



Aplicação de estatística multivariada na identificação de litologia nos perfis de poço.

Roosevelt Tavares Flexa*, UENF/LENEP, A. Abel González Carrasquilla, UENF/LENEP, André Andrade, UFPA

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th 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 8th 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

The identification of lithologies crossed by a borehole is one of the most important contributions of borehole geophysics to geologic knowledge and petroleum industry. However, it is a difficult task, because the performed measures along the well express the variations of the physical properties and not necessarily the lithological variations.

This work shows a methodology based on discriminant analysis technique for the identification of lithology in well logs, where we are looking for the association between the physical property variations and the lithological types in depth. The geophysical logs applied for the evaluation of this methodology were gamma ray (GR), sonic (DT), neutronic porosity (ϕ_N), density (ρ_b) and resistivity (ILD).

The results obtained are interesting enough for the automatic identification of lithologies in well logs, regarding the possibility of the association of two approaches: the self-organizing neural network and the discriminant analysis taken from the multivariate statistical method.

Introdução

Atualmente, muitos estudos têm mostrado a boa aplicabilidade das técnicas da análise estatística multivariada no processamento e interpretação de dados geofísicos. No caso da geofísica de poço, uma das aplicações freqüentemente apresentada trata da identificação e da separação das eletrofácies (Serra & Abbot, 1989; Bucheb, 1991 e Couto, 1994) e a sua associação às diversas litologias atravessadas pelo poço. Outros estudos, onde também se têm aplicado a estatística multivariada com sucesso, são em problemas da engenharia de reservatório (Nitters et al., 1995).

Neste trabalho apresenta-se a aplicação da análise discriminante a dados de perfis de poço do Campo de Namorado na Bacia de Campos, localizado na costa norte do Rio de Janeiro e sul do Espírito Santo, entre os paralelos 21° e 23° sul (Figura 1). Esta bacia possui destacada importância econômica, uma vez que é responsável por mais 75% da produção brasileira de petróleo e 80% das reservas brasileiras exploráveis (Guardado et al., 2000).

Como outras bacias da costa leste brasileira, a Bacia de Campos é uma típica bacia de margem divergente, tendo sua origem relacionada ao rompimento do supercontinente Gondwana e à conseqüente formação do Oceano Atlântico. Nesta bacia, a interligação das rochas geradoras e as rochas reservatórios pós-evaporíticas está relacionada à tectônica profunda associada à fase rift e à movimentação adiastrófica associada à halocinese. A migração do hidrocarboneto é facilitada pela criação de "janelas" nos evaporitos (Gabaglia & Milani, 1990).

A principal rocha geradora da Bacia de Campos é a formação Lagoa Feia. Suas principais acumulações de hidrocarbonetos incluem basaltos da formação Cabiúnas, coquinas na formação Lagoa Feia, carbonatos porosos na formação Macaé e os arenitos turbidíticos da formação Campos, os quais constituem-se nos maiores reservatórios de petróleo da Bacia de Campos (Gabaglia & Milani, 1990).

O membro Outeiro da formação Macaé reúne, além de calcilito creme, marga cinza-clara e folhelhos cinza, arenitos turbiditos informalmente conhecidos como arenitos Namorado, que surgem por vezes em camadas isoladas (Figura 2), confinados em calhas deposicionais, as quais subsidiram diferencialmente em resposta à halocinese (Rangel et al., 1994).

Nos últimos anos foram disponibilizados, através da ANP (Agência Nacional de Petróleo), dados referentes aos arenitos Namorado (Campo de Namorado) que foram utilizados no desenvolvimento deste trabalho, como são os dados de perfis de poço e os de análise seqüencial de testemunho.

Metodologia

A análise discriminante é uma poderosa técnica da estatística multivariada utilizada nos casos em que se deseja realizar a separação estatística entre dois ou mais grupos de dados, que devem ser definidos previamente através da caracterização de suas variáveis discriminantes (Davis, 1973). Estas variáveis são combinadas linearmente para que seja acentuada a diferença entre os grupos de dados, gerando os chamados coeficientes, que são empregados na solução da função discriminante. Isto resulta assim em apenas um único índice discriminante, que representa a posição da amostra ao longo da reta definida pela função discriminante. Essas funções que discriminam os grupos entre si são matematicamente definidas na forma:

$$R = \lambda_1 \psi_1 + \lambda_2 \psi_2 + \dots + \lambda_m \psi_m, \quad (1)$$

com $1 \leq k \leq m$, onde m é o número de variáveis utilizado na análise, R é o índice discriminante da função, λ_k são os coeficientes da função discriminante e ψ_k são os valores da k -ésima variável de um

determinado objeto. Neste trabalho, os ψ_k representam dados de perfis de poço.

Este trabalho apresenta uma metodologia baseada na técnica de análise discriminante para a identificação de litologia nos perfis de poço, sem sua completa interpretação, onde se buscou fazer a associação das variações das propriedades físicas aos tipos litológicos em profundidade, sendo utilizados como dados de entrada curvas de perfis geofísicos, como raios gama (GR), tempo de trânsito (DT), porosidade neutônica (ϕ_N), densidade (ρ_b) e resistividade (ILD), os quais são mostrados na Figura 3.

A análise discriminante, na forma adotada neste trabalho, trata apenas com distribuições bivariadas. Desta forma baseado nos princípios teóricos da análise discriminante (Davis, 1973) desenvolveu-se um programa, capaz de realizar a discriminação entre dois grupos (tipos litológicos) definidos previamente. Pese a existência de um grande número de variáveis intervenientes, optou-se pelo desmembramento do problema da interpretação estatística dos perfis geofísicos em dois problemas bivariados. O primeiro trata da identificação dos tipos litológicos ou separação entre selantes (folhelhos) e reservatórios (arenitos/carbonatos). E o segundo problema, já com a identificação dos reservatórios, aplica-se somente a estes a análise discriminante para a identificação entre os tipos litológicos, ou seja separação entre arenitos e carbonatos.

A partir de perfis que são considerados sensíveis à litologia, foram construídos dois bancos de dados (arquivo do tipo ASCII), dos quais foram selecionados conjuntos de variáveis discriminantes, que representam os padrões que diferenciam os tipos litológicos. O primeiro banco de dados, sensível à litologia, foi utilizado para identificar os tipos litológicos selantes (folhelhos) e reservatórios (arenitos/carbonatos). O outro banco de dados, também sensível à litologia, foi utilizado para identificar os tipos litológicos arenitos e carbonatos. É importante ressaltar que, quanto mais discrepantes forem os valores das variáveis discriminantes destes grupos, maior será a chance de sucesso na discriminação.

Para a aplicação da análise discriminante adotou-se um poço particular como poço de referência (poço NA02). Sobre os perfis desse poço são interpretados e construídos os bancos de dados que constituirão as funções discriminantes. Considerando a ausência de importantes efeitos diagenéticos, pode-se aplicar estas funções discriminantes aos poços vizinhos (poço NA04). Deste modo, estende-se a interpretação realizada no poço de referência ao longo do campo petrolífero e, conseqüentemente, a identificação dos tipos litológicos em profundidade.

Resultados

A partir da interpretação realizada no poço de referência, obteve-se as funções discriminantes para cada um dos problemas bivariados. Apresentam-se aqui as verificações e as validações das funções discriminantes

no poço de referência e em um poço vizinho da mesma bacia.

Deve ser ressaltado que aos perfis geofísicos utilizados neste trabalho não se aplicou qualquer pré-processamento, mantendo-se os dados originais. Deve-se observar que com a utilização das curvas dos perfis pré-processados e da análise discriminante associada a outros métodos da estatística multivariada, como análise de agrupamento, componente principal e outros, poderia ter-se uma melhoria no processo discriminatório.

A função discriminante, obtida para a identificação dos tipos litológicos no poço de referência, é mostrada na Tabela 1 através dos seus coeficientes discriminantes para cada tipo de perfil utilizado. Apresentam-se ainda na Tabela 1, os índices discriminantes, onde R_0 representa a separação entre as duas litologias, R_A é o índice discriminante característico dos reservatórios (arenitos/carbonatos) e R_B é o índice discriminante característico dos selantes (folhelhos).

Tabela 1 – Coeficientes da função discriminante utilizado para a identificação dos selantes e reservatórios.

Coeficiente discriminante				Índice discriminante ($\times 10^2$)		
GR	DT	ϕ_N	ILD	R_0	R_A	R_B
-37,43	8,43	-52,48	0,0072	-23,9	-41,0	-32,4

O critério de classificação adotado é baseado na posição do índice discriminante médio (R_0). Calculado o índice discriminante para cada profundidade, este é comparado com o índice discriminante médio. Para cada índice discriminante maior que R_0 , assume-se a litologia nessa profundidade como um elemento do grupo dos reservatórios. Para os outros índices menores que R_0 assume-se a litologia nessa profundidade como elemento do grupo dos selantes (Figura 4).

A função discriminante, obtida para a identificação dos tipos litológicos no poço de referência, especificamente aplicada nos trechos de perfil previamente classificados como reservatórios, é mostrada na Tabela 2 através dos seus coeficientes discriminantes para cada tipo de perfil utilizado. Apresentam-se, ainda na Tabela 2, os índices discriminantes, onde R_0 representa a separação entre as duas litologias, R_A é o índice discriminante característico dos arenitos e R_B é o índice discriminante característico dos carbonatos. O critério de classificação é o mesmo adotado na classificação anterior a partir do índice discriminante R_0 , como é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Coeficientes da função discriminante utilizada para a identificação dos arenitos e carbonatos.

Coeficiente discriminante				Índice discriminante ($\times 10^3$)		
GR	DT	ϕ_N	ρ_b	R_0	R_A	R_B
28,1	-8,4	-6,4	-7465,5	-14,0	-17,2	-15,6

Os resultados da aplicação das funções discriminantes com os coeficientes definidos nas Tabelas 1 e 2 para o poço de referência, podem ser visualizados na Figura 5A, onde é mostrada a identificação dos tipos litológicos em profundidade auxiliada com a apresentação do perfil de raios gama. Observa-se boa concordância entre a

interpretação do perfil e a identificação dos tipos litológicos resultantes do processo discriminatório. Na Figura 5B mostra-se um detalhe de um trecho discriminado do poço de referência, que pode ser comparado com a análise seqüencial de testemunho (Figura 5C).

A metodologia da interpretação do poço de referência (poço NA02) pode ser estendida a outro poço vizinho (poço NA04), a fim de se verificar a eficiência do método na identificação de tipos litológicos no mesmo campo. Os resultados da aplicação das funções discriminantes com os coeficientes definidos nas Tabelas 1 e 2 podem ser visualizados na Figura 6A, onde mostra-se a identificação dos tipos litológicos em profundidade auxiliado com a apresentação do perfil de raios gama. Observa-se excelente concordância entre a interpretação do perfil com a identificação dos tipos litológicos. A Figura 6B mostra um detalhe de um trecho discriminado do poço NA04, que pode ser comparado com a análise seqüencial de testemunho (Figura 6C). Observa-se que na Figura 6B vários trechos foram discriminados como o tipo litológico carbonatos, possivelmente influenciados pelo fato das margas existentes nestes trechos apresentarem alto teor de CaCO_3 , conforme mostrado na análise seqüencial de testemunho na Figura 6C.

Conclusões

A utilização da análise discriminante aplicada na identificação de litologia nos perfis de poço apresentou desempenho satisfatório. Seus resultados foram coerentes com a interpretação dos perfis e com os resultados da análise seqüencial de testemunho realizada pela PETROBRAS nos poços NA02 e NA04 do Campo de Namorado.

Contudo, ressalta-se que mesmo tendo obtido bons resultados na utilização da análise discriminante no caso bivariado, faz-se necessário implementar programas de análise discriminante para o caso multivariado, capazes de realizar discriminações entre mais de dois grupos.

Estes resultados deverão ser utilizados como parte da metodologia que está sendo desenvolvida na nossa tese de doutorado a qual propõe associar métodos da estatística multivariada com rede neural auto-organizada para a identificação automática de litologias nos perfis de poço. A identificação automática de litologias nos perfis de poço será dividida em duas etapas: a primeira trata da identificação dos tipos litológicos presentes no poço através da utilização de uma rede neural auto-organizada e a segunda, trata de associar as variações das propriedades físicas aos tipos litológicos em profundidade através do emprego da análise discriminante multivariada.

Agradecimentos

À UENF e ao CNPq, pela bolsa de doutorado e produtividade em pesquisa destinadas aos autores.

Os autores também agradecem ao geofísico Alfredo Carrasco e a Sandra Matsumura pelo apoio prestado.

Referências

- Bucheb, J. A.**, 1991, Aplicação de tratamento estatístico multivariante em dados de perfis de poços da Bacia de Sergipe-Alagoas. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 136p. (Tese de Mestrado).
- Couto, N. A. P.**, 1994, Construção de bancos de dados petrofísicos para determinação automática de litologias. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 113p. (Tese de Mestrado).
- Davis, J. C.**, 1973, *Statistic and data analysis in Geology*. New York, John Wiley & Sons, 550p.
- Gabaglia Raja, G. P. & Milani, E. J.**, 1990, Origem e evolução de bacias sedimentares. PETROBRAS.
- Guardado, L. R., A. R. Spadini., J. S. L. Brandão, & M. R. Mello**, 2000, Petroleum system of the Campos Basin, in M. R. Mello and B. J. Katz, eds., *Petroleum systems of South Atlantic margins: AAPG Memoir 73*, p. 317-324.
- Nitters, G., Davies, D. R. & Epping, W. J. M.**, 1995, Discriminant analysis and neural nets: Valuable tools to optimize completion practices, *SPE Drilling & Completion*, p. 127-133.
- Rangel, H. D., Martins, F. A. L., Esteves, F. R. & Feijó, F. J.**, 1994, Bacia de Campos, *Geoci. PETROBRAS*, Rio de Janeiro, 8 (1): 203-217.
- Serra, O. & Abbot, H. T.**, 1989, The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy, *SPE 9270*, 18p.

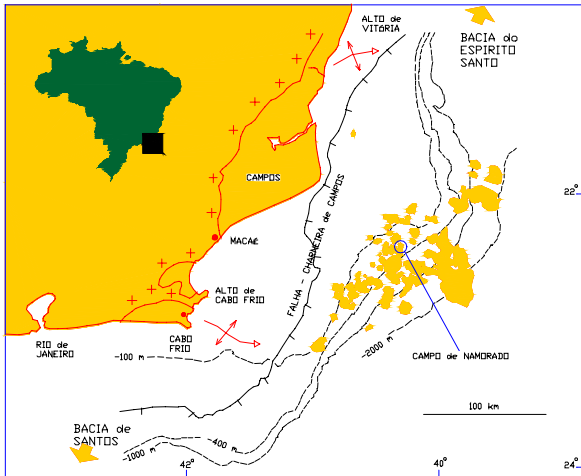


Figura 1 – Localização da Bacia de Campos no Estado do Rio de Janeiro.

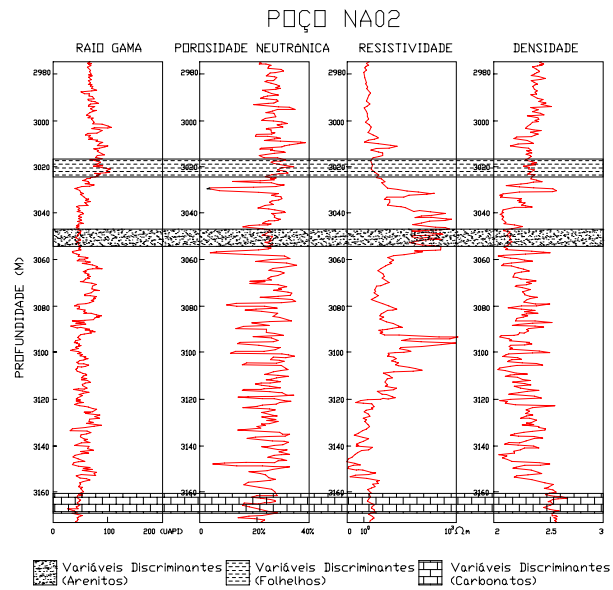


Figura 3 – Perfis utilizados na escolha das variáveis discriminantes.

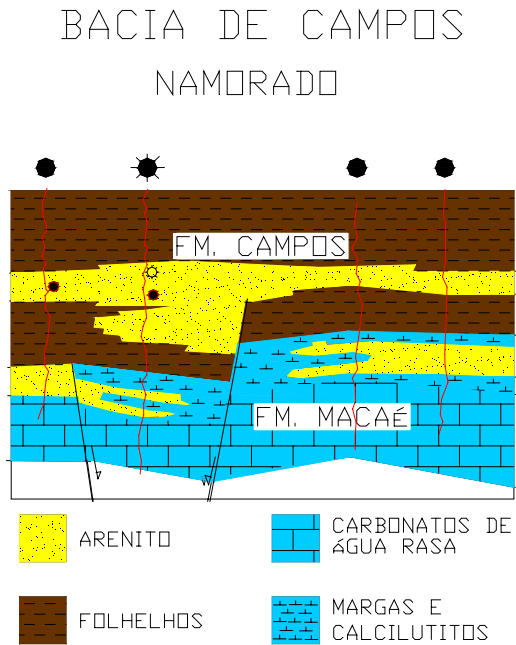


Figura 2 – Campo de Namorado na Bacia de Campos.

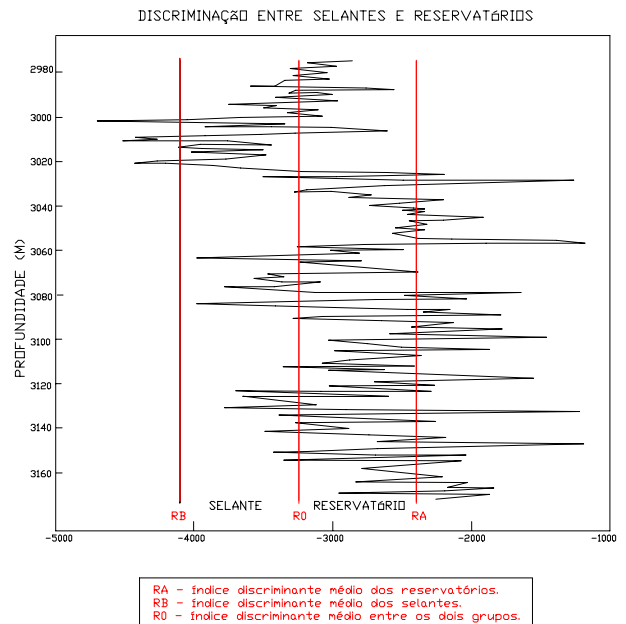


Figura 4 – Exemplo do processo discriminatório dos limites entre selantes e reservatórios no poço NA02.

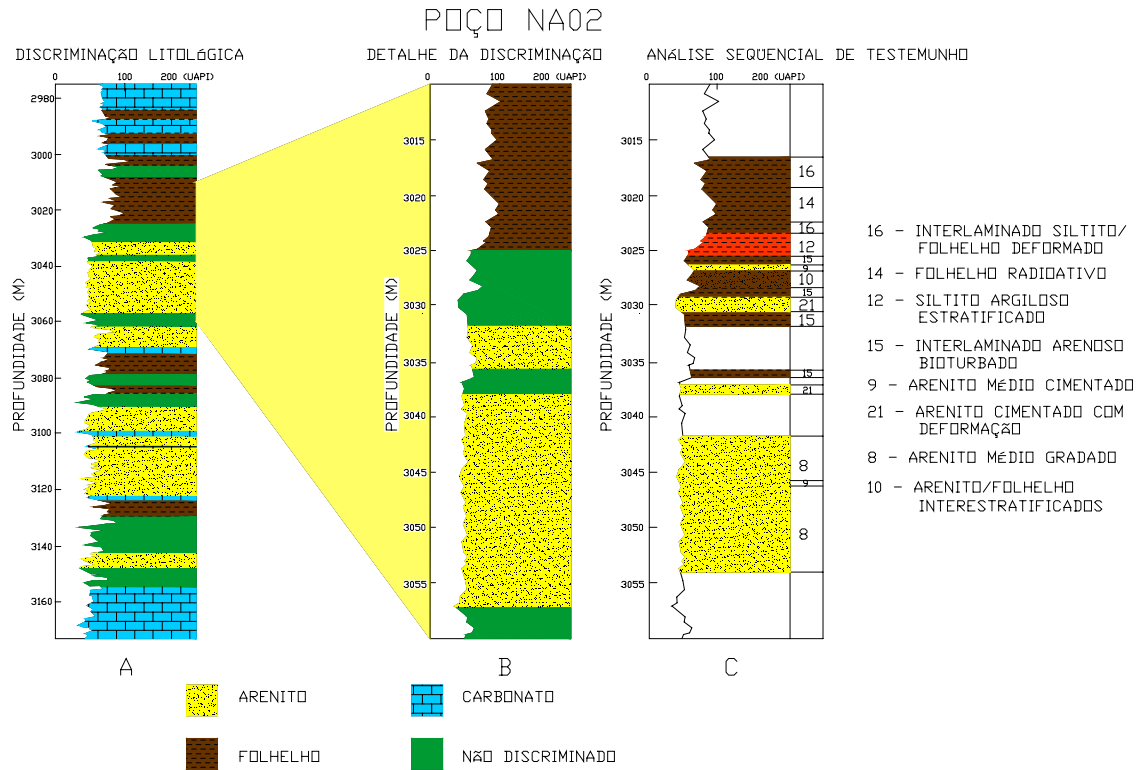


Figura 5 – Poço NA02. A – Resultado da discriminação litológica, B – Detalhe de um trecho discriminado, C – Análise seqüencial de testemunho.

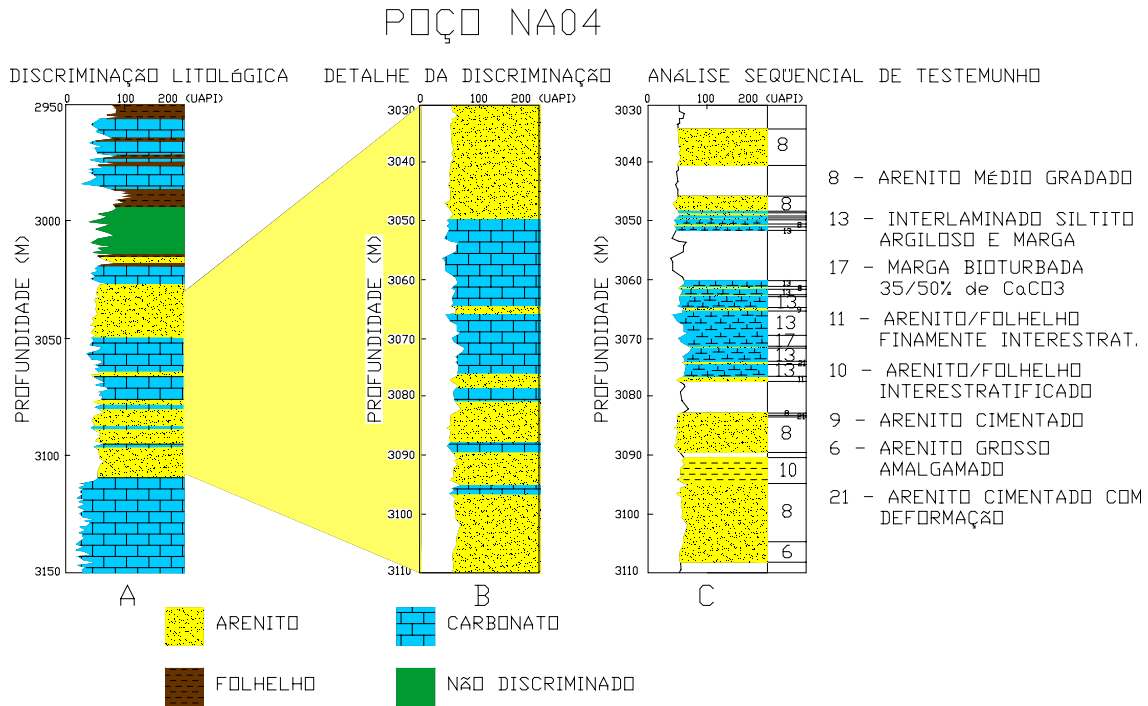


Figura 6 – Poço NA04. A – Resultado da discriminação litológica, B – Detalhe de um trecho discriminado, C – Análise seqüencial de testemunho.