

# ESTIMATIVA DA PERFILAGEM EM POÇOS DE PÉTROLEO UTILIZANDO A ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Evelyn Souza Chagas

Dpto de Estatística e Ciências Atuarias (DECAT) – evelynschagas@hotmail.com

Dra. Suzana Leitão Russo

Dpto de Estatística e Ciências Atuarias (DECAT) – suzanarusso@hotmail.com

Msc. Vitor Hugo Simon

PETROBRAS – vhsimon@petrobras.com.br

## RESUMO

O perfil sônico é utilizado, principalmente em poços pioneiros, que recebem maiores investimentos para aquisição de dados, pois esses poços servem como referência para analisar o potencial petrolífero da área. Para poços considerados de exploração, normalmente não são corridas as ferramentas sônicas por motivos econômicos, principalmente nos tempos de preço de petróleo baixo. Como não é viável economicamente fazer uma aquisição do perfil sônico, na grande maioria dos poços antigos, principalmente em decorrência da parada da produção do óleo, deve-se recorrer a outros meios para solucionar o problema. Uma das maneiras é utilizar métodos estatísticos que gerem um perfil sônico, dito sintético, para estabelecer estimativas das velocidades sísmicas das rochas ao longo dos poços. Assim, esse trabalho visa determinar um modelo que gere perfis sônicos sintéticos em poços de petróleo perfurados nas unidades geológicas pertencentes a Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas e que estejam dentro dos padrões de qualidade necessários. Este trabalho tem o apoio financeiro da FAPITEC.

**Palavras-chave:** Perfil sônico sintético; Regressão.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade da utilização do petróleo como combustível em diversos seguimentos da indústria por todo o mundo, aliado com as elevações progressivas no preço do barril de petróleo, leva as empresas exploradoras a extrair o máximo de suas jazidas e obter o menor custo possível. Desta forma, a otimização do desenvolvimento dos reservatórios passou a ser fundamental para o sucesso da indústria do petróleo, e a sísmica, que até então não era empregada de maneira sistemática no desenvolvimento dos campos de petróleo, passou a ser vista como ferramenta potencial para esse propósito (LIMA,2005).

O perfil sônico é utilizado na construção de sismogramas sintéticos, que são obtidos usando-se um algoritmo próprio e tem por finalidade auxiliar na interpretação dos horizontes sísmicos, permitindo correlacionar esses horizontes com os níveis stratigráficos atravessados pelo poço perfurado, além de propiciar a criação de tabelas de conversão tempo vs profundidade, o que permite migrar toda uma interpretação sísmica, que está no domínio do tempo, para o domínio do espaço (profundidade).

Como não é viável economicamente fazer uma aquisição do perfil sônico, na grande maioria dos poços antigos, principalmente em decorrência da parada da produção do óleo, para contornar a falta de informação, deve-se recorrer a outros meios para solucionar o problema. Uma das maneiras é utilizar métodos estatísticos que gerem um perfil sônico, dito sintético, para estabelecer estimativas das velocidades sísmicas das rochas ao longo dos poços (RUSSO et alli, 2010).

Assim, esse estudo objetiva aplicar técnicas da estatística multivariada a fim de encontrar uma equação do perfil sônico de modo a observar o seu comportamento no poço e relacioná-la a outras variáveis de perfil (profundidade, raios gama, indução, arrombamento).

## 2. REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 PERFILAGEM

Perfilagem de poço é a realização de um perfil em um poço, vertical ou inclinado, com medições de determinados parâmetros. O perfil é traçado a partir de uma sonda que é içada ao longo do poço onde o perfil do parâmetro medido é registrado simultaneamente. Em uma mesma sonda, mais de um parâmetro pode ser medido.

Segundo Lima (2005), a perfilagem é uma das mais úteis e importantes ferramentas disponíveis no setor petrolífero, sendo utilizada quase sem exceção em todos os poços perfurados. Nos casos mais extremos, seus custos não superam 5% do custo total de um poço. É através da perfilagem que se pode obter medidas contínuas, ao longo de um poço, de diferentes propriedades das formações. A partir da interpretação destas medidas, podem-se identificar zonas produtivas, distinguir óleo, gás ou água em um reservatório, e estimar a reserva de hidrocarbonetos, além de suas utilizações mais tradicionais na exploração, como correlação entre níveis estratigráficos, auxílio na confecção de mapas e calibração sísmica.

#### 2.1.1 Perfil Sônico

A ferramenta sônica consiste, basicamente, no registro do tempo decorrido entre o momento em que um pulso sonoro compressional é emitido por um transmissor, montado em um mandril no interior do poço, até sua chegada a dois receptores distintos sobre o mesmo mandril. A diferença entre os dois tempos de chegada (transmissor - receptor perto T-RP e transmissor - receptor longe T-RL) é chamada de tempo de trânsito ou *delay time* (DT) (LIMA, 2005).

O tempo de trânsito (DT) guarda uma relação direta com a porosidade da rocha. Quanto maior o DT, maior a separação entre os grãos, portanto, maior a porosidade, sendo a recíproca verdadeira. Conseqüentemente, a maior vantagem do perfil sônico provém da relação direta que existe entre o tempo de trânsito de uma onda sonora em uma rocha e a sua porosidade (Wyllie, 1956). Em sua tese (Lima, 2005) afirma que elevados tempos do DT podem representar fraturas, desmoronamentos ou até mesmo presença de gás no poço.

### 2.2 MODELO DE REGRESSÃO

A análise de regressão consiste em um método de modelagem que avalia a relação entre uma variável dependente contínua  $Y$  e uma ou mais variáveis contínuas independentes  $X_1, X_2, \dots, X_k$ . O objetivo da análise de regressão é identificar a função que descreve, da melhor forma, a relação entre essas variáveis para que se possa prever que valor a variável dependente vai assumir quando forem atribuídos valores para a variável independente (RAGSDALE, 2001; SUBRAMANIAN ET AL., 2007; RUSSO ET AL 2010).

#### 2.2.1 O modelo de Regressão Linear Múltipla (MRLM)

Segundo Gujarati (2000), os conceitos de estimativa de intervalo e teste de hipótese, desenvolvidos anteriormente, estendem-se para os modelos com três ou mais variáveis. Embora sob muitos aspectos, esses conceitos possam ser aplicados diretamente ao modelo de regressão múltipla, algumas características adicionais são exclusivas de tais modelos, e são estas características que receberão maior atenção.

Pode-se afirmar que o MRLM é uma extensão do MRLS. Anderson *et al.* (2002) descrevem o MRLM da seguinte forma:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_p \cdot x_p + \varepsilon \quad (1)$$

Onde  $x_1, x_2, \dots, x_p$  são constantes,  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$  são parâmetros denominados coeficientes de regressão parciais, e  $\varepsilon$  os resíduos.

Através da extensão do método dos mínimos quadrados empregado no MRLS, pode-se chegar à equação linear da regressão múltipla, isto é,

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_p \cdot x_p \quad (2)$$

### 2.2.2 O coeficiente de determinação múltipla

O coeficiente de determinação  $R^2$  pode ser interpretado como a proporção da variabilidade que pode ser estimada pela equação da regressão múltipla. Todavia, quando multiplicado por 100, o coeficiente de determinação múltipla pode ser interpretado como a porcentagem da variabilidade em  $y$  que pode ser explicada através da equação da regressão (ANDERSON *ET AL*, 2002; SUBRAMANIAN *ET AL*, 2007).

### 2.2.3 Os resíduos

A análise de um modelo de regressão tem uma relação muito forte com a qualidade do ajuste feito, bem como com a confiabilidade dos testes estatísticos sobre os parâmetros do modelo. Nesse sentido, a análise dos resíduos tem uma importância fundamental na verificação da qualidade dos ajustes de modelos. Basicamente, essa análise fornece evidências sobre possíveis violações nas suposições do modelo, tais como a de normalidade e a homocedasticidade, e quando for o caso ainda fornece indícios da falta de ajuste do modelo proposto (CHARNET *ET AL.*, 1999; SUBRAMANIAN *ET AL.*, 2007).

### 2.2.4 Método usado na presença de correlação serial

Na presença de correlação serial, os estimadores de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) são ineficientes sendo essencial procurar medidas corretivas. Uma alternativa é o uso do processo iterativo de Cochrane-Orcutt, que estima  $\rho$  a partir da estatística  $d$  de Durbin Watson, utilizando-se dos resíduos estimados  $\hat{u}_t$  para obter informações sobre o  $\rho$  desconhecido (WOOLDRIDGE, 2006; GUJARATI, 2000; RUSSO *ET AL*, 2009).

## 3. METODOLOGIA

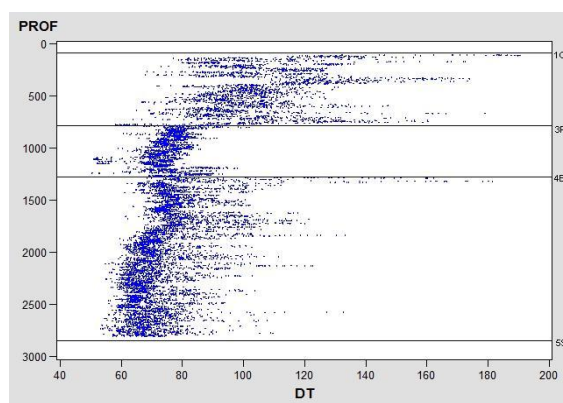
O conjunto de dados analisados trata-se de informações das variáveis de perfis de poços, pertencentes a um campo de petróleo da Bacia Sedimentar Sergipe Alagoas.

Foram analisadas as variáveis de perfis: Prof (profundidade), RHOB (densidade), GR (raios gama), ILD (indução), Dcali (arrombamento de poço) e DT (sônico). Com base nesses dados, foram aplicados modelos de regressão com o intuito de observar o comportamento da variável DT (sônico) em relação às demais variáveis. Para garantir a qualidade dos resultados foi feito a verificação do coeficiente de determinação, o teste de significância do modelo (ANOVA); o Teste *t de Student* e calculado o erro médio absoluto percentual. O software utilizado para a realização desses cálculos foi o SAS Enterprise Guide.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise descritiva das variáveis sobre perfis sônicos

Para compreender melhor os dados foi construído o gráfico representativo do perfil sônico (DT) gerado no poço E, conforme Figura 1.



**Figura 1** – Gráfico da variável DT versus profundidade

O início do poço E em estudo está a 103,25m e o final está a 2805m. Nota-se a existência de uma tendência decrescente nos valores encontrados de DT em direção final do poço. Os registros, da Tabela 1, das estatísticas pelo método dos momentos, apresentam as seguintes características:

Tabela 1 - Resumo das Estatísticas Descritivas

Variáveis	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão	CV%	Coef. Assimetria
PROF	1447,802	1445,875	606077,3	778,5096	53,77183	0,008451
DT	83,135	77,044	383	19,5705	23,54063	1,610101
GR	69,351	67,697	455,3	21,3369	30,76654	0,19634
ILD	12,839	8,088	309,3	17,5856	136,9702	4,716901
DCALI	2,125	1,582	3,9	1,966	92,51765	1,126666

Os registros das estatísticas servirão para detectar a homogeneidade das variáveis. A variável DT com Coeficiente de Variação de 23,54% se destaca como a mais homogênea, enquanto a variável ILD com Coeficiente de Variação de 136,97% se destaca como a mais heterogênea.

Observa-se, pela Tabela 1, que todas as variáveis apresentam uma assimetria positiva indicando que a distribuição apresenta uma cauda para o lado direito.

#### 4.2 Análise do modelo encontrado

Os coeficientes do modelo de regressão múltipla pelo método de mínimos quadrados (MQO) do perfil sônico sintético para o poço 2 dão origem à fórmula geral:

$$DT = 85,88 - 0,688 \text{ Prof} + 0,3088 \text{ GR} - 0,143 \text{ LnILD} + 0,427 \text{ DCali} \quad (3)$$

(0,579)      (0,00)      (0,006)      (0,124)      (0,068)

$$R=0,81 \quad R^2=66,51\% \quad R^2\text{Adjust}=66,49\% \quad \text{Std da Estimativa}=11,27 \quad \text{DW}=0,1893 \quad \text{MAPE}=2,07\%$$

O coeficiente de correlação linear indica que o nível de associação linear desses dados é de 81%, enquanto que 66,51% da variabilidade na medida (DT) é explicada conjuntamente pelas variáveis independentes PROF, GR, Dcali e Ln (ILD).

A estatística de Durbin-Watson avalia a existência de independência dos resíduos, ou seja, testa a hipótese nula de que a covariância entre as variáveis residuais seja zero. Considerando o total de 10730 observações e as cinco variáveis explicativas, o valor 0,1893 é substancialmente menor do que o valor de referência 2,00, o que indica que a correlação entre os resíduos estão presentes.

A correlação serial deve ter maior atenção quando os dados se referem a observações espaciais, assim foi necessário aplicar o método dos Mínimos Quadrados Generalizados (MQG), utilizando-se a estimação de Cochrane-Orcutt (CO) para remover a auto-correlação dos resíduos.

Foi feito a estimação na equação (3) e a título de comparação apresenta-se os resultados na Tabela 2.

O método Cochrane-Orcutt registra seis observações a menos que o MQO; isso reflete o fato de que a primeira observação transformada não é usada no método Cochrane-Orcutt, afetando levemente os graus de liberdade que são utilizados em testes de hipóteses, neste modelo foi utilizado seis iterações.

Tabela 2 - Comparação entre modelos

	Intercepto	Prof	GR	LN(ILD)	Dcali	$\rho$	N	Durbin-Watson	R <sup>2</sup>
MQO	85,888	-0,688	0,3088	-0,143	0,427	-	10730	0,18	0,66
	0,579	0	0,006	0,124	0,068				
Cochrane-Orcutt	5,158	-0,135	0,154	-0,108	0,171	0,004	10724	1,99	0,09
	0,101	0,001	0,009	0,341	0,066				

Um R<sup>2</sup> é informado na estimação Cochrane-Orcutt, que é bem menor que o R<sup>2</sup> da estimação MQO, porém esses R<sup>2</sup> não devem ser usados para comparação, pois no MQO o R<sup>2</sup> é baseado na regressão com as variáveis dependentes e independentes sem transformação. No método Cochrane-Orcutt, o R<sup>2</sup> provém da regressão final da variável dependente transformada sobre as variáveis transformadas.

Com as informações da Tabela 3 observa-se a partir do Teste *t de student* e dos respectivos p-valores que todos os coeficientes são significativos, ou seja, possuem influência na variável DT.

Tabela 3 – Coeficientes

	Beta	Std. Coef. Beta	B	Std. Err. of B	T	p-level
Intercepto			5,15817	0,101616	50,7614	0,000000
GR	0,154763	0,009267	0,15380	0,009209	16,7001	0,000000
LN ILD	-0,108468	0,009305	-3,97697	0,341175	-11,6567	0,000000
DCALI	0,171247	0,009340	1,22198	0,066645	18,3357	0,000000
PROF	-0,135121	0,009301	-0,01479	0,001018	-14,5275	0,000000

Variável Dependente: DT

A análise da variância contida na Tabela 4 fornece o valor para o teste F para se verificar a hipótese de nulidade de que todos os coeficientes sejam estatisticamente iguais a zero, contra a hipótese alternativa de que pelo menos um desses coeficientes seja diferente de zero. Dado o valor do teste, F = 5325,390, e confirmado pela estatística do p-valor, 0,000, confirma-se que pelo menos um coeficiente é estatisticamente diferente de zero. Como o F calculado é superior ao valor do F crítico, pode-se concluir que a regressão é significativa.

Tabela 4 - ANOVA da regressão

	Soma dos Quadrados	GL	Média Quadrática	F	Sig
Regressão	2733158	4	683289,4	5325,390	0,0000
Resíduo	1376102	10725	128,3		
Total	4109260				

a.Preditores: (Constant), PROF, GR, Dcali e Ln (ILD)

b.Variável Dependente: DT

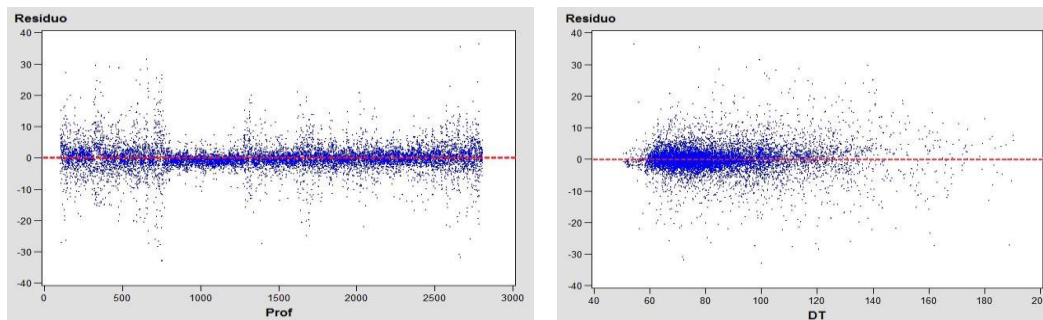
Os coeficientes de regressão do modelo do perfil sônico sintético para o poço E dão origem a fórmula:

$$DT = 5,158 - 0,135 Prof + 0,154GR - 0,1084LN ILD + 0,171DCali \quad (4)$$

(0,101)      (0,001)      (0,009)      (0,341)      (0,066)

R=0,30 R<sup>2</sup>=9,14% R<sup>2</sup>Adjust=9,11% Std da Estimativa=4,20 DW=1,99 MAPE=2,07%

O Erro Médio Absoluto Percentual do modelo foi de 2,07%. Com a equação (4), estimou-se os valores dos resíduos para o poço E, que pode-se observar através do gráfico representativo na Figura 2, onde foi plotado os resíduos em relação a profundidade do poço e a variável DT.



**Figura 2** – Gráficos dos resíduos versus profundidade e resíduos versus DT

Observa-se, na Figura 2, que os resíduos estão mais concentrados no intervalo de 60 a 100 microssegundos por pé. Analisando-se os resíduos ao longo da profundidade e da variável DT, verifica-se que o modelo estudado está adequado, pois os resíduos concentram-se em torno da média zero.

## 5. CONCLUSÕES

Através da regressão pelo método dos mínimos quadrados ordinários, o resultado das simulações apontou um resíduo correlacionado, sendo necessária a aplicação de um método corretivo para a retirada da autocorrelação das variáveis. O método utilizado foi o processo iterativo de Cochran-Orcutt, onde obteve-se coeficientes estatisticamente significantes.

Os erros-padrão da estimação através dos MQG são uniformemente mais altos que os da estimação por MQO, isso ocorre porque os erros-padrão da estimação Cochran-Orcutt levam em consideração a correlação serial e os erros do MQO, não.

Com base nos estudos efetuados, a equação encontrada para representar e obter estimativas da perfilagem em um poço de petróleo está adequada.

### Referências

- ANDERSON, D. R.; SWEENEY, D. J.; WILLIAMS, T. **Statistics for business and economics**. 3 ed, South-Western, 2002.
- CHARNET, R.; BONVINO, H.; FREIRE, C. A. L.; CHARNET, E. M. R. **Análise de modelos de regressão linear com aplicações**. Campinas, SP: Unicamp, 1999.
- LIMA, K. T. P. de. **Utilização de Métodos Sísmicos, Perfilagem e Testemunho de Poços para Caracterização dos Turbiditos da Formação Urucutuca na Bacia de Almada (BA)**. UENF, Macaé-RJ. 2005
- GUJARATI, D. N. **Econometria básica**. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 2000.
- RAGSDALE, C. T. **Spreadsheet Modeling and Decision Analysis**. 3 ed, South-Western College Publishing, Cincinnati, Ohio, 2001.
- RUSSO, S. L. ; CAMARGO, M. E.; SIMON, V. H. . Corrective actions of well logging data in the presence of serial correlation. Proceedings of the IEEE, v. 1, p. 1874-1880, 2009
- RUSSO, S. L. ; CAMARGO, M. E.; SIMON, V. H. . **Avaliação de perfis sísmicos sintéticos em poços de petróleo perfurados nas unidades geológicas pertencentes a bacia sedimentar Sergipe-Alagoas**. Revista Gestão Industrial, v. 6, p. 216-237, 2010.
- WYLLIE, M. R. J., GREGORY, A. R. & GARDNER, L. W. **Elastic Wave Velocities in Heterogeneous and Porous Media**. Geophysics, Vol. 21.1956
- WOOLDRIDGE, J. M. **Introdução à econometria: uma abordagem moderna**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning. 2006.