



## Identificação de Litologias em Perfis através da Média-C Fuzzy.

Ciro Clímaco & André Andrade (UFPA)

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent 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

A first task in geologic interpretation of wireline log is the log zonation or the subdivision of the log in lithologic layers. The translation of physical properties in lithologic information is not a trivial task. The use of MN plot, a classic method of formation evaluation may be efficient to help in the log zonation.

We introduce an intelligent algorithm, the fuzzy C-means to interpret the MN plot to produce the log zonation. This method is presented with synthetic well log data and shown an application with actual well log data from boreholes drilled in the Namorado oil field, Campos's basin, Brazil.

### Introdução

O zoneamento de um perfil é a sua divisão em profundidade, em função das diversas litologias atravessadas pelo poço. Esta é uma atividade clássica da interpretação geológica de perfis que envolve a identificação da litologia, bem com os limites verticais de uma determinada camada.

A identificação litológica das diversas camadas rochosas atravessadas pelo poço é primeiramente realizada a partir da análise geológica dos testemunhos que são análise de rochas colidas no interior do poço através de operação de perfuração de testemunhagem.

A identificação litológica pode ser usada indiretamente pela interpretação dos perfis de poço. O modelo de rocha adotado pela geofísica de poço assume uma rocha composta por uma fração sólida denominada como matriz e formada por um único mineral. O modelo de rocha considera ainda uma fração fluida denominada poro e composta por porcentagens volumétricas variáveis de água salgada e hidrocarbonetos. O volume da fração fluida é diretamente ligada a propriedade petrofísica, porosidade, que pode alterar as características físicas da matriz. A lei que rege esse fenômeno é a equação geral dos perfis de porosidades.

Uma método clássico da avaliação de formação para a identificação do mineral principal na composição da matriz é o método gráfico MN (Burke et al, 1963). O gráfico MN simplifica a equação geral dos perfis de porosidade

através de operações de divisão usando os perfis de densidade, neutrônico e sônico.

O uso de algoritmos inteligentes na interpretação de perfis geofísicos de poço é cada dia mais freqüente na indústria do petróleo. Vários tipos de algoritmos computacionais têm sido empregados na geofísica de poço. Esses algoritmos são as redes neurais artificiais, a lógica fuzzy e algoritmos genéticos. Um método fuzzy bastante conhecido é a média-C fuzzy tem sido muito usada em vários ramos da engenharia.

Nesse trabalho é apresentado um algoritmo inteligente, tendo como base a média-C fuzzy para realizar o zoneamento litológico de um poço a partir da interpretação automático do gráfico M-N. Este método é apresentado com dados sintéticos e avaliado com perfis de um poço do campo de namorado, Bacia de Campos, Brasil.

### Metodologia

A média-C fuzzy é utilizada para a determinação dos centros das nuvens de pontos do perfil que se formam no gráfico M-N com isto tem-se uma redução expressiva do tempo computacional, que possibilita a aplicação deste método em tempo real de perfilagem de poço aberto.

### Gráfico M-N

O método do gráfico M-N (Burke et al, 1963) toma em cada eixo coordenado as inclinações das litologias reservatório observada nos gráficos densidade-neutrônico e densidade-sônico para definir um único ponto para cada litologia interpretada pelo seu mineral principal. Matematicamente pode ser expresso na forma,

$$N = \frac{\phi_{nw} - \phi_{nm}}{\rho_m - \rho_w} \quad (1)$$

$$M = \frac{t_w - t_m}{\rho_m - \rho_w} \quad (2)$$

Nas equações 1 e 2, o parâmetro  $\phi$  é a porosidade,  $\rho_w$  é a densidade da água,  $\rho_m$  é a densidade da matriz,  $\phi_{nw}$  é o neutrônico da água,  $\phi_{nm}$  é o neutrônico da matriz,  $t_w$  é o sônico da água e  $t_m$  é o perfil sônico da matriz.

Os valores de M e N dos principais minerais formadores das rochas reservatório e de alguns argilo minerais comuns das rochas selantes são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros M e N.

Mineral	Composição	M	N
Quartzo	SiO <sub>2</sub>	0.81	0.64
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	0.83	0.59
Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.78	0.49
Anidrita	CaSO <sub>4</sub>	0.70	0.50
Gesso	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	1.01	0.30

Argilominerais			
Ilita		0.6	0.49
Caolinita		0.6	0.45
Smectita		0.6	0.50

A Figura 1 apresenta o gráfico M-N, com os pontos fixos representativos dos minerais e argilominerais apresentados na Tabela 1. Estes pontos fixos são usados como referencia para interpretação do gráfico quando são lançados os pontos dos perfis.

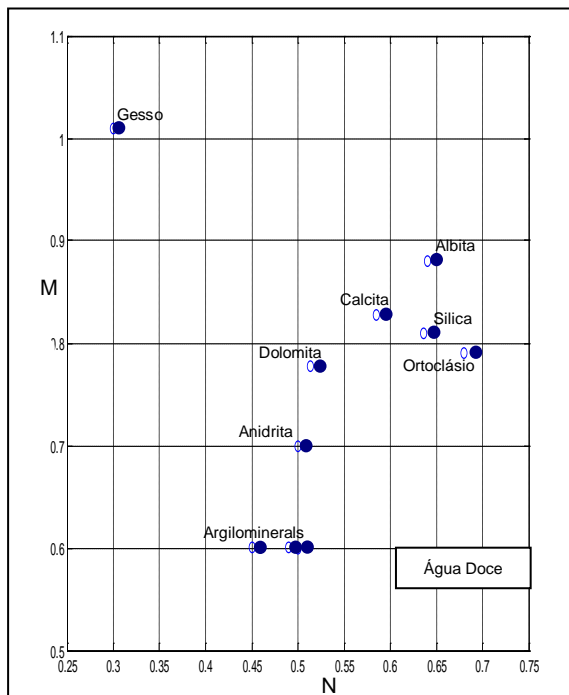


Figura 1 – Gráfico M-N.

Média-C Fuzzy

A média-C fuzzy permite calcular o centro de gravidade uma família de pontos em um plano cartesiano. Considerando que a família de pontos em um plano cartesiano e os seus centros de gravidades calculados pela média-C fuzzy, aplica-se essa ferramenta matemática para a determinação dos centros das nuvens de pontos no gráfico M-N.

O calculo dos centros das nuvens pela média-C fuzzy ocorre através de um algoritmo que minimiza a função J representada por:

$$J = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N u_{ik}^p ||x_k - v_i||^2 \tag{3}$$

Logo,

$$\sum_{i=1}^c u_{ik} = 1, u_{ik} \in [0,1]; 0 < \sum_{k=1}^N u_{ij} \tag{4}$$

Em que c é o numero de nuvens, N é o numero de pontos plotados, u é o peso de cada ponto, x é a coordenada dos pontos e v é a coordenada de cada centro de gravidade.

Interpretação do Gráfico M-N

Após o calculo dos centros de gravidade das nuvens dos pontos M-N de cada nuvem, tem-se que determinar a litologia da nuvem, representada pelo seu centro de gravidade. A determinação é feita pela associação do centro de gravidade da nuvem ao ponto fixo, como mostrado na Figura 1. Essa associação é feita pela distancia Euclidiana entre o centro de gravidade e o ponto fixo.

Após associar o centro de gravidade das nuvens a litologia do ponto representativo do gráfico MN, temos que selecionar quais são os pontos que vão pertencer a nuvem. Então, Após a determinação das nuvens, associamos os pontos de cada nuvem a litologia do ponto fixo mais próximo do seu centro de gravidade.

Resultados

Este método é apresentado com dados sintéticos e avaliado com perfis de um poço do campo de namorado, Bacia de Campos, Brasil.

Dados Sintéticos

A Figura 2 mostra um conjunto de perfis sintéticos: perfil de raio gama natural (RG) e os perfis de porosidade, perfil sonico(Delt), perfil de densidade (RhoB), perfil de densidade neutronico (Phin). Estes perfis foram obtidos frente as rochas reservatório: arenito, no intervalo de 25 a 50 metros; calcario no intervalo de 50 a 75 metros;

dolomita no intervalo de 75 a 100 metros. A interpretação qualitativa do perfil de raio gama natural, bem com dos perfis de porosidade não possibilita o zoneamento litológico.

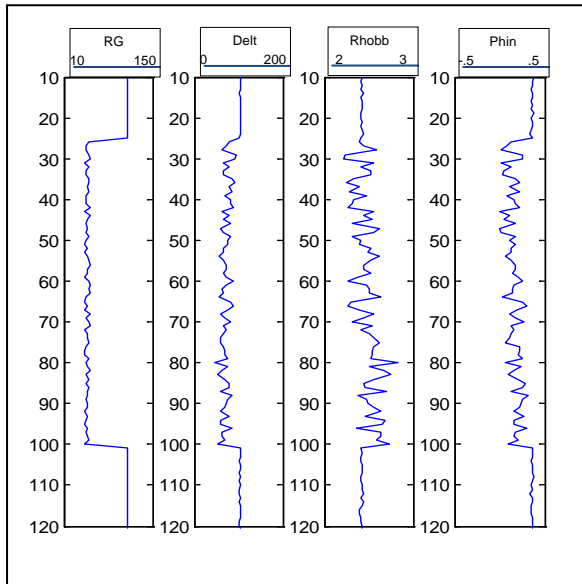


Figura 2 – Perfil sintético

A Figura 3 mostra os perfis de porosidade deste trecho do poço lançados no gráfico M-N. Ao se observar os pontos do perfil no gráfico M-N, vê-se que pontos de mesma litologia formam núvens e essas núvens estão próximas aos pontos fixos, como mostrado na Figura 3, então observando esse padrão necessita-se de um método que mostre o que cada uma das núvens tem de comum para depois separar e destacar as núvens facilitando a interpretação e o zoneamento de um poço.

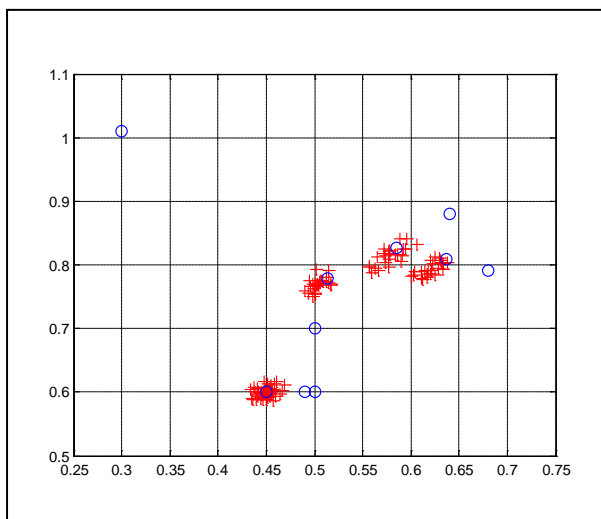


Figura 3 – Gráfico M-N dos dados sintéticos

Após a identificação da litologia de cada ponto do gráfico M-N, tem-se a parte mais importante do trabalho de interpretação de perfis que é o zoneamento do poço. O zoneamento é obtido pela recolocação dos pontos no gráfico M-N, com litologia definida para a sua correta posição em profundidade.

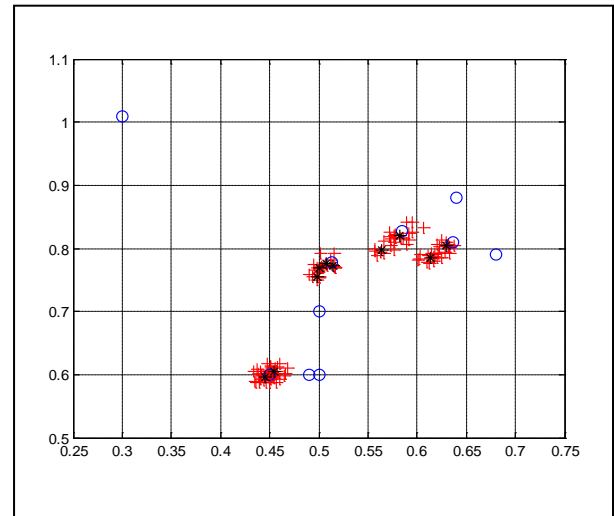


Figura 4 – Gráfico M-N com os centros da média-C fuzzy dos dados sintéticos

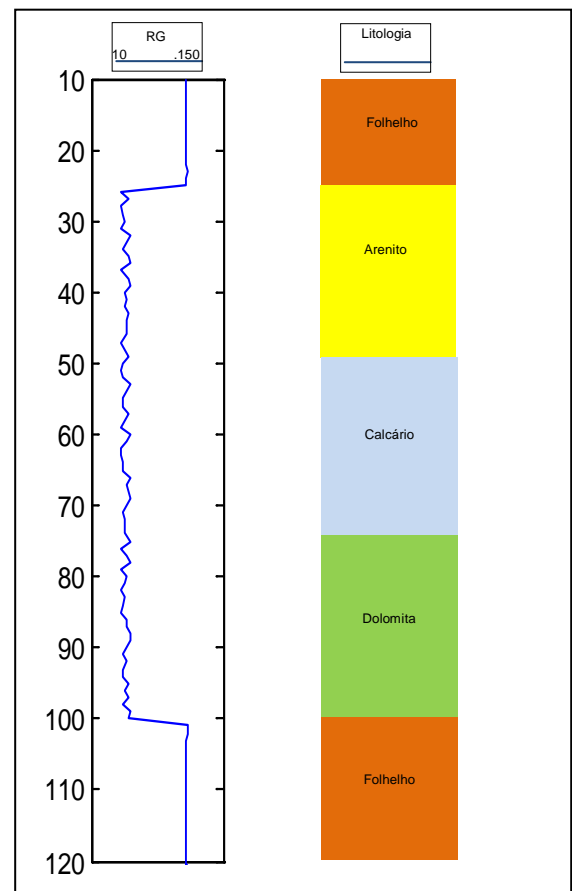


Figura 5 – Perfil sintético zoneado

Dados reais

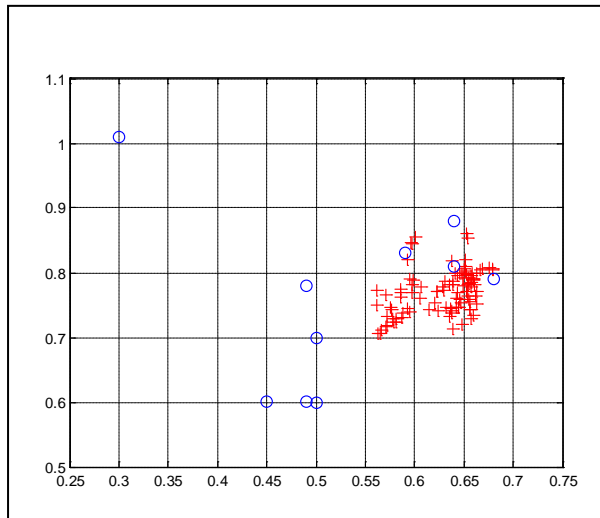


Figura 6 – Gráfico M-N dos dados reais

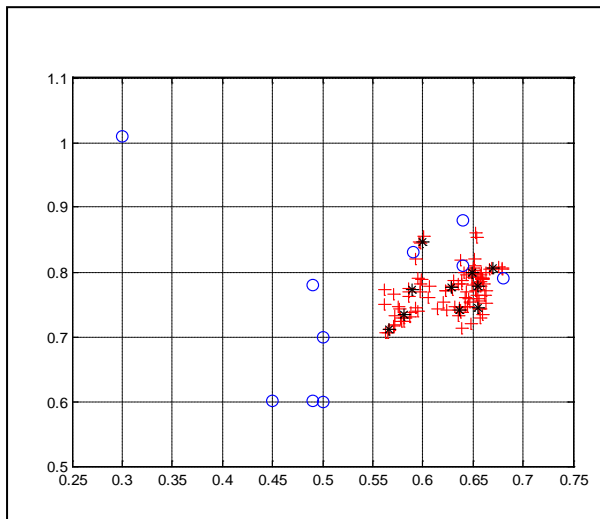


Figura 7 – Gráfico M-N com os centros da média-C fuzzy dos dados reais

O poço a ser analisado foi perfurado de um poço no Campo de Namorado, Bacia de Campos, Brasil. No intervalo de profundidades entre 3000 e 3020 metros têm-se pela descrição do testemunho a presença de quartzo na facie arenito médio gradado, de calcita e ortoclásio na fácies conglomerática. Existe ainda a menção de intercalação de argila e silte.

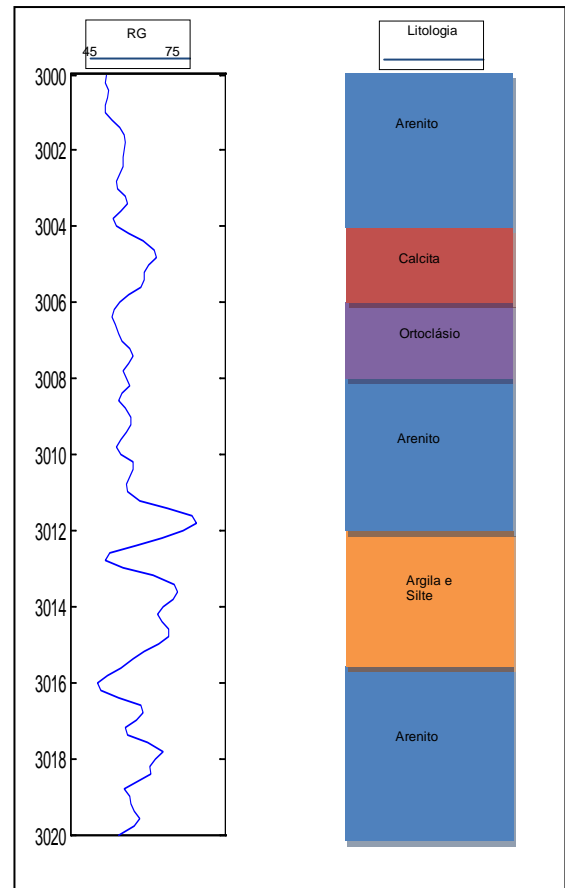


Figura 8 – Perfil real zoneado

**Conclusões**

O zoneamento litológico do poço realizado através da interpretação dos perfis é apenas uma aproximação que se pretende ser o mais realista possível. No entanto, este tipo de zoneamento pode nas situações de um cenário geológico complexo ficar distante do zoneamento produzido pela análise dos testemunhos. Basicamente pela resolução vertical das ferramentas e presença de ruído nos dados. No caso da interpretação do gráfico M-N os pontos reais apresentam um grande espalhamento em relação aos pontos fixos do gráfico em função da não satisfação da constituição da matriz ser mono mineral. Para efeitos práticos o método aqui apresentado mostrou-se suficientemente robusto para manipular dados com grande espalhamento, produzindo informação sobre o mineral principal que poderá ser utilizado para o cálculo de porosidades mais realistas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Convênio UFPA/ANP/PRH-06.

## Referências

J.A Burke, R.L Campbell & A.W Schmidt. The Litho-Porosity Cross-Plot: A Method of Determining Rock Characteristics for Computation of log Data. Paper apresentado no simpósio da SPLWA de 1969, Houston. Maio de 1969.

T. Ros., Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill, New York, 1995.

M. Ramze Rezaee, B.P.F. Lelieveldt, J.H.C. Reiber. The Litho-Porosity Cross-Plot: A new cluster validity index for the fuzzy *c*-mean. Pattern Recognition Letters. Outubro de 1997.

Wen-Liang Hung , Miin-Shen Yang , De-Hua Chen. Bootstrapping approach to feature-weight selection in fuzzy *c*-means algorithms with an application in color image segmentation. Pattern Recognition Letters. Fevereiro 2008.

Nikolaos A. Laskaris, Stefanos P. Zafeiriou. Beyond FCM: Graph-theoretic post-processing algorithms for learning and representing the data structure. Pattern Recognition Letters. Fevereiro 2008.