

Julio César Laredo Reyna

Investigação sobre os Métodos de Previsão de Pressão de Poros em Folhelhos e uma Aplicação de uma Abordagem Probabilística

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Área de Concentração: Geotecnia.

Orientador: Sérgio Augusto Barreto da Fontoura

Rio de Janeiro Fevereiro de 2007

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Julio César Laredo Reyna

Investigação sobre os métodos de previsão de pressão de poros em folhelhos e uma aplicação de uma abordagem probabilística

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Alberto Sampaio Ferraz Jardim Sayão Presidente Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

> Luiz Alberto Santos Rocha Petrobrás

Bruno Broesigke Holzberg Schlumberger Data & Consulting Services

> Anna Paula Lougon Duarte Consultora Petrobras

Prof. José Eugênio Leal Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 23 de fevereiro de 2007.

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

Julio César Laredo Reyna

Graduou-se em Engenharia Civil, pela "Universidad Nacional de Ingeniería", Lima — Perú, em Dezembro de 2000. Durante a graduação atuou na área de hidráulica, em projetos de redes de drenagem em áreas urbanas. Na profissão, se desenvolveu em projetos e execuções de obras de construção civil. Como geotécnico dirigiu estudos de fundações para pontes, através de perfurações rotativas e ensaios SPT, além de avaliações de taludes em diversos projetos de reabilitação de estradas.

Ficha Catalográfica

Reyna, Julio César Laredo

Investigação sobre os métodos de previsão de pressão de poros em folhelhos e uma aplicação de uma abordagem probabilística / Julio César Laredo Reyna; orientador: Sérgio A. B. da Fontoura. - Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2007.

v., 146 f.: il.; 29,7cm

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Civil – Teses. 2. Pressão de Poros 3. Análise Probabilística. 4. Análise qualitativa 3D. I. Sérgio A. B. da Fontoura. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

Para Deus, acima de tudo.

Para meus pais e irmãos por suas orações e amor incondicional, especialmente para Maria

Nataly por seu enorme coração e bondade.

Agradecimentos

Para "Fray San Martin de Porres", patrono da minha família.

Ao meu orientador Sérgio Fontoura, por mostrar-me um tema de dissertação interessante demais.

À CAPES, PUC-Rio e ao GTEP pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus amigos Fredy Artola, Paul Ramirez, Carlos Ibañez, Wagner e Luis Oscátegui, por sua amizade, apoio e paciência em compartilhar seus conhecimentos profissionais.

Aos meus professores "on line": Glenn L. Bowers, Bob Bruce e Phil Holbrook; por atender minhas dúvidas e compartilhar seus conhecimentos sem reparo nenhum, muito obrigado a vocês.

A Adriana Benjamin, por seu amor, carinho e compreensão.

Resumo

Reyna, Julio César Laredo; Fontoura, Sérgio A. B. Investigação sobre os métodos de previsão de pressão de poros em folhelhos e uma aplicação de uma abordagem probabilística. Rio de Janeiro, 2007. 137p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nos últimos 45 anos foram publicados muitos artigos referentes à previsão da pressão de poros em folhelhos, como resultado da necessidade de otimizar o processo construtivo de poços de petróleo. Neste trabalho se apresenta um panorama dos métodos de previsão de pressão de poros existentes, com suas vantagens e desvantagens, com seus pontos fortes e suas críticas, com seus acertos e não acertos; procurando explicar os motivos das diferenças entre o previsto e o real. Em geral são descritos 12 métodos de previsão de pressão de poros, além do conceito do Centróide, 3 técnicas para detectar descarga de tensões efetivas numa formação rochosa, e uma descrição do uso da sísmica na previsão da pressão de poros. Foram aplicados os métodos de Eaton (1975) e Bowers (1995) com o objetivo de fazer uma discussão sobre as incertezas presentes nos parâmetros de cada modelo, complementado o estudo com uma análise de sensibilidade. Como resultado das incertezas existentes se aplicou uma análise probabilística baseada na simulação de Monte Carlo e usando o método de Eaton, com o objetivo de apresentar resultados dentro de intervalos de confiança e permitir planos de contingência durante o projeto de construção do poço. Finalmente são avaliados os resultados de uma análise 3D de previsão de pressão de poros utilizando o modelo de Eaton e o Trend de Bowers. Os cubos de dados foram obtidos por interpolação espacial ponderada partindo de registros de poços. Os resultados mostram que este tipo de análise pode ser usado com fins qualitativos, obtendo cubos de gradientes de pressão de poros aonde se observam as zonas de major e menor risco.

Palavras-chave

Previsão de pressão de poros, incertezas, subcompactação, expansão de fluidos, Eaton, Bowers, análise probabilística.

Abstract

Reyna, Julio César Laredo; Fontoura, Sérgio A. B. Investigation about pore pressure prediction methods in shales and a probabilistic approach application. Rio de Janeiro, 2007. 137p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In the last 45 years were published many articles referring to shale pore pressure prediction, due to the necessity of optimizing the constructive process of petroleum wells. In this work shows up a view of the pore pressure prediction methods with its advantages and disadvantages, with its strong points and its critics, with its hits and failures, trying to explain the causes of the differences between the predicted values and the real ones. As result of the bibliographical revision, we obtained a historical of the pore pressure prediction, furthermore gathering the principal mechanisms of generation of pore pressures and mechanisms of lateral variation of the same. Also, were described 12 methods of pore pressure prediction, the Centroid concept, 3 techniques to detect unloading of effective tensions in a rock formation, and a description of the use of the seismic in the pore pressure prediction. The Eaton (1975) and the Bowers (1995) methods were applied with the objective to discuss the uncertainties in the parameters of each model, this was complemented with sensibility analysis. As result of the existent uncertainties, we applied a probabilistic analyze, based on the Monte Carlo simulation and using the Eaton's method, with the aim to present results within confidence intervals and to allow contingency plans during the well construction project. Finally, the results of a 3D pore pressure prediction using the Eaton model and the Bowers Trend, were assessed. The data cubes were obtained by weighted space interpolation using well logs at the same basin. We concluded that the results from this type of analysis can be used such as qualitative purposes, obtaining pore pressure gradients cubes, where can be observed bigger and lesser risk zones.

Keywords

Pore pressure prediction, uncertainty, undercompaction, fluids expansion, Eaton, Bowers, probabilistic analyse.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	15
LISTA DE SÍMBOLOS	16
LISTA DE ABREVIATURAS	19
1 INTRODUÇÃO	20
1.1. Breve histórico sobre a previsão de pressões de poros	23
1.2. Objetivos	24
1.3. Importância	25
1.4. Contribuição	26
1.5. ESCOPO DA PESQUISA	26
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
2.1. Pressões de poros anormais	28
2.2. FENÔMENO DA SOBREPRESSÃO: O SISTEMA	31
2.2.1. Mecanismos geradores de pressão de poros – Uma visão geral	32
2.2.2. Tipo de fluido	33
2.2.3. Permeabilidade	33
2.2.4. Condições da geotectônica	34
2.3. DESCRIÇÃO DOS MECANISMOS GERADORES DE SOBREPRESSÃO	37
2.3.1. Desequilíbrio na compactação (tensão vertical de sobrecarga)	37
2.3.2. Tectonismo (tensões de compressão lateral)	38
2.3.3. Incrementos de temperatura (expansão aquatermal)	39
2.3.4. Transformações de minerais	39
2.3.5. Geração de hidrocarbonetos	40
2.3.6. Osmose	41
2.3.7. Carga hidráulica	41
2.3.8. Flutuabilidade do hidrocarboneto - contraste de densidades	42
2.4. MÉTODOS DE PREVISÃO DE PRESSÃO DE POROS	42
2.4.1. Classificação dos métodos de previsão de pressão de poros	43
2 4 2 Descrição dos principais métodos de previsão de pressão de poros	44

2.4.2.1. Método da Profundidade Equivalente	44
2.4.2.2. Hottman e Johnson (H&J) 1965	46
2.4.2.3. Método de Pennebaker (1968)	47
2.4.2.4. Método de Eaton (1972 – 1975)	49
2.4.2.5. Método de Holbrook e Hauck (1987)	54
2.4.2.6. Método de Holbrook, Maggiori e Hensley (1995)	57
2.4.2.7. Método de Ward et al. (1995)	58
2.4.2.8. Método de Bowers (1995)	61
2.4.2.9. Método de Kan e Swan (2001)	65
2.4.2.10. Método de Sayers et al. (2002a)	67
2.4.2.11. Método de Dutta (2002)	68
2.4.2.12. Método de Doyen et al. (2004)	70
2.4.3. Principais métodos utilizados na prática	71
2.5. O CONCEITO DO "CENTRÓIDE"	75
2.6. TÉCNICAS PARA DETECTAR O MECANISMO DE EXPANSÃO DE FLUIDOS	78
2.6.1. Bowers (1995) - MPE	78
2.6.2. Bowers (2002)	79
2.6.3. Chopra e Huffman (2006)	80
2.7. USO DA SÍSMICA NA PREVISÃO DA PRESSÃO DE POROS	81
2.8. REVISÃO DE FLUXOS DE TRABALHO PARA A PREVISÃO DE PRESSÃO DE	
Poros	86
2.8.1. Baker Hughes Inteq, 1994	87
2.8.2. Schlumberger, 2000	87
2.8.3. Delgado et al., 2005	88
2.8.4. Rocha e Azevedo, 2006	89
2.8.5. Dutta e Khazanehdari (Schlumberger, 2006)	91
3 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS BASEADOS EM PERFILAGEM	93
3.1. DESCRIÇÃO DO POÇO ANALOGUE – BACIA DO GOLFO DE MÉXICO (USA	4).94
3.2. VERIFICAÇÃO DOS MECANISMOS GERADORES DE SOBREPRESSÃO	95
3.3. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE EATON (1975)	96
3.3.1. Parâmetros do modelo de Eaton	96
3.3.2. Análise de sensibilidade do modelo de Eaton – Sônico	99
3.4. APLICAÇÃO DO MODELO DE BOWERS (1995)	103
3.4.1. Parâmetros do modelo de Bowers	103
3.4.2. Análise de sensibilidade do modelo de Bowers	108
3.5. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE PRESSÃO DE POROS A PARTIR DE 4	

MODELOS BASEADOS EM PERFILAGEM	112
4 ANÁLISE PROBABILÍSTICA NA PREVISÃO DA PRESSÃO DE P	OROS
ATRAVÉS DO MODELO DE EATON	117
4.1. Generalidades	117
4.2. Incertezas dos Registros de Medição GR, RHOB, RES, DT e si	EU
IMPACTO NA PREVISÃO DA PRESSÃO DE POROS.	119
4.3. DESCRIÇÃO DA TÉCNICA DE MONTE CARLO	121
4.4. Breve Descrição da Bacia Sedimentar Internacional X	124
4.5. CÁLCULOS PRÉVIOS	126
4.6. HIPÓTESES ASSUMIDAS	127
4.7. APLICAÇÃO PROBABILÍSTICA NO MODELO DE EATON	128
5 ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DE PRESSÃO DE POROS USANDO	0
MODELO DE EATON E O TREND DE BOWERS	131
5.1. INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DE DADOS	132
5.2. APLICAÇÃO DO MODELO DE EATON EM 3D	136
6 CONCLUSÃO	139
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141

Lista de figuras

Figura 1 Identificação das bacias sedimentares no mundo. (Modificado de Schlumberger; Law e Spencer, 1998)
Figura 2. Sistema da sobrepressão. (Modificado de Swarbrick e Osborne, 1998).
Figura 3 Efeitos da subcompactação e a expansão de fluidos nas tensões
efetivas. O primeiro não gera sobrepressões muito altas, acontecendo o contrário com a presença da expansão de fluidos. (Bowers, 2002)33
Figura 4 Divisão do subsolo segundo as condições de pressão de poros.
(Shaker, 2002)34
Figura 5 Variação da pressão de poros em compartimentos pressurizados de
arenitos e folhelhos. (Shaker, 2002)35
Figura 6 Progressão e regressão da pressão de poros, produzida pela geometria
das camadas. Observar a comunicação entre as duas camadas e o
decaimento da pressão de poros. (Shaker, 2002)35
Figura 7 Comunicação entre compartimentos através de uma superfície de falha.
(Shaker, 2002)36
Figura 8 Corpo de arenito em comunicação com o corpo salino, produzindo uma
trajetória de fluxo de fluido e a regressão da pressão de poros no arenito (Shaker, 2002)
Figura 9 Decremento lento da pressão de poros no folhelho em tempos
geológicos. Compartimentos isolados não produzem grandes mudanças
entre a P _{folh} e a P _{aren}
Figura 10 Decaimento rápido da pressão de poros na formação selante
produzido por um arenito interconectado. Existem mudanças significativas
entre a P _{folh} e a P _{aren}
Figura 11 Variação da porosidade segundo o mecanismo de geração da
sobrepressão. (Yassir e Bell, 1996)43
Figura 12 Aplicação do método da Profundidade Equivalente45
Figura 13 Método de Hottman e Johnson. (a) Medição do desvio do parâmetro
sônico. (b) Correlação empírica do desvio sônico medido anteriormente com
o gradiente de pressão de poros medido em formações adjacentes. Bacia

da Costa do Golfo. (H&J, 1965)47
Figura 14 Estimativa do gradiente de pressão de poros usando um registro de
velocidades intervalares e um gráfico calibrado de gradientes de pressão de
poros; ambos superpostos. (Pennebaker, 1968)49
Figura 15 Relação entre R _n /R _o e o gradiente de pressão de poros no
reservatório. R _n /R _o : Razão entre a resistência do folhelho na tendência
normal e a resistência observada. (H&J 1965)49
Figura 16 Comparação do NTL gráfico e o NTL analítico, ambos do método de
Eaton. (Bowers, 1995)53
Figura 17 Efeitos da mudança do expoente de Eaton nas tensões efetivas e as
velocidades sônicas. (Bowers, 1995)54
Figura 18. Apresentação gráfica do modelo de Waxman57
Figura 19 Interpretação das relações de carga e descarga de uma formação
(Ward et al. 1995)61
Figura 20 Sobrepressão gerada por expansão de fluidos na bacia de Mahakar
Delta, Indonésia. (Bowers, 1995)63
Figura 21 Efeitos da variação do parâmetro U na Curva de Descarga. (Bowers
1995)64
Figura 22 Estimativa do parâmetro U de Bowers. (a) Sobrepressões geradas po
expansão de fluidos na bacia central do Mar do Norte. (b) Normalização da
curva de descarregamento. (Bowers, 1995)65
Figura 23 Comparação entre o registro sônico e os tempos intervalares gerados
da inversão sísmica, Golfo do México. (Kan e Swan, 2001)67
Figura 24 O efeito Centróide. (Heppard e Traugott, 1994)
Figura 25 O efeito Centróide e as trajetórias de fluxo. Na esquerda: gradiente de
pressão de poros 2D, com as linhas de trajetória de fluxo. Na direita: o
gradiente de pressão de poros dos dois poços. (Lupa et al., 2002)77
Figura 26 Diferenças entre os métodos da Profundidade Equivalente e H&J
sobre a bacia da Costa do Golfo. (Bowers, 1995)78
Figura 27 Técnica para detectar sobrepressões altas. (Bowers, 2002)80
Figura 28 Aplicação para reconhecer zonas de descarga. (Chopra e Huffman
2006)81
Figura 29. Comparação de velocidades intervalares obtidas através de diferentes
metodologias. Modelo de correlação de velocidades stacking (cor azul)
Velocidades obtidas por inversão tomográfica (vermelho), e as obtidas
através de Checkshot (verde), (Savers, 2002b),

rigura 30 Comparação de uma seção 20 de velocidades intervalares obtidas
pelo modelo de Dix (esquerda) e por inversão tomográfica (direita). (Sayers
2002a)85
Figura 31 Fluxo de trabalho da companhia Baker Hughes Inteq. (1994)87
Figura 32 Fluxo de trabalho para a previsão da pressão de poros usado na
companhia Schlumberger. (2000)88
Figura 33 Fluxo de trabalho apresentado por Delgado et al. (2005)90
Figura 34 Fluxo de trabalho apresentado por Rocha e Azevedo (2006)90
Figura 35 Fluxo de trabalho apresentado por Dutta e Khazanehdari (2006) 92
Figura 36 Base de dados do poço "Analogue"95
Figura 37 Aplicação da técnica de Chopra e Huffman (2006) no poço Analogue
96
Figura 38 Efeitos da idade geológica no <i>Trend.</i> (Pennebaker, 1968)98
Figura 39 Primeira estimativa do gradiente da pressão de poros do poço
"Analogue", através do modelo de Eaton Sônico99
Figura 40 Efeito da variação do gradiente da pressão de poros normal na
previsão da pressão de poros do poço Analogue100
Figura 41 Efeito da variação do expoente de Eaton sônico na previsão da
pressão de poros101
Figura 42 Efeito da variação do <i>Trend</i> na previsão da pressão de poros 102
Figura 43 Calibração do modelo de Eaton através de um <i>Trend</i> quebrado em
três partes102
Figura 44. Aplicação do Modelo de Bowers Sônico para registros de tempos
intervalares: (a) sem alívio de tensões efetivas, e (b) com alívio de tensões
efetivas103
Figura 45. Aplicação do Modelo de Bowers utilizando registros de velocidades
intervalares: (a) sem alívio de tensões efetivas, e (b) com descarregamento
de tensões efetivas105
Figura 46 Efeitos da variação do parâmetro "A" de Bowers (± 6%) no gradiente
de pressão de poros109
Figura 47 Efeitos da variação do parâmetro "B" de Bowers (± 6%) no gradiente
de pressão de poros109
Figura 48 Efeitos da variação do parâmetro "PP _n " de Bowers (± 6%) no gradiente
de pressão de poros110
Figura 49 Efeitos da variação do parâmetro "U" de Bowers desde 1 até 8, no
gradiente de pressão de poros111

Figura 50 Resultado da previsão de pressão de poros no poço Analogue a partir
de diferentes modelos baseados na sísmica. Quadrados em cor vermelha
representam as medições MDT114
Figura 51 Comparação dos resultados dos modelos de Eaton, Bowers, Kan e
Swan, e Doyen no poço Analogue116
Figura 52 Aplicação da técnica de Monte Carlo no software Predict123
Figura 53. Localização em planta e em perfil dos poços com informação
disponível da bacia sedimentar X125
Figura 54 Resultados da análise determinística de pressão de poros dos 4 poços
de correlação127
Figura 55 Resultados de uma análise probabilística de pressão de poros para um
poço projeto, usando o registro sônico do poço de correlação mais próximo.
128
Figura 56 Resultados de uma análise probabilística de pressão de poros para um
poço projeto, usando um registro sônico obtido por interpolação espacial.
130
Figura 57 Exemplo para avaliar o efeito do expoente "we" no método de
ponderação "inverso da distância"133
Figura 58 Método de seleção de dados "Todos os Pontos"
Figura 59 Método de seleção de dados "Quadrante"135
Figura 60 Cubos de dados sônicos, de densidade e do gradiente de sobrecarga
da bacia sedimentar X135
Figura 61 Aplicação do método de Bowers (1995) nos 4 poços de correlação da
bacia sedimentar X136
Figura 62 Resultados da previsão de pressão de poros 3D usando o modelo de
Eaton e o Trend de Bowers na bacia sedimentar X
Figura 63 Comparação entre o peso da lama utilizado em cada poço e os
gradientes de pressão de poros obtidos a partir de uma análise 3D de
pressão de poros usando o modelo de Eaton o Trend de Bowers na bacia
sedimentar X138

Lista de tabelas

Tabela 1 Regiões no mundo com geopressões e seus principais atributos. (Law
e Spencer, 1998)30
Tabela 2 Resultados da preferência do método de previsão da pressão de poros
das principais companhias da indústria do petróleo71
Tabela 3 Ranking de modelos de previsão de pressão de poros - Projeto DEA
11972
Tabela 4 Resumo dos poços utilizados na bacia sedimentar X126
Tabela 5 Resumo dos parâmetros calibrados nos poços de correlação usando o
modelo de Eaton (1975)126
Tabela 6 Valores das distâncias entre nós, e o valor do parâmetro respectivo
(velocidade)133
Tabela 7 Valores dos pesos de cada dado para diferentes valores de "we", para
distâncias de 1, 2 e 3 unidades de longitude133
Tabela 8 Resultados da influência do expoente de peso "we" no parâmetro de
velocidade, segundo exemplo (figura 51)134
Tabela 9 Resumo dos parâmetros de Bowers utilizados na calibração dos poços
de correlação da bacia sedimentar X

Lista de símbolos

α : coeficiente de deformação-dureza da compactação natural

a : idade geológica

a₁ ... a₅: Parâmetros do modelo de Doyen
 A : Parâmetro do modelo de Bowers
 B : Parâmetro do modelo de Bowers

 $\beta(T)$: Função de temperatura

C : Conteúdo de argila

C₁, C₂: Constantes do modelo de Kan e Swan

C_n : Condutividade no *Trend* (normal) na formação de folhelho

C_o : Condutividade observada na formação de folhelho

C_{QV} : Condutividade da superfície dos minerais argilosos por

unidade de volume

C_t : Condutividade observada na rocha sedimentar saturada de água

C_w : Condutividade da água presente no espaço poroso da

formação.

d_i : distância entre um nó sem dado conhecido, até a localização

 $i(x,y,z_0)$ com valor conhecido.

Δt : Tempo intervalar

 Δt_0 : Tempo intervalar no *mudline*

 Δt_{bulk} : Tempo intervalar na rocha saturada

 Δt_{fluid} : Tempo intervalar no fluido presente na rocha

 Δt_{matrix} : Tempo intervalar na matriz da rocha

 $\Delta t_{n(sh)}$: Tempo intervalar no *Trend* (normal) na formação de folhelho

Δt _{ob(sh)}: Tempo intervalar observado na formação de folhelho

 $\Delta t_{(sh)}$: Tempo intervalar na formação de folhelho

ε : Índice de vazios

 ϕ_0 : Porosidade no *mudline*

 $\phi(z)$: Porosidade na profundidade z

exp : expoente de Eaton

F : Fator de condutividade

 $\gamma_{\rm obs}$: raio gama observado ou medido na formação

 γ_{sand} : raio gama normalizado em arenitos γ_{sh} : raio gama normalizado em folhelhos g : gravidade (constante gravitacional)

i : Número de ensaios para a simulação de Monte Carlo

k : Gradiente do Trend

K : Fator de proporção entre a densidade total dos sedimentos e a

densidade da água

I : litologia

m : tortuosidade ou expoente de cimentação.

n : número de dados que participam numa interpolação.

P : Onda de compressão P (*primary wave*)

p : Pressão de poros

p(i) : peso aplicado ao valor val(i)

p_n : Pressão de poros normal

PP : Gradiente da pressão de poros

PP_n : Gradiente da pressão de poros normal

P_{folh} : Pressão de poros na rocha selante

P_{aren} : Pressão de poros na rocha reservatório

 ρ : Densidade

 ρ_B : Peso específico natural

 ρ_{bulk} : Densidade total

 ρ_{fluid} : Densidade do fluido

 ρ_{matrix} : Densidade da matriz dos minerais

 ρ_{sh} : Densidade média dos minerais argilosos presentes nos folhelhos

R : Medição da resistividade na formação

r_i : Variável aleatória que representa a probabilidade acumulada da

CDF de um parâmetro em estudo

R_o : Resistividade observada na formação de folhelho

R_n : Resistividade no *Trend* (normal) na formação de folhelho

 R_{w} : Gradiente hidrostático da pressão de poros

 σ' : Tensão efetiva

 σ'_{qn} : Gradiente da tensão efetiva normal

 σ_{max} : Tensão efetiva máxima

 σ : Tensão de sobrecarga vertical

 σ_S : Desvio padrão

 σ_{vc} : Tensão efetiva normalizada na curva virgem

S : Gradiente de sobrecarga

S_w : Onda de cisalhamento S_w (secondary wave)
 S₇ : Coeficiente de solidez da rocha ou mineral.

T : Temperatura

U : Parâmetro de descarga do modelo de Bowers.

μ : Média estatística

Value : valor interpolado de um parâmetro

val(i) : valor de um parâmetro na localização i(x,y,z)

V, V_i : Velocidade intervalar

V_{max.} : Velocidade máxima ou velocidade *plateau*.

V_n : Velocidade intervalar no *Trend* (normal) na formação de

folhelho

V_o : Velocidade intervalar observada na formação de folhelho

V₀ : velocidade intervalar no *mudline*

V_{NMO} : Velocidade *normal move out*

 V_{PO} : Velocidade intervalar observada das ondas P V_{PN} : Velocidade intervalar normal das ondas P V_{PSN} : Velocidade intervalar normal das ondas OS V_{PSO} : Velocidade intervalar observada das ondas PS

V_{RMS} : Velocidade root mean square

V_{rocha} : Velocidade da onda na rocha ou formação

V_{sh} : volume de folhelhos

 V_{SN} : Velocidade intervalar normal das ondas S V_{SO} : Velocidade intervalar observada das ondas S

we : expoente de ponderação

x : Fator acústico da formação dependente da litologia.

x_i : Valor correspondente à probabilidade r_i de um parâmetro em

estudo

Z : Profundidade

Z_i: Profundidade a partir da qual se iniciam os cálculos.

z': Profundidade relativa ao mudline

Z_a : Profundidade de leitura do parâmetro petrofísico anormal

Z_{min.} : profundidade correspondente à leitura de tempo intervalar mínimo

Z_e : Profundidade Equivalente

Lista de abreviaturas

AVO : Amplitude Variation Offset

CDF : Cumulative Distribution Accumulate

CDP : Common Depth Point
CMP : Common Mid Points

DEA : Drilling Engineering Association

EMW : Equivalent Mud Weight

ESL : Effective Stress Loading Limb

folh : Folhelho.

GR : Gamma Ray

GF : Gradiente de Fratura.

H&J : Hottman e Johnson.

HPHT : High Pressure High Temperature

ICS : International Commission Stratigraphy

KS : Knowledge Systems

LOT : Line Group

LOT : Leak of Test

LWD : Logging While Drilling MDT : Modular Dynamic Test

MPE : Método da Profundidade Equivalente

MWD : Measurements While Drilling

NTL : Normal Trend Line
OBG : Overburden Gradient

PDF : Probability Density Function

Ppp : Previsão da Pressão de Poros

QRA : Quantitative Risk Analysis
RFT : Repeat Formation Test

RHOB : Registro de Densidade Natural

RES : Registro de resistividade SP : Spontaneous Potential