação	96
Figura 9.2 Parâmetros da corrida do poço teste de validação	98

Lista de tabelas

Tabela 4.1. A partir de sensores como identificar vibrações	43
Tabela 8.1. Características principais de cada zona da pirâmide encontrada	84
Tabela 8.2 Torque e distância do sensor à broca ambos média ponderada por fase	94
Tabela 9.1 Características principais de cada zona da pirâmide plotada no poço teste.....	96

Simbologia e Siglas

RPM	Rotação por minuto da coluna de perfuração
WOB	Peso aplicado sobre a broca em superfície
ROP	Taxa de penetração da broca
MWD	Medindo durante a perfuração
LWD	Perfilando durante a perfuração
RSS	<i>Rotary Steerable System</i>
MSE	Energia específica mecânica
UCS	Resistência a compressão não confinada da rocha
SOM	Mapa auto organizável
A_b	Área da broca
T	Torque na broca
BHA	<i>Bottom Hole Assembly</i>
DOC	<i>Depth of cut</i>
PDC	Polycrystalline Diamond Compact
ω	Velocidade angular
RNA	Rede neural artificial
x_j	Sinal de entrada
j	Sinapse
k	Neurônio
$w_{k,j}$	Vetor peso sináptico
w_i	Peso sináptico
b_k	Polarização externa
u_k	Saída do combinador linear devida aos sinais de entrada
$\phi(.)$	É a função de ativação
y_k	É o sinal de saída do neurônio
MLP	<i>Multilayer Perceptron</i>
VLSI	<i>Very Large Scale Integrated</i>
m	Dimensão do espaço de entrada de dados
l	Número total de neurônios na grade
i(x)	Índice utilizado para identificar o neurônio que melhor casa com o vetor de entrada

$h_{j,i}$	Vizinhança topológica centrada no neurônio vencedor
$d_{i,j}$	Distância lateral entre o neurônio vencedor e o neurônio excitado
σ	Largura efetiva da vizinhança topológica
n	Decaimento exponencial
τ_1	Constante de tempo
η	Parâmetro de taxa de aprendizagem
τ_2	Constante de tempo do algoritmo de mapa auto-organizável
IADC	<i>International Association of Drilling Contractors</i>
TFA	<i>Total flow área</i>
WEKA	<i>Waikato Environment for Knowledge Analysis</i>
GPL	<i>General public licence</i>