

MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS À NORMALIZAÇÃO DE PERFIS

STATISTICAL METHODS APPLIED TO LOG NORMALIZATION

Monica Rebelo Rodriguez¹

RESUMO – Diferentes tipos de problemas decorrentes do mau funcionamento de ferramentas de perfilagem, assim como calibração e operação, afetam a leitura dos perfis, e devem ser suprimidos para que as características petrofísicas das rochas em subsuperfície sejam determinadas sem distorções. Na eliminação desses problemas deve-se considerar que visíveis variações nas curvas, por vezes refletem efetivas alterações geológicas existentes nas rochas. Os métodos estatísticos baseados na distribuição de frequências e na confecção de superfícies de tendência frente a uma unidade de calibração são usados para localizar, identificar e corrigir estes problemas. A análise de tendência faz uso de programas de computador disponíveis no âmbito da PETROBRÁS, que determinam um polinômio reflexo da estrutura regional do campo e das variações faciológicas locais. Da superfície obtida são subtraídos os dados originais, cujos resíduos são avaliados por meio da distribuição de frequências. Assim, pode-se quantificar a correção a ser somada às curvas para uma normalização controlada. A aplicação desta metodologia garante a acurácia das respostas de perfis utilizados em avaliações quantitativas.

(Originais recebidos em 14.08.92).

ABSTRACT – *The response of well-logging tools can be affected by numerous problems deriving from their miscalibration. These errors need to be eliminated so that the petrophysical properties of subsurface rocks can be determined without distortion. While eliminating these errors, the analyst must also be aware of lateral facies variations that may likewise influence log readings. Statistical methods based on frequency distribution and trend surface analysis using a lithologic unit with well-defined log readings serve as helpful tools in locating, identifying, and correcting these errors. Trend surface analysis is used to determine a polynomial function that reflects the regional structure of the field and its local facies variations. The frequency distribution of the residuals, obtained by subtracting the raw data from the values computed using the polynomial function, serves in quantifying the correction needed to normalize different log curves.*

(Expanded abstract available at the end of the paper).

1 – INTRODUÇÃO

Normalização de perfis é o termo usado para definir o controle de qualidade efetuado sobre os dados obtidos por meio das ferramentas corridas durante a operação de perfilagem de poços.

Quanto à avaliação de um campo produtor de hidrocarbonetos por intermédio de dados pontuais de perfis elétricos, a eliminação dos erros deve ser feita com atenção e precisão, levando-se em conta que algumas variações existentes nas curvas refletem, efetivamente, alterações geológicas das rochas em subsuperfície.

A identificação de deslocamentos existentes nas curvas que sejam representativos de problemas fun-

cionais ou operacionais das sondas utilizadas é feita frente a uma unidade geológica de características elétricas bem definidas (unidade de calibração). Qualquer acréscimo ou diminuição aos “valores-padrão” deste intervalo que não corresponda a variações geológicas deverá ser corrigido (normalizado). Em geral, este controle é feito em perfis de porosidade (densidade, nêutrons e sônico) e de raios gama, obtendo-se assim valores médios para cada um destes perfis dentro do intervalo reconhecido como unidade de calibração e descontando-se o efeito das camadas adjacentes. A correção aplicada ao(s) dado(s) discrepante(s) é obtida estatisticamente segundo a distribuição de frequências e análise de superfícies de tendência. Esta última técnica gera um polinômio que permite ainda

¹ - Setor de Tratamento de Dados Geológicos (SETRAG), Divisão de Operações Geológicas (DIGEO), Departamento de Exploração (DEPEX), Av. República do Chile, 65, Centro, CEP 20035, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

predizer o valor médio esperado em poços a serem perfurados.

A aplicabilidade desses métodos estatísticos de análise de tendência e distribuição de freqüências na rotina de normalização, para um controle mais acurado da qualidade das respostas de ferramentas de perfilagem, é o que será apresentado no decorrer do trabalho.

2 – FONTES DE ERROS E UNIDADE DE CALIBRAÇÃO

A geologia de subsuperfície pode ser conhecida por meio da interpretação dos dados obtidos com a perfilagem de poços. As sondas corridas ao longo do poço investigam as características petrofísicas das rochas de forma quase pontual. Porém, tais características em um mesmo intervalo litológico podem variar de um poço a outro, conforme peculiaridades locais dos reservatórios (heterogeneidades) ou variações geológicas regionais.

As ferramentas responsáveis pelas leituras petrofísicas necessitam ser submetidas a calibrações *shop* (no laboratório da companhia, em períodos pré-determinados) e *field* (na boca do poço no momento que antecede a operação de perfilagem), a fim de garantir dados confiáveis. Estas calibrações constituem fontes de erro se seus valores estiverem fora das especificações recomendadas. O operador daquelas ferramentas também pode ser causador de erro ao manuseá-las e/ou programá-las de forma incorreta. Deve-se considerar ainda que diferentes companhias de perfilagem possuem suas ferramentas construídas sob princípios físicos distintos, o que pode gerar sutis diferenças nos valores lidos por ferramenta. Portanto, para uma normalização rigorosa, deve-se tratar os dados separadamente conforme a companhia de perfilagem. Não se deve esquecer ainda que o tratamento dos dados é baseado em estatística, o que requer uma densidade representativa de cada população para que o resultado final seja válido.

Cada poço perfurado possui um ambiente físico com propriedades distintas, as quais são função direta do seu diâmetro, tipo de fluido utilizado na perfuração, formação de reboco ou desmoronamento de suas paredes, gradiente geotérmico e salinidade da formação. Durante a perfilagem, esses fatores influem diretamente na leitura efetuada pelas sondas, falseando os dados absolutos, devendo, portanto, ser eliminados por meio de correções ambientais, antes que seja processada a normalização das curvas dos perfis.

As unidades geológicas têm composição e textura variadas, que ocasionam pequenas oscilações dos valores lidos pelas ferramentas, porém dentro de limites aceitáveis. Efeitos de cunho regional, bem como particularidades localizadas no intervalo perfurado, também afetam estes valores. Logo, é importante não tratar o dado inicialmente como problemático, pois este pode retratar mudanças nas fácies, no ambiente

de deposição, na diagênese, no grau de compactação, etc., podendo não ser devido a defeitos mecânicos e/ou operacionais. A distinção entre um registro discrepante que represente mudanças geológicas e outro que indique erros de leitura pode ser feita por meio da interpretação dos mapas de uma unidade-padrão. Este intervalo-chave, conhecido como unidade de calibração, deve apresentar litologia homogênea, características petrofísicas semelhantes, comportamento elétrico equivalente, espessura média em torno de cinco metros, saturação pelo mesmo tipo de fluido, e deve ser correlacionável na maioria dos poços perfurados no campo. Um exemplo de uma excelente unidade de calibração é a anidrita, pois apresenta valores de raios gama (GR), densidade (RHOB) e porosidade neutrônica (PHIN) bem conhecidos em perfil, permitindo uma detecção visual de quaisquer valores discrepantes de leitura. Na ausência desta litologia no intervalo em que se deseja normalizar as curvas dos perfis, outra unidade de calibração deve ser admitida, como marcos de carbonatos ou de folhelhos ou camadas contínuas e homogêneas, evitando-se escolher arenitos por apresentarem composições localmente muito variadas, tornando as respostas de perfis naturalmente diferentes em cada poço. Na figura 1 é apresentada uma seção estratigráfica SW-NE do Campo de Rio Urucu, Bacia do Solimões - AM, onde o marco M-300 (anidrita da base da Formação Itaituba) foi selecionado para unidade de calibração.

3 – METODOLOGIA

Em qualquer campo em desenvolvimento, onde se deseja proceder à normalização dos perfis existentes, deve-se conhecer de antemão a sua geologia de subsuperfície e seu histórico de operações especiais.

Após a seleção e a edição das curvas por meio do programa LOGCALC2 (EDITLOG), é feito o processamento das correções ambientais, programa LOGCALC2 (ENVIRON), a fim de subtrair as influências que as condições mecânicas dos poços e os fluidos utilizados em sua perfuração exercem sobre as formações perfiladas.

Com os dados de perfis corrigidos, seleciona-se a unidade de calibração e obtém-se as médias aritméticas para as curvas de porosidade e raios gama. Neste cálculo, devem ser excluídos cerca de 60 cm no topo e na base do intervalo escolhido, a fim de minimizar os efeitos de camadas adjacentes.

Para a construção do arquivo de pontos de controle utilizou-se o programa MENUS (opção RETRIEVAL, formato MAP.TAPE), e para as análises estatísticas a opção SISTEMA DE MALHAS. O arquivo MAP.TAPE é composto pelas coordenadas UTEM X e Y dos poços na profundidade de seleção da unidade-padrão e pelos valores médios de cada curva corrigida (GRCO, PHIN, DLT, RHOC), de acordo com a tabela I. Ao se confeccionar o *grid* dos dados originais, a partir deste arquivo, recomenda-se fazer uma extrapolação controlada para a obtenção de um valor elevado

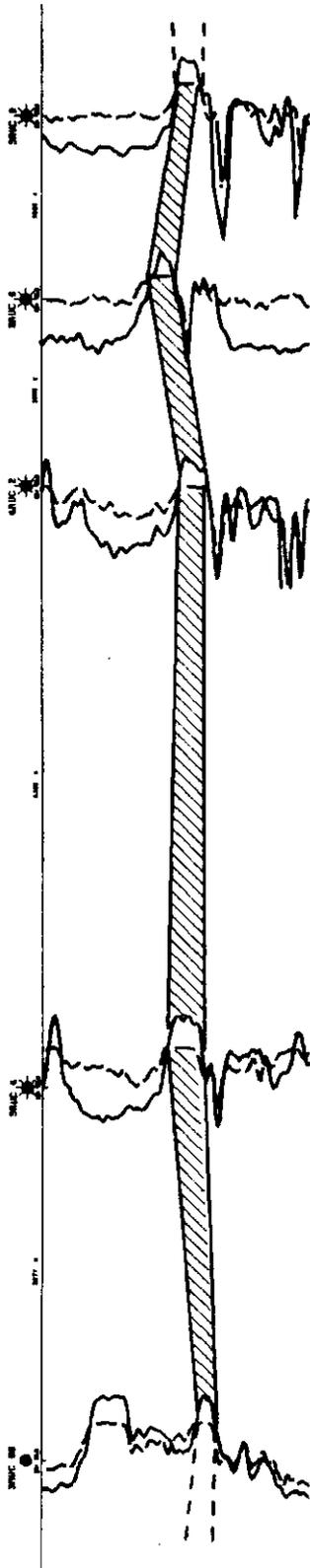


Fig. 1 - Seção Estratigráfica no Campo de Rio Urucu, Bacia do Solimões-AM, mostrando por meio dos perfis de densidade (RHOB) e neutrons (PHIN), a camada de anidrita escolhida como unidade de calibração.

Fig. 1 - Stratigraphic section, Rio Urucu Field, Solimões Basin, AM, showing, in the form of density (RHOB) and neutron (PHIN) logs, the anhydrite bed adopted as calibration unit.

na razão entre o número de nós determinados e o de nós processados. A construção da função polinomial que descreve as superfícies de tendência utiliza como dado de entrada aquele arquivo. O *grid* acima referido, ao ser subtraído das superfícies de tendência, resulta em mapas de resíduos para cada curva. A interpretação destes mapas de resíduos permite localizar as anomalias que serão avaliadas através da confecção de histogramas. A distribuição de freqüências dos erros (resíduos) quantifica a correção a ser aplicada à superfície de tendência para que as curvas dos perfis sejam normalizadas. Ao se confeccionar o histograma dos resíduos, o programa fornece, por intervalo de classe, os limites mínimo e máximo dos valores e o percentual de pontos. Logo, se a moda da distribuição não estiver em zero como se deseja, para que os erros sejam distribuídos aleatoriamente (Doveton e Bornemann, 1981), pode-se quantificar percentualmente a correção. De posse da equação polinomial e do valor percentual de dados a serem normalizados, obtém-se nos perfis leituras semelhantes entre si, em uma mesma formação perfilada.

É importante atentar para a escolha do intervalo de contorno, a fim de que o mapeamento das superfícies de tendência e dos resíduos seja efetuado de forma a não mostrar uma densidade de curvas excessiva nem demasiadamente baixa, que mascare as anomalias. Da mesma maneira, deve-se selecionar o tamanho do intervalo de classe dos histogramas de acordo com a unidade da curva a ser corrigida; por exemplo, um intervalo de classe no histograma dos raios gama pode sugerir uma correção de apenas duas unidades API para esta curva, o que em termos globais é desprezível, porém 2% de correção para a curva de porosidade pode ser significativa.

4 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS

O método estatístico mais amplamente utilizado para normalização de perfis baseia-se na distribuição de freqüências, ou seja, na confecção de histogramas individuais para cada curva, poço a poço, em uma unidade geológica de características semelhantes em perfil (Patchett e Coalson, 1979). O recobrimento destes gráficos entre si objetiva facilitar a comparação visual e ressaltar qualquer deslocamento existente de uma feição em relação à outra, o que é atribuído a problemas de ferramenta. A normalização proposta para a curva defasada, é multiplicar ou adicionar à mesma uma constante que anule suas diferenças de leitura, de modo que a curva responda qualitativamente como nos demais poços. A crítica a este método é que nem todas as curvas cujas feições não se sobrepõem apresentam um erro de origem mecânica, podendo ser reflexo de mudanças litológicas, não sendo possível diferenciá-los entre si (Neinast e Knox, 1973). A confecção de superfícies de tendência permite identificar a origem dessas anomalias de superposição, sendo portanto, um método de maior acurácia para o controle de qualidade das leituras das ferramentas. Elas são

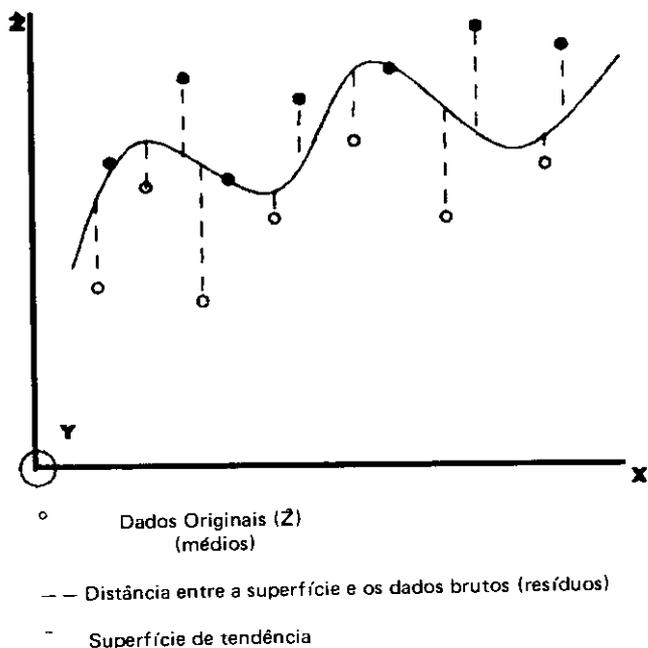


Fig. 2 - Gráfico esquemático indicando o ajuste da superfície de tendência aos dados brutos.

Fig. 2 - Schematic graph fitting trend surface to raw data.

construídas com a finalidade de ajustar os dados brutos a uma função que reflita a tendência regional da estrutura de um campo e para que os resíduos apontem variações geológicas localizadas nas fácies das rochas.

A análise de tendência, portanto, é um método matemático que separa os dados em duas componentes, uma regional e outra local (Davis, 1973), sendo expressa por equações polinomiais de diferentes graus, por exemplo:

$$\bar{Z} = a + bX + cY \text{ função linear}$$

$$\bar{Z} = a + bX + cY + dX^2 + eXY + fY^2 \text{ função quadrática}$$

$$\bar{Z} = a + bX + cY + dX^2 + eXY + fY^2 + gX^3 + hX^2Y + iXY^2 + jY^3 \text{ função cúbica}$$

onde:

os valores de \bar{Z} são as médias das curvas obtidas em cada poço;

a, b, ..., j são constantes, e

X e Y são as coordenadas UTM relativas a \bar{Z} .

A figura 2 exemplifica o comportamento de uma superfície de tendência em relação aos dados originais.

Uma superfície do primeiro grau é uma função linear que designa um plano, o qual raramente expressa a estrutura de um campo, mostrando apenas uma tendência dos valores (continuidade espacial). Um polinômio do segundo grau representa uma superfície mais complexa, suficiente para definir feições do tipo

domos e bacias com curvatura constante. Sucessivos aumentos no grau dos polinômios geram superfícies de melhor ajuste aos dados de entrada, porém com uma complexidade tal, que as tornam impróprias para correlação com a geologia regional, pois indicariam todas as variações locais, fazendo a análise de resíduos pela sua própria essência não ter significado. No entanto, a escolha da superfície adequada depende diretamente do seu percentual de ajuste aos dados e, mais significativamente, do percentual de melhora de um grau em relação ao anterior. Analisando a tabela II, relativa a análise de tendência dos valores médios dos raios gama do Campo de Brejinho - RN, conclui-se que a superfície de segundo grau é superior à de primeiro grau, com melhora significativa no ajuste, enquanto que a superfície de terceiro grau, com pequena diferença no ajuste, tem melhora irrelevante. Assim, a superfície de segundo grau é a mais representativa da tendência geral de variação dos raios gama no campo.

A aplicação correta do método de análise de superfícies de tendência requer que pelo menos cinco condições, a seguir, sejam satisfeitas:

- 1 - por se tratar de um método estatístico, requer um número significativo de dados para que o resultado seja coerente, devendo o número de poços perfilados representar o campo. Seria imprudente, por exemplo, trabalhar os dados de porosidade sônica se apenas 5% dos poços apresentassem este perfil, pois a pequena quantidade de informações poderia mascarar a real tendência de desenvolvimento da porosidade;
- 2 - os dados brutos, através dos quais as superfícies serão traçadas são as médias das curvas já corrigidas para efeito de poço no intervalo-padrão;
- 3 - na delimitação da área em mapa para o processamento do método polinomial, devem ser escolhidas as coordenadas UTM e Y mais próximas dos poços extremos do campo, de forma a se obter grande quantidade de informações em área reduzida. Isso aumenta a eficácia do mapeamento e evita a extrapolação excessiva para regiões onde o dado é escasso ou inexistente;
- 4 - as coordenadas UTM X e Y referentes aos dados originais devem ser lidas na profundidade em que estes foram coletados;
- 5 - em campos fortemente controlados por estruturas falhadas, os poços serão trabalhados separadamente por blocos, a fim de minimizar problemas de ordem geológica, como por exemplo o desaparecimento da unidade de calibração pretendida (Doveton, 1986).

Os métodos estatísticos dos pontos de controle do *grid* do mapa-base e das superfícies de tendência, por si só suavizam e normalizam a distribuição dos dados de forma consistente, ou seja, igualmente por toda a área. Por isso, ao se fazer a distribuição de frequências dos resíduos gerados pela subtração de dois *grids*, es-

TABELA I/TABLE I
FORMATO COLUNADO GERADO COMO SAÍDA MAP-TAPE AO QUAL SE ACRESCENTA O VALOR
MÉDIO DE CADA CURVA DE PERFIL A NORMALIZAR
MAP-TAPE OUTPUT FORMAT SHOWING AVERAGE OF EACH LOG TO BE NORMALIZED

| SIGLA DO POÇO | M.C. | UTM X | UTM Y | GRCO | RHOC | PHIN |
|---------------|------|-----------|----------|------|------|-------|
| 1-RUC-01-AM | 63L | 94594370S | 2444747W | 17.3 | 2.94 | -0.62 |
| 4-RUC-02-AM | 63D | 94637267S | 2484554W | 18.3 | 2.94 | -0.57 |
| 3-RUC-03-AM | 63D | 94588635S | 2429534W | 18.2 | 2.97 | -0.29 |
| 3-RUC-04-AM | 63L | 94615750S | 2447020W | 18.1 | 2.99 | -0.66 |
| 4-RUC-05-AM | 63D | 94567383S | 2458520W | 23.6 | 2.94 | -1.03 |
| 3-RUC-06-AM | 63D | 94649408S | 2490286W | 18.7 | 2.99 | -0.66 |
| 3-RUC-07-AM | 63D | 94574707S | 2419236W | 16.1 | 2.99 | -0.65 |
| 3-RUC-08-AM | 63D | 94654378S | 2502513W | 19.9 | 2.95 | -0.90 |
| 3-RUC-09D-AM | 63D | 94596655S | 2428295W | 19.0 | 2.95 | -0.78 |
| 4-RUC-10-AM | 63D | 94614831S | 2488263W | 22.1 | 2.96 | -0.29 |
| 3-RUC-12-AM | 63D | 94665603S | 2506825W | 22.6 | 2.96 | -0.31 |
| 3-RUC-13D-AM | 63D | 94584017S | 2423301W | 6.0 | 2.97 | -0.51 |
| 3-RUC-14D-AM | 63D | 94565142S | 2416426W | 7.5 | 2.97 | -0.34 |
| 4-RUC-15A-AM | 63D | 94693282S | 2528892W | 18.5 | 2.95 | -0.28 |
| 3-RUC-16D-AM | 63D | 94624628S | 2448114W | 9.3 | 2.98 | -1.02 |
| 3-RUC-17D-AM | 63D | 94584463S | 2415845W | 14.4 | 2.97 | -0.81 |
| 7-RUC-18D-AM | 63D | 94578143S | 2428803W | 14.8 | 2.99 | -0.95 |

TABELA II/TABLE II
RESULTADOS DA ANÁLISE DE TENDÊNCIA, MOSTRANDO OS DADOS NECESSÁRIOS À ESCOLHA
DO POLINÔMIO MAIS ADEQUADO
TREND ANALYSIS RESULTS SHOWING DATA REQUIRED FOR CHOOSING MOST ADEQUATE
POLYNOMIAL FUNCTION

| GRAU | RESID. MIN. | RESID. MAX | AJUSTAMENTO | MELHORAMENTO |
|------|-------------|------------|-------------|--------------|
| 1 | -11.28 | 11.29 | 7.20% | ----- |
| 2 | -11.96 | 8.74 | 44.72% | 520.893% |
| 3 | -10.42 | 7.90 | 64.92% | 45.181% |

pera-se uma distribuição normal simétrica com moda igual a zero (Doveton e Bornemann, 1981), isto é, a máxima densidade de pontos da distribuição não aponta valores residuais anômalos. Isto significa que os resíduos devem estar distribuídos aleatoriamente pelo campo, o que é melhor avaliado por meio de testes de análises residuais tipo *t de student*.

5 – APLICAÇÃO DOS CONCEITOS

Foram escolhidos alguns campos em desenvolvimento para se testar a metodologia de análise de tendência, a saber: Campo de Brejinho - Bacia Potiguar Emersa, Campo de Vermelho - Bacia de Campos e Campo de Rio Urucu - Bacia do Solimões.

No Campo de Brejinho, situado na porção SE da Bacia Potiguar, selecionou-se como unidade de calibração um pacote de folhelho que é o marco do topo da Zona A10 (Formação Pendência) e está presente em todos os poços perfilados que apresentaram

esta zona. Neste intervalo, calcularam-se as médias de porosidade dos perfis de nêutrons dos valores de densidade e dos de raios gama, uma vez que o campo, até a data de execução deste trabalho, apresentava 20 poços perfurados, dos quais 90% haviam sido perfilados por uma mesma companhia de serviços, e apenas um localizava-se em um bloco estruturalmente mais elevado. Optou-se pelo tratamento de todos os dados conjuntamente. O resultado foi bastante satisfatório e ilustrativo. As figuras 3a, 3b e 3c representam as superfícies de tendência de primeiro, segundo e terceiro graus, respectivamente, para os dados de porosidade neutrônica. Com a superfície de primeiro grau obtém-se um baixo grau de ajuste aos dados originais, mascarando a geologia do campo, como era de se esperar. Na figura 3b, apresenta-se o mapa de contorno da superfície de segundo grau, com reflexos da geologia de subsuperfície, como por exemplo na parte norte do mapa, onde se identificam valores mais baixos de porosidade, coerentes com o aumento de argilosidade,

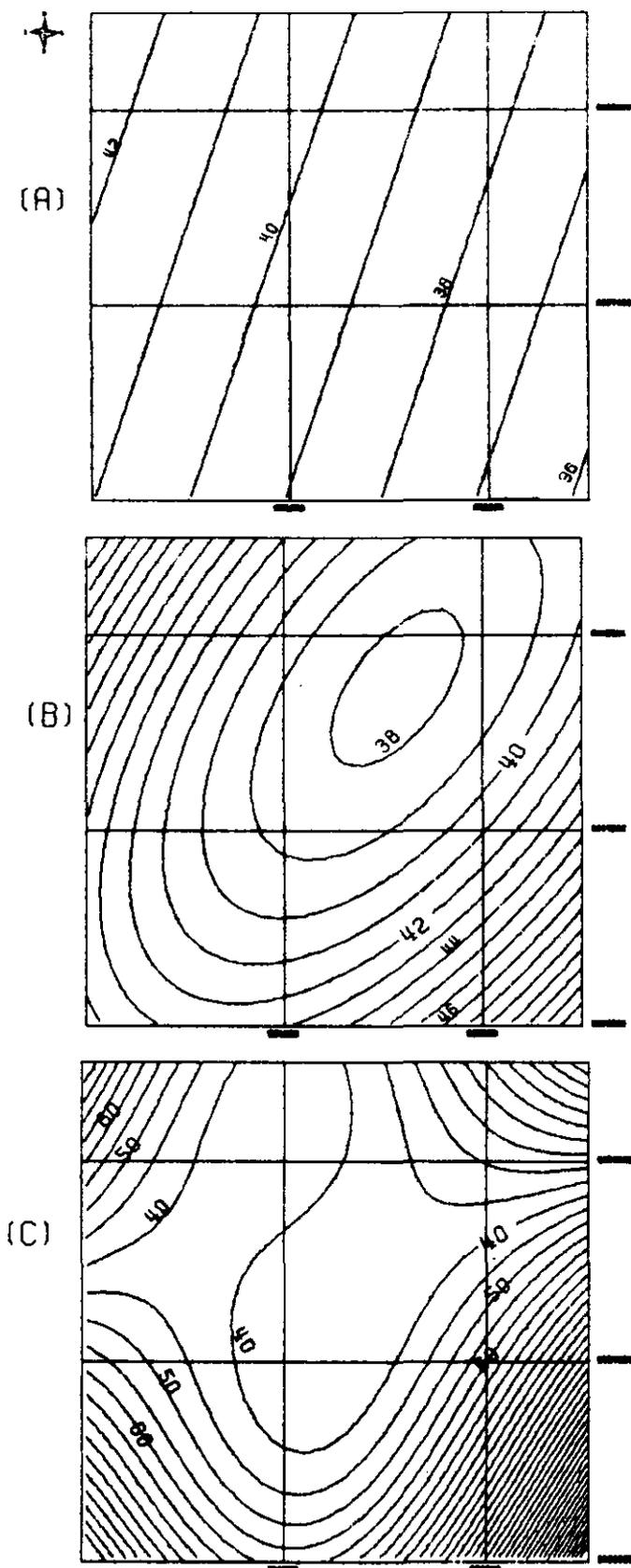


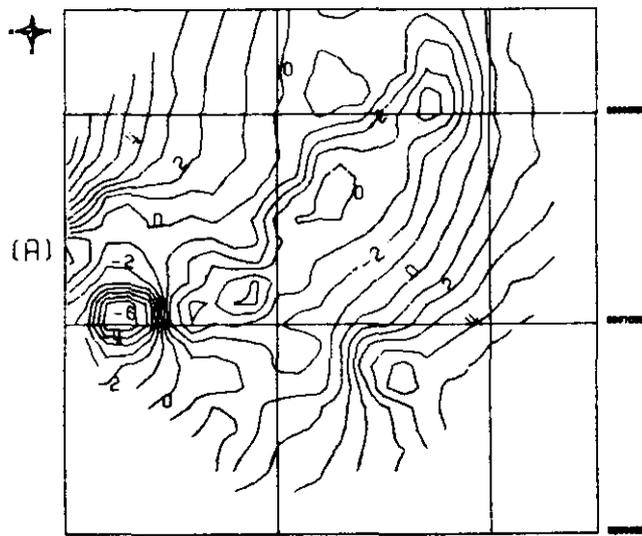
Fig. 3 - Mapas de contorno das superfícies de tendência de 1º grau (A), 2º grau (B) e 3º grau (C) para os valores de porosidade neuttrônica (PHIN) - Campo de Brejinho - Bacia Potiguar - RN.

Fig. 3 - Contour maps for trend surfaces of 1st (A), 2nd (B), and 3rd (C) orders for neutron porosity values (PHIN), Brejinho Field, Potiguar Basin, RN.

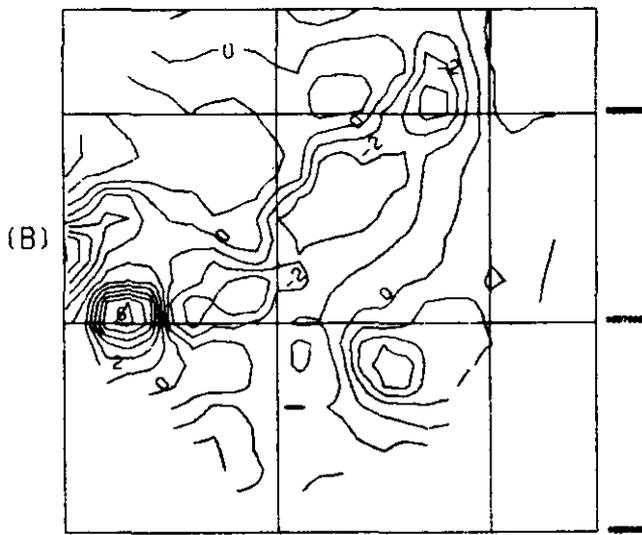
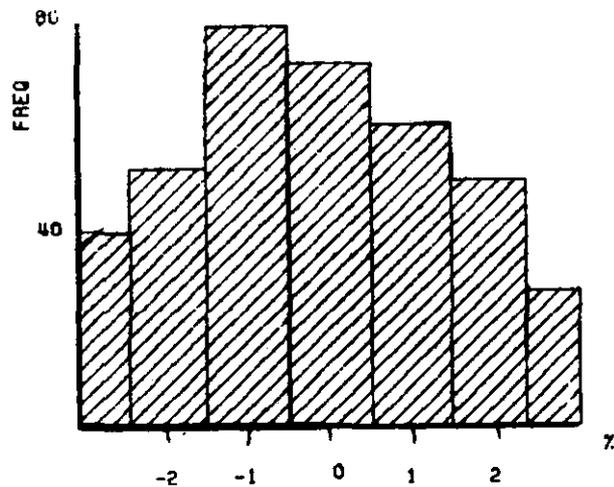
devido ao maior distanciamento da área-fonte. Na figura 3c, é apresentada a superfície de tendência do terceiro grau, onde observa-se que, no centro do mapa, as curvas de porosidade se mantêm com valor aproximadamente constante, tendendo a aumentar para SE, concordando com o sentido do fluxo da sedimentação, que se deu de SE para NW. Aumentos de porosidade para NW e SW nesta mesma figura são devidos à extrapolação computacional efetuada pelo programa. A tabela gerada na análise de tendência (similar à tabela II) aponta o polinômio de grau três como sendo o de melhor ajuste às médias.

Como ilustração, contornaram-se os mapas de resíduos para os três graus de superfícies geradas (fig. 4). Na figura 4a é representado o contorno dos resíduos derivados da superfície de primeiro grau e, a figura 4b, da superfície de segundo grau. Comparando estes dois mapas com o de resíduos da superfície de terceiro grau (fig. 4c), observa-se a importância da escolha do polinômio mais representativo da geologia do campo, pois vê-se, por exemplo, que as figuras 4a e 4b sugerem um *trend* de resíduos nulos de direção SW-NE, o que significaria que os poços perfilados nesta direção não necessitariam de normalização. Porém, analisando-se a figura 4c, este *trend* se encontra alinhado segundo a direção N-S. A maneira mais indicada para avaliar comparativamente estes resultados é por meio da distribuição de freqüências dos erros (fig. 5). As figuras 5a, 5b e 5c são histogramas com intervalo de classe igual a 1% de porosidade. O histograma relativo a superfície de tendência do terceiro grau (fig. 5c) exhibe uma feição de distribuição normal, com as estatísticas média e moda iguais a zero. Isto significa que os perfis do Campo de Brejinho não precisam de normalização, pois quando a moda da distribuição é igual a zero, os possíveis erros existentes estão aleatoriamente distribuídos. No caso de uma escolha errada do grau do polinômio, induzir-se-ia um erro à leitura das ferramentas. Por exemplo, se fosse escolhida a superfície de primeiro grau, a moda estaria deslocada de zero, mais precisamente no valor -1 (fig. 5a), o que indicaria uma correção a 16% dos poços do campo. Em termos geológicos, significaria que a superfície escolhida é otimista em 1% de porosidade em relação ao valor real da porosidade lido nos perfis.

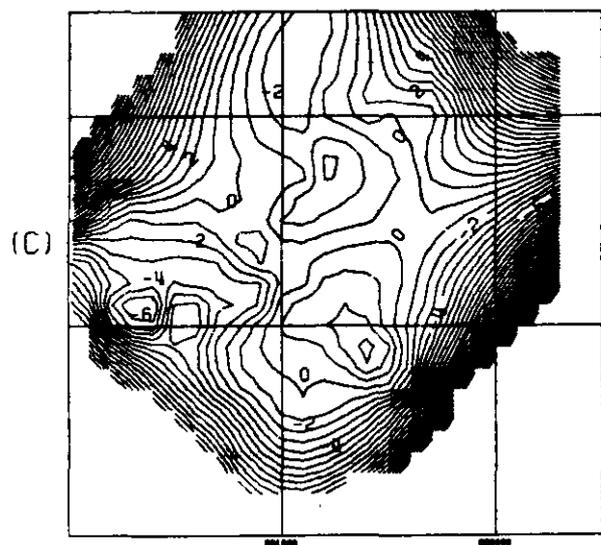
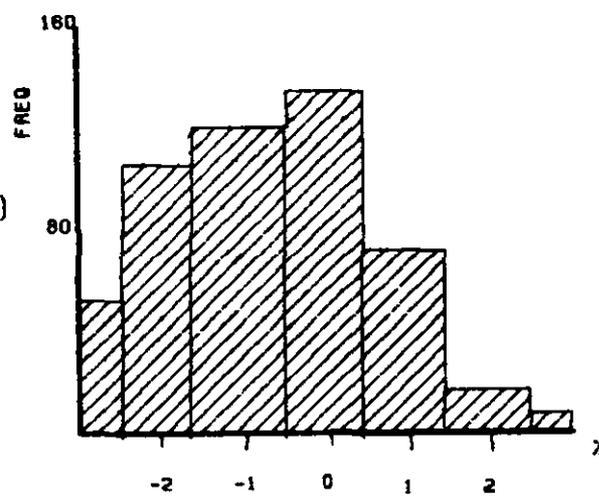
O Campo de Vermelho, situado na parte NW da Bacia de Campos - RJ, teve seus perfis avaliados segundo a metodologia discreta. Os mapas de contorno das superfícies de tendência de graus dois e três e dos respectivos resíduos apresentam um adensamento das curvas em torno do poço 7-VM-5-RJS. Esta feição foi observada para os mapas relativos aos perfis de porosidade, densidade e raios gama. Por se tratar de uma anomalia localizada em torno de um único poço, consultou-se o histórico de operações especiais, onde constatou-se não haver sido substituído o fluido de perfuração utilizado na testemunhagem antecedente à perfilagem. Neste caso, o procedimento mais coerente foi efetuar uma regressão linear a partir dos valores de PHIN, RHOC e GRCO dos poços mais pró-



(A)



(B)



(C)

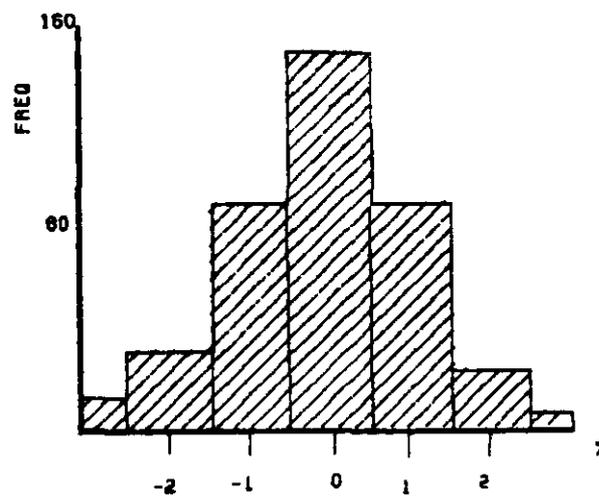


Fig. 4 - Mapas de contorno dos resíduos obtidos a partir das superfícies de tendência de 1º grau (A), 2º grau (B) e 3º grau (C) para os valores de porosidade neutrônica (PHIN) - Campo de Brejinho - Bacia Potiguar - RN.

Fig. 4 - Residual maps derived from trend surfaces of 1st (A), 2nd (B), and 3rd (C) orders for neutron porosity values (PHIN), Brejinho Field, Potiguar Basin, RN.

Fig. 5 - Histogramas dos resíduos de porosidade neutrônica (PHIN) para cada superfície de tendência de 1º grau (A), 2º grau (B) e 3º grau (C), - Campo de Brejinho - Bacia Potiguar - RN.

Fig. 5 - Frequency distribution of residuals for neutron porosity data (PHIN) for trend surfaces of 1st (A), 2nd (B), and 3rd (C) orders, Brejinho Field, Potiguar Basin, RN.

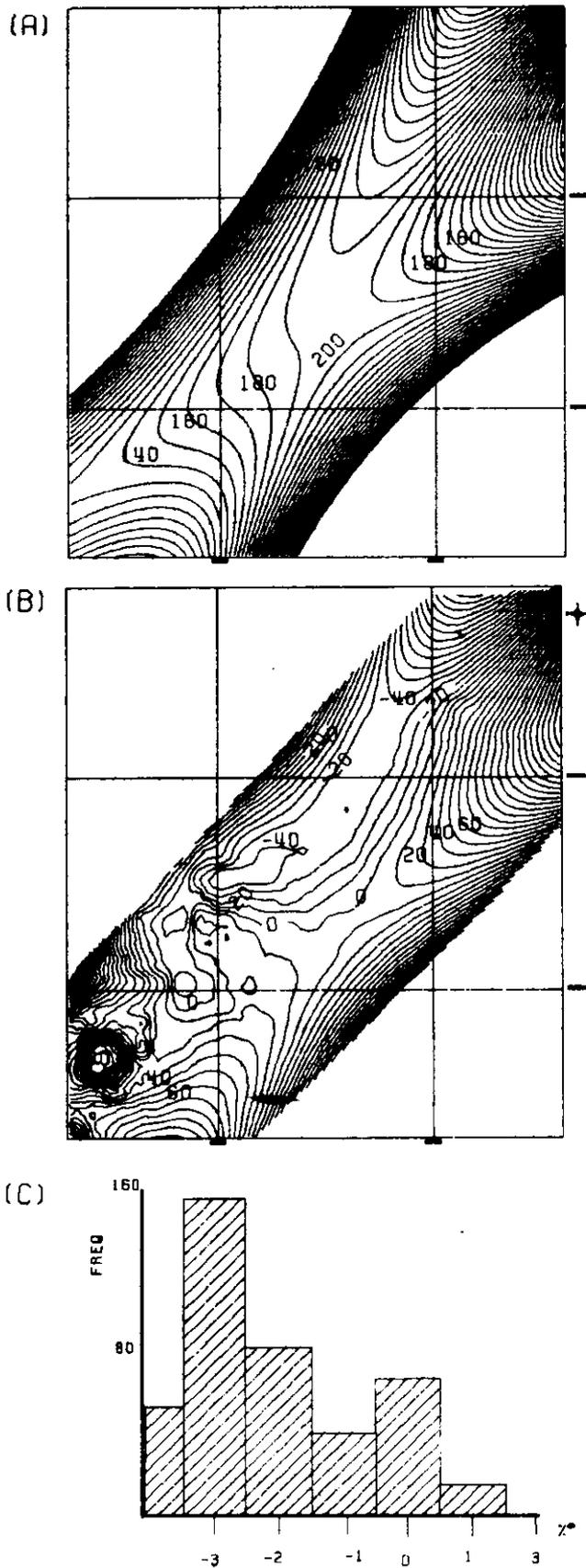


Fig. 6 - Mapas de contorno para a superfície de tendência do 3º grau (A) dos resíduos (B) e histograma (C) dos valores de raios gama - Campo Rio Urucu - Bacia do Solimões - AM.

Fig. 6 - Contour maps of 3rd-order trend surface (A), residuals (B), and frequency distribution (C) for gamma-ray data, Rio Urucu Field, Solimões Basin, AM.

ximos (que se encontravam em uma mesma curva de contorno nos mapas acima referidos), utilizando o pacote estatístico SAS, disponível na PETROBRAS.

No Campo de Rio Urucu, Bacia do Solimões, a unidade de calibração selecionada foi a anidrita da base da Formação Itaituba (Marco 300). Descontando-se o efeito da camada adjacente para as curvas de PHIN, RHOC e GRCO, percebe-se de antemão que para os dados de densidade (RHOC) não há nenhuma normalização a ser efetuada, porém as médias dos valores de raios gama corrigidos (GRCO) variam de seis a 23 unidades API, o que é significativo no que concerne à anidrita (tabela I). O processamento da análise de tendência para os dados de GRCO indicou o polinômio de terceiro grau como o de melhor ajuste (fig. 6a). Subtraindo-se desta superfície o *grid* de dados brutos obtiveram-se os resíduos que, após contornados, mostraram localmente na porção SW, uma densidade elevada de curvas de iso-raios gama (fig. 6b). Porém, neste local situam-se os poços 3-RUC-13D-AM e 3-RUC-14D-AM, que pela tabela I mostram valores de raios gama em torno de seis unidades API. O histograma (fig. 6c) sugere aplicar uma correção a 15% dos poços do campo (nota-se que a moda da distribuição se encontra deslocada de zero por -3 unidades). Como o campo apresentava um total de 20 poços perfurados, este percentual corresponderia a três poços a serem selecionados para correção. De acordo com a tabela I, seriam escolhidos os de médias de raios gama baixa, a saber 3-RUC-13D-AM, 3-RUC-14D-AM e 3-RUC-16D-AM. Para efetuar a normalização destes poços, seriam introduzidas as suas coordenadas UTM X e Y na equação fornecida pelo programa de análise de tendência, obtendo assim o valor médio esperado de GRCO para aquela unidade de calibração nos respectivos poços. Porém, no caso específico deste campo, tais valores são verdadeiros, pois sabe-se que a anidrita apresenta valores próximos a zero para as leituras de raios gama. O problema estaria então nas médias de valores elevados, sendo necessário um estudo mais detalhado sobre a composição e o ambiente de deposição desta anidrita, uma vez que as altas médias não eram devidas a problemas de resolução de ferramentas, já que persistiam mesmo após ter sido minimizado o efeito de camada adjacente, com a anidrita continuando a apresentar espessura superior a um metro em todos os poços. Constatou-se então que a descrição dos testemunhos acusava a presença de anidritas nodulares, que em alguns poços não constituíam uma camada homogênea, devido ao pequeno grau de coalescência dos nódulos, além de ter sido descrita a presença de cimento dolomítico, o qual seria responsável pela elevação das leituras de raios gama.

6 - CONCLUSÕES

A análise de superfícies de tendência é um método eficaz no mapeamento de valores anômalos exis-

tentes no campo, permitindo um estudo mais acurado da área, além de gerar equações e quantificar correções para normalizarem os dados discrepantes.

No que concerne à função polinomial descritiva da superfície de tendência, cabe ressaltar a relação entre o grau do polinômio e a geologia regional. Em geral, as superfícies de segundo grau são as que melhor refletem a feição estrutural de um campo; porém, quanto maior o grau destas, maior o ajustamento das superfícies aos dados originais, e menor a equivalência com o estilo estrutural do campo.

A morfologia estrutural do campo, bem como o modelo deposicional das rochas estudadas têm importância significativa na interpretação dos mapas de contorno das superfícies, pois validam determinadas tendências obtidas, permitindo checar a existência de anomalias geológicas sistemáticas em mapas residuais. Também é importante conhecer o histórico de operações especiais do campo para saber sobre a ocorrência, durante a operação de perfuração, de eventuais problemas de ferramentas e de fluido de perfuração.

Companhias de perfuração distintas, pelo próprio princípio físico de funcionamento das ferramentas, podem apresentar diferenças sistemáticas entre os resíduos das leituras de seus perfis.

O estudo por meio das médias ponderadas pela espessura do intervalo é interessante do ponto de vista geológico, uma vez que as variações de espessura da unidade geralmente são reflexo do ambiente de deposição, erosão, compactação ou outros fatores geológicos, o que de certa forma influi na resposta dos perfis. Porém, a média aritmética dos valores não difere significativamente do resultado obtido com a média ponderada.

A distribuição geográfica dos pontos de controle do *grid* tem influência significativa, ou seja, quanto mais regular a malha dos poços perfilados, menor é a extrapolação e maior o percentual de nós calculados

durante o processo da distribuição geográfica dos pontos de controle.

As equações que definem as superfícies de tendência de melhor ajuste são escritas em função das coordenadas UTM X e Y dos poços na profundidade da unidade de calibração. Com isso, pode-se prever o valor bruto médio esperado para cada curva dos perfis de outros poços a serem perfurados na área, simplesmente, introduzindo suas coordenadas UTM na equação da superfície.

AGRADECIMENTOS

Aos geólogos Sérgio Ribeiro Porto (DEPEX/DITREX) pelo apoio e orientação no uso do aplicativo estatístico do dispositivo MENUS, Théognis Castejon Rodrigues (DEPEX/DIGEO) pelo incentivo, ao professor Cláudio Bettini (CENPES/DIGER) pelas discussões metodológicas, e ao geofísico Carlos Rodriguez Suarez pelas críticas e sugestões relativas ao texto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAVIS, J. C. *Statistics and data analysis in geology*. New York: John Wiley, 1973. 550 p.
- DOVETON, J. H., BORNEMANN, E. Log normalization by trend surface analysis. *The Log Analyst*, v. 22, n. 4, p. 3-8, 1981.
- DOVETON, J. H. *Log analysis of subsurface geology*. New York: John Wiley, 1986. p. 184-212.
- NEINAST, G. S., KNOX, C. C. Normalization of well log data. In: SOCIETY PROFESSIONAL WELL LOG ANALYSTS. LOGGING SYMPOSIUM, 14, Lafayette, 1973. *Tramaction of the Spwla fourteenth annual logging symposium*. Houston, 1973. 1 v, 1-19.
- PATCHETT, J. G., COALSON, E. B. The determination of porosity in sandstones and shaly sandstones, part 1 : quality control. *The Log Analyst*, Houston, v. 20, n. 6, 1979.

EXPANDED ABSTRACT

The present paper discusses such statistical methods as frequency distribution, trend surface analysis, and residual analysis as potential tools in log normalization. When well-log data are used to subsidize any type of work, the quality of the recorded information must first be verified. This quality control is known as log normalization. A number of factors may provoke errors in log readings: miscalibrated tools (i. e., not within recommended specifications); incorrect handling of equipment; effects on readings caused by the physical well environment; and equal treatment of tools with distinct physical principles.

Variations in log readings that reflect real petrophysical changes in subsurface rock should not be corrected. In order to identify discrepant values, the reliability of log data must thus be checked against a calibration unit, defined by the following: homogenous lithology, with

similar petrophysical characteristics; equivalent electrical/radioactive behavior; expressive thickness; and saturation by the same type of fluid. This unit should be present in most of the wells in the area under study. Methodology consisted in first correcting the log curves for well effect. A well file was compiled, using UTM X and Y coordinates and average values by curve to be analyzed. Gamma-ray (GR), density porosity (PHID), neutron porosity (PHIN), and sonic (DLT) curves were treated. This file was used to build both a grid of the original data, with controlled extrapolation, and a trend surface grid. The trend surface was chosen in accordance with the order of the polynomial that best reflected the existing subsurface regional structure. Analysis of residuals was performed by subtracting grids (trend - original data). The resulting residuals were the numerical differences between the raw values of the points and the

values calculated by the surface of these same points. These errors reflect local variation of the calibration unit. Ergo, a study of these residuals by means of frequency distributions should reveal a symmetrical normal distribution for the data set, with mode equal to zero, so that the errors are randomly distributed over the area. If this is not the case, it is necessary to normalize the log(s) containing discrepant values.

This methodology was applied in three hydrocarbon fields. The Brejinho Field, Potiguar Basin (Rio Grande do Norte), presented no logs requiring normalization, since the 3rd-order trend surface revealed the expected frequency distribution for the residuals. In the Vermelho Field, Campos Basin (Rio de Janeiro), however, contour maps of the 2nd-order trend surface showed significant densification of curves around one particular well, both for gamma-ray as well as for porosity values. An

analysis of logging records indicated problems with the drilling mud in that well, which was thus discarded from analysis. In the Rio Urucu Field, Solimões Basin (Amazonas), results pointed to anomalies in the gamma-ray curve but indicated no need to normalize the other curves. A thorough study of the lithological composition of the chosen calibration unit revealed the local presence of minerals that altered forecast radioactive readings. The findings of these studies prove the accuracy and efficiency of statistical methods in pinpointing errors and quantifying the corrections to be applied in log-curve normalization. They also provide an indication of the value expected for other wells since the chosen trend surface equation can be used to calculate the expected value when the UTM X and Y coordinates of any new well are furnished.