



## Modelagem de agrupamento de dados sísmicos usando mapas de Kohonen

Ernesto Fleck PUC-RIO/Tecgraf, Brasil, Rogério de A.Santos PETROBRAS S/A, Brasil, Carlos Eduardo Pedreira PUC-RIO/DEE e Edinalda M. de Souza PUC-RIO/Tecgraf

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

**Traditionally, there has been much emphasis on geophysics analysis by which visualization is developed considering parts of the global data. In this paper seismic signals are first grouped by Kohonen algorithm and then combined for visualization. Based on the properties associated with these groups, a method of seismic data modeling is proposed.**

### Introdução

Neste artigo propõe-se um método para auxiliar a visualização de corpos geológicos com hidrocarbonetos em dados sísmicos 3D.

O tratamento do dado sísmico para a visualização de reservatórios de hidrocarbonetos acontece em geral do todo para o específico. Em outros termos, determina-se a visualização do bloco sísmico global para, a seguir, investigar-se janelas de detalhamentos [1][2]. No método aqui proposto, inicialmente observam-se diferentes grupos classificados, de acordo com suas próprias características, e então são estabelecidas especificidades para suas visualizações. Em síntese, propomos uma análise de dados sísmicos através da extração de informações de grupos de dados coerentemente formados por camadas, onde a estrutura geológica modelada é a informação à priori.

Na primeira parte deste trabalho ilustram-se as características de um dado sísmico sintético que serviu de base para a nossa análise. Com tais características determina-se a seguir, um método para a formação e classificação dos grupos de dados sísmicos e examina-se a escolha de mapas de Kohonen (redes neurais) como solução para o modelo de tratamento de tais dados sísmicos. Finalmente, descrevem-se alguns resultados obtidos.

### O dado sísmico sintético

Dados sísmicos são concentrações não-lineares de sinais e ruídos, distribuídas em funções não conhecidas previamente. Tais concentrações determinam as estruturas a serem visualizadas, que podem ser pensadas como agrupamentos de pontos (grupos) combinados em múltiplas funções (normalmente não lineares).

Os sinais sísmicos são próprios da combinação dos diversos materiais do subsolo pelos quais a onda sísmica viaja. Este fato implica numa resposta própria de cada local à sísmica. Em conseqüência, torna-se complexo definir padrões de sinais sísmicos para diferentes tipos de subsolos. Uma ausência de dados no modelo converge para a matriz do modelo como "faltante". Dados com estruturas sísmicas duplicadas (múltiplas e *side-lobes*) são considerados como "estruturas falsas" e devem, se detectadas, ser consideradas, tal qual o primeiro caso, como "faltantes" [3].

No nosso enfoque, o dado sísmico é armazenado em dois tipos de variáveis. O primeiro tipo é relativo à posição do dado: variáveis "x", "y", "z", com um indicativo da camada a qual o ponto pertence, dentro do modelo à priori. O segundo tipo de variável corresponde ao atributo sísmico detectado para tal ponto (aqui nomeado como real).

### Método

Partindo-se da premissa que um conjunto de dados submetido à função Gaussiana (por exemplo: bloco sísmico) pode ser composto por grupos também Gaussianos, uma tentativa de se separar estes grupos pode ser interrompida pela ausência de respostas a uma série de questões complexas. Por exemplo, quantos grupos existem no bloco sísmico, quais as fronteiras entre cada grupo, como melhor considerar os dados de entrada para visualizações geofísicas ou geológicas.

No entanto, vamos considerar o nosso objetivo na formação de cada grupo.

$$\text{Valor min } G_{i+1} = \text{valor max } G_{i+1} + \delta$$

$$i = (1, 2, 3, \dots, n)$$

$$\text{onde: } n \text{ é o número de grupos e } \delta > 0$$

O quadro acima explicita que cada grupo formado tem seu valor mínimo igual ao valor máximo do grupo anterior acrescido de um valor maior do que zero.

Teoricamente, podemos determinar a fronteira entre dois grupos através do gradiente da função de distribuição  $\nabla f$  que determina o grupo [4]. E mais, o melhor ponto para o posicionamento da fronteira é representado pelo indicador teórico de transição de intensidade: o Laplaciano.

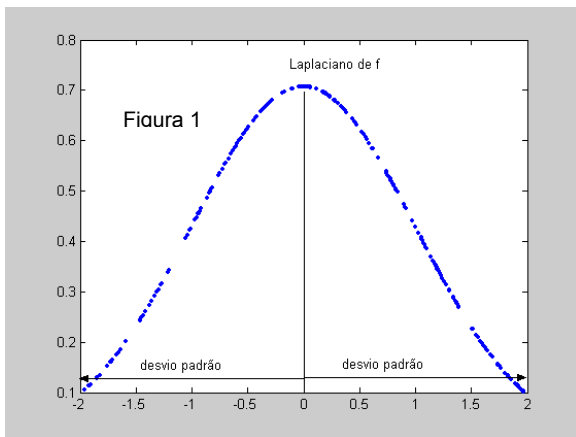
Considerando cada grupo  $i = \{1, 2, 3, \dots, n\}$  como distribuições Gaussianas, podemos escrever:

$$g_i = \exp\left(-\frac{d_i^2}{2\sigma_i^2}\right)$$

onde  $d$  é a distância relativa do ponto à origem convencionada do grupo e  $\sigma$  é o desvio padrão de grupo. Além disso, o Laplaciano desta função pode ser escrito como [4]:

$$\nabla^2 g_i = \beta \exp\left(\frac{d_i^2}{2\sigma_i^2}\right)$$

que tem como representação gráfica a figura 1:



Então, as fronteiras de um grupo numa distribuição Gaussiana podem ser relacionadas ao valor do seu desvio padrão. Usamos este fato para enunciar uma primeira definição.

#### Definição 1

Um grupo denso é aquele que concentra valores de seus elementos (>90%) na região em torno da média entre um desvio padrão à direita e um desvio à esquerda.

Outra definição que se mostrou necessária, complementar à primeira, foi a simetria em torno da média de cada grupo. Esta definição tem a seguinte exposição:

#### Definição 2

Um grupo é simétrico se as distâncias entre os valores máximo e mínimo do grupo até a média forem equidistantes.

Considerando que os dados sísmicos são claramente não lineares, nos concentramos em modelos

não lineares de agrupamentos. Dentre os existentes, escolhemos o modelo de Mapas de Kohonen. As modificações introduzidas neste modelo são reportadas no próximo item.

#### Modelo

O modelo estatístico utilizado neste artigo foi o Mapa Auto-organizável de Kohonen [5] que está classificado como um modelo de redes neurais não supervisionada. O algoritmo de Kohonen foi adequado às características dos dados sintéticos em alguns pontos. O primeiro está relacionado à condição inicial dos pesos dos neurônios. Esta adequação nos proporcionou ganho de tempo computacional com uma convergência mais rápida na estabilidade dos grupos. A segunda mudança no algoritmo está associada às variáveis de definição de vizinhança e de aprendizado que foram associadas ao Laplaciano. Esta associação pode ser vista observando-se a fórmula de definição dos pesos “ $w$ ” determinados a cada iteração:

$$w(n+1) = w(n) + \eta(n)h(n)(x - w(n))$$

onde:  $n = \text{iteração}$

$$\eta(n) = \beta \in \nabla^2 g$$

$$h(n) = \exp\left(\frac{d^2}{2\sigma^2}\right) \in \nabla^2 g$$

Um fator de atenuação foi incluído na fórmula com o objetivo de associar, na formação dos grupos, a convergência dos resultados e a quantidade de iterações.

#### Resultados

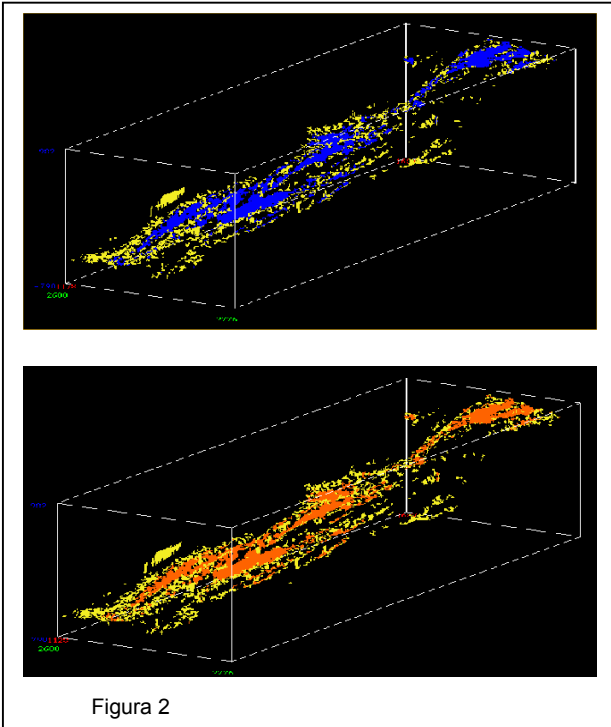
Experiências empíricas indicaram a quantidade de 9 grupos onde foram observados os melhores resultados nos agrupamentos. O número de iterações (épocas) é controlado pelo usuário.

Dois tipos de grupos foram observados nos dados sintéticos. No primeiro deles, as duas definições estabelecidas anteriormente foram observadas e consideradas como construtoras de “Estruturas Sísmicas”. Assim, Estruturas Sísmicas são grupos densos e simétricos. No segundo grupo, a simetria em torno da média não foi observada. Esta assimetria no grupo causou altos valores de desvios padrões (confrontados com as Estruturas Sísmicas). O método não encontrou pertinência (grupos próprios) para específicas amplitudes (valores altos e baixos). As experiências com grupos assimétricos não apresentaram resultados satisfatórios vis-à-vis nossa expectativa na definição de formas geométricas similares às geofísicas e geológicas.

O método foi aplicado de duas maneiras. Na primeira, o modelo foi aplicado aos dados pertencentes a cada camada do modelo à priori. Na maneira seguinte foi considerado o bloco sísmico (total dos pontos).

A aplicação do método nos dados de cada camada nos forneceu uma visão temporal (sísmica) do depósito

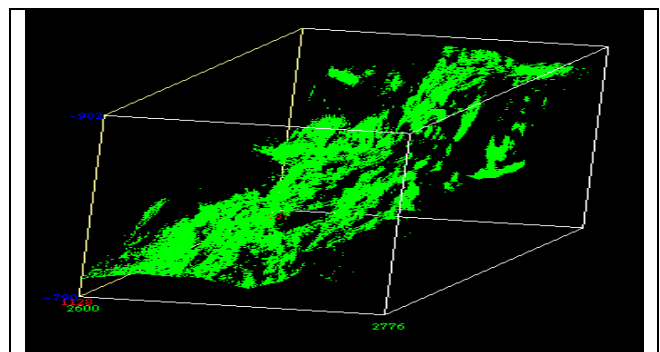
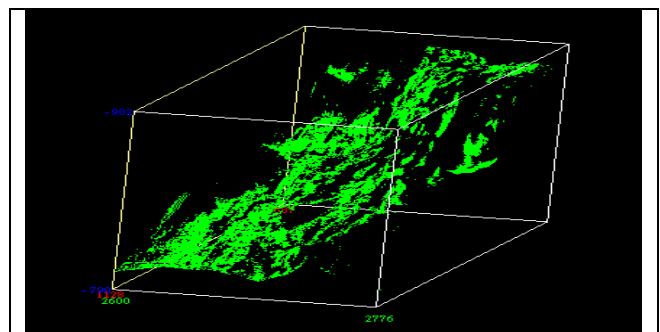
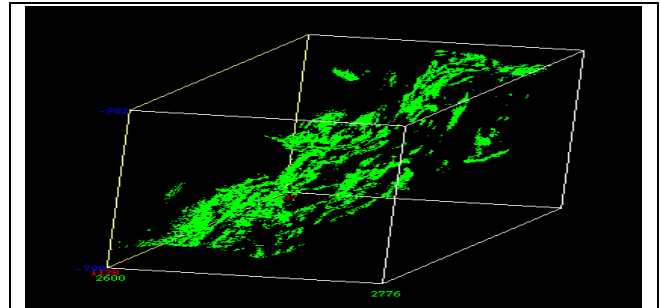
dos terrenos. Em outros termos, a forma de uma mesma Estrutura Sísmica é visualizada com amplitudes diferentes em diferentes camadas. A figura 2 mostra uma aplicação camada à camada



Observam-se na figura 2 duas estruturas pertencentes a camadas diferentes. A estrutura em vermelho, pertencente à camada 1 foi a primeira a se depositar. Suas características podem ser resumidas por 10541 pontos selecionados cuja amplitude real varia entre 4536 e 7069. Esta mesma forma aparece na camada 0, em azul, com 12990 pontos cuja amplitude real varia entre 4650 e 8097.

Mudando o enfoque, aplicamos o método ao conjunto completo dos dados (772800 pontos). O objetivo nesta etapa foi o de estudar agrupamentos que possuíssem as mesmas propriedades em diferentes partes do volume total considerado na amostra.

Uma primeira constatação foi a continuidade de estruturas entre camadas. O modelo agrupou dados formando estruturas que se complementam entre as camadas. Por exemplo, em todo o volume sísmico, o grupo 2 é constituído de amplitudes que variam entre 5281 e 5678. Os elementos com esta faixa de amplitudes estão distribuídos em camadas definindo formas geométricas por vezes semelhantes sugerindo a idéia de bloco. Os elementos de Estruturas Sísmicas podem se configurar também de outra maneira. É possível ver a continuação da estrutura na outra camada. A figura 3 ilustra um exemplo desta constatação.



Uma segunda averiguação concerne ao estudo da visualização entre as diversas Estruturas Sísmicas numa mesma camada. O método permite avaliar diferentes formas geométricas que podem ser associadas a formas geológicas. A atribuição de diferentes cores para cada grupo permite uma visualização destas formas. A figura 4 mostra um exemplo desta facilidade.

Finalmente, constatamos que o modelo detecta estruturas duplicadas em diferentes camadas. Este fato é importante no auxílio da visualização de eventos sísmicos múltiplos nos dados registrados. Com efeito, este método associado a técnicas de dimensionamento de similaridades pode ser útil aos preparadores do fornecimento de matrizes de dados sísmicos.

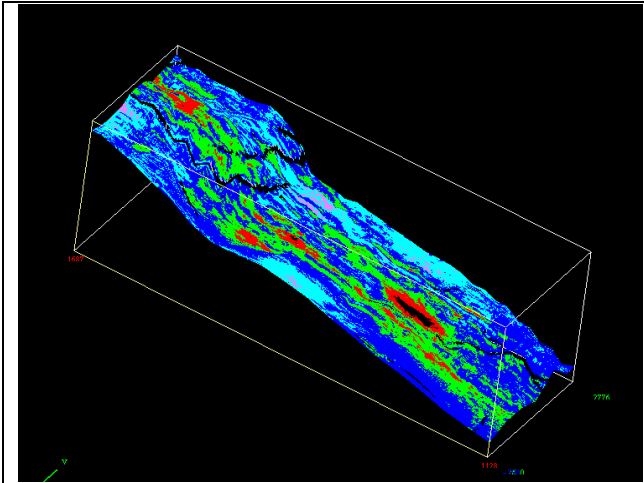


Figura 4

A figura 5 mostra a replicação dos grupos 1,2,3 e 4 nas camadas 0 e 7.

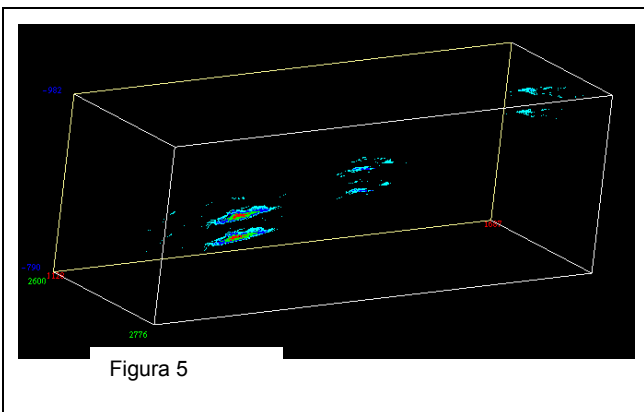


Figura 5

## Conclusão

A aplicação de mapas de Kohonen a um modelo a priori de camadas sísmicas, usada como ferramenta na interpretação de dados sísmicos, revelou algumas novas contribuições.

A primeira está relacionada ao modo de visualizar os dados sísmicos. Neste artigo a idéia central é determinar grupos com os dados sísmicos e, a partir destes, analisar o bloco sísmico.

O uso de redes neurais mostra a potencialidade desta ferramenta. As alterações ao modelo de Kohonen mostraram-se eficientes. A adequação do Laplaciano na determinação de fronteiras de agrupamentos e identificação de estruturas sísmicas, mostrou-se bastante eficaz. A proposta de aplicação de duas propriedades (simetria em torno da média e grupo denso) é crítica, na medida em que ela delimita quais grupos podem ser considerados como Estruturas Sísmicas e quais devem ser avaliados com reservas.

Dependendo de como se aplica este método aqui apresentado, camada a camada ou a um bloco sísmico como um todo, diferentes tipos de análises podem ser desenvolvidos: por um lado, a aplicação camada a camada pode gerar uma idéia sobre a configuração estratigráfica dos depósitos geológicos. Já o tratamento do bloco sísmico como um todo, pode gerar, geologicamente, alternativas estruturais úteis. Na primeira está contida a avaliação de continuidade entre camadas. Na segunda o importante passa a ser a avaliação detalhada das formas das Estruturas Sísmicas existentes no bloco.

A análise de estruturas duplicadas é outra contribuição. O método abre a perspectiva da determinação destes tipos de estruturas através de estudos de similaridades, ou através de estudos de dependências estatísticas (monovariáveis), podendo ser usado para identificação e atenuação de efeitos sísmicos múltiplos de alta freqüência espacial em reservatórios delgados [6].

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Petrobras e à FINEP, patrocinadoras do Projeto SISMOSEG3D, através do CTPetro, e também ao Tecgraf/PUC-Rio pelo suporte oferecido a este trabalho.

E. Fleck é bolsista do CNPq.

## Referências

- [1] Santos, R. A., Lopes, M. R., Cor, C. A. G., Bruhn, C. H.L., "Adaptative Visualization of Deepwater Turbidite Systems in Campos Basin Using 3-D Seismic", The Leading Edge, May 2000.
- [2] Caers, J., Mukerji, M., "Geostatistical Integration of rock physics, Seismic amplitudes, and geologic models in North Sea turbidite systems", The Leading Edge, March 2001, 308-312.
- [3] Robinson, E. e Treitel, S., "Geophysical Signal Analysis", Prentice-Hall, 1980.
- [4] Gonzalez, R., Woods, R., Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- [5] Kohonen, T., "Self-Organizing Maps", Springer, Third Edition, 2001.
- [6] Santos, R., A., Fleck, E., Pedreira, C.,E. e Souza, E.,M. – Reservatórios delgados agrupados por redes neurais em dados sísmicos 3D – Trabalho submetido ao Eighth International Congress of The Brazilian Geophysical Society, 2003