Características paleodeposicionais e paleoambientais do “Marco Beta” com base em dados geofísicos, geológicos e geoquímicos de amostras de calha do poço 1-DEV-16-RJS na porção sul da Bacia de Campos

Yuri Francisco de Vasconcellos Ferreira Alves*; Rubens Campos Florenzano[1,4]; Raphael da Rocha Silveira[1]; Pedro Muriel Torres Raietparvar[1]; Matheus Tavares Silva[1]; Bruna Maia Imbuzeiro[1]; Ana Carla Pinheiro[1]; Mario Martins Ramos[1]; Fabia Emanuela Rafaloski Bobco[1,4]; Daniela França dos Santos[2]; Rut Amelia Diaz[3]; Victor Matheus Joaquim Salgado Campos; Wagner Moreira Lupinacci[1,4]; Antonio Fernando Menezes Freire[1,4].

[1]Grupo de Interpretação Exploratória e Caracterização de Reservatórios (GIECAR)/Universidade Federal Fluminense (UFF).
[2]Instituto de Geociências/UFF
[3]Instituto de Química/UFF
[4]Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia/Geofísica do Petróleo (INCT-GP - CNPq)

*Corresponding author.
Copyright 2024, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IX Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 08 a 10 de outubro de 2024. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do X SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

Interpretamos as principais características do “Marco Beta”, também conhecido como “Marco Glauconítico”, na porção mais rasa da Bacia. Este é um importante marco estratigráfico da Bacia de Campos, amplamente reconhecido como superfície de inundação máxima do Albiano Superior. Utilizamos a integração de dados geofísicos, geológicos e geoquímicos do poço 1-DEV-16-RJS, localizado na porção sul da bacia como base da caracterização. Este marco é bem definido por um padrão serrilhado e valores elevados do perfil de Raios Gama (GR). Desenvolvemos uma metodologia para caracterizá-lo, sendo constituída por uma descrição detalhada das amostras de calha, seguida de análises de Espectrometria de Raios Gamma (SGR), Fluorescência de Raio-X. (XRF), Difratometria de Raio-X (XRD) e análises de Carbono Orgânico Total (TOC). Com os resultados das análises, pudemos inferir tratos de sistema deposicionais e inferir o nível de maturação em rochas do Marco Beta nesse poço. Por ser um marcador estratigráfico regional, o Marco Beta pode ser considerado um intervalo gerador, caso ocorra em profundidades suficientes para a maturação da rocha, o que justifica esse estudo.

Introdução

O estudo de tratos de sistemas é importante para analisar sequências deposicionais e inferir superfícies de inundação máxima, além de outras informações valiosas para a compreensão estratigráfica. Este marco estratigráfico está localizado na Bacia de Campos e apresenta um padrão serrilhado com altas medidas na curva GR do poço. Realizamos uma variedade de análises geoquímicas nas amostras de calha do poço 1-DEV-16-RJS para compreender por que isso ocorre.

Para realizar este estudo, utilizamos uma abordagem interdisciplinar com análises geológicas e geoquímicas, utilizando diferentes equipamentos, sempre calibrado pelos perfis do poço. Utilizamos um aparelho de raios gama espectral portátil para fazer a leitura da radiação de Urânio, Tório e Potássio presentes nas amostras de calha, como também, realizamos análises de XRF e XRD para obter informações sobre elementos químicos e minerais que possam ajudar a reconstruir os eventos paleoambientais e paleodeposicionais do Marco Beta. Além disso, calculamos os valores de TOC, utilizando o método de Passey (1980), utilizando os perfis de resistividade e sônico, seguida da estimativa do nível de metamorfismo (LOM). Depois disso, o carbono orgânico presente nas amostras de calha foi medido em laboratório e comparado com os valores obtidos pelo método de Passey (1980). Suspeitamos que o “Marco Beta” possa ser um potencial gerador de óleo de extensão regional, caso esteja em profundidade favorável à maturação térmica do querogênio presente. O “Marco Beta” foi identificado no poço 1-DEV-16-RJS, no intervalo 4860/4950m, localizado na parte sul da Bacia de Campos, próximo ao Campo de Namorado (Figura 1). Além disso, poços próximos foram usados para estimar a temperatura de formação (Tmax), permitindo inferir outras propriedades (reflectância de vitrinita, LOM, etc) e calcular TOC pelo método de Passey. Considerando a disponibilidade de dados geoquímicos, os poços escolhidos para calibrar o cálculo foram 1-BP-7-RJS e 1-BRSA-1007-RJS. O nosso trabalho baseia-se em dados fornecidos pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) e em amostras de calha doadas pela bp Brasil.

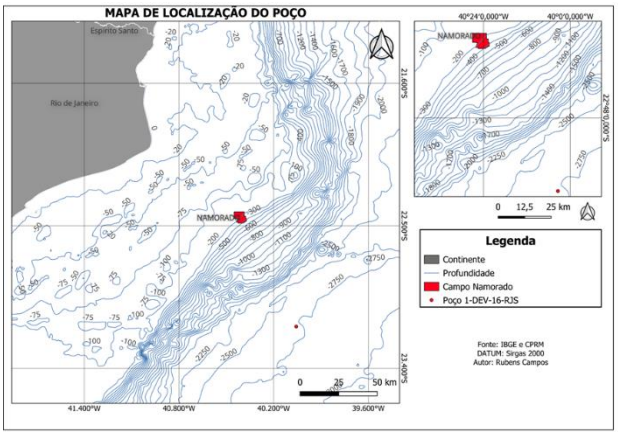

Figura 1 – Mapa de localização do poço 1-DEV-16-RJS e a porção da Bacia de Campos referente à área de estudo.

Metodologia

Utilizamos as amostras de calha do poço 1-DEV-16-RJS como principal fonte de aquisição de dados. Após lavar cada amostra com água e detergente neutro, as amostras foram descritas de forma detalhada e realizamos análises de SGR com o equipamento diretamente nas amostras de calha, em ambiente com interferência de background conhecido. Após essas análises, uma pequena parte das amostras foi separada com o intuito de performar análises de XRF e XRD. Para isso, lavamos essa quantidade separada com n-hexano, visando retirar todo o fluido de perfuração remanescente, além de qualquer hidrocarboneto presente.

Em seguida, trituramos as amostras para obter pelo menos 3g de amostra adequada para as análises. Enquanto isso, outra alíquota de pelo menos 1g foi separada e seguiu pelo mesmo processo de lavagem e trituração, porém com o intuito de analisar o enxofre e o carbono orgânico presente nas amostras. Essas novas quantidades foram submetidas a um processo de descarbonatação inorgânica uma mistura de 50% água deionizada e 50% ácido clorídrico diluído a 37% em uma chapa quente a 70ºC durante três dias, sendo necessário a adição de mais mistura nas amostras no segundo dia.

Após esse processo, as amostras foram lavadas com água deionizada, desagregadas e enviadas para análise no laboratório especializado em análises geoquímicas da UFF. Por último, realizamos o cálculo de TOC pelo método de Passey implementado em código python. Para adquirir os componentes necessários para calcular a equação de Passey, utilizamos dados dos perfis geofísicos sônico e resistividade do poço 1-DEV-16-RJS, além de estimar uma Tmax média para o Marco Beta a partir de sua correlação com os poços 1-BP-7-RJS e 1-BRSA-1007-RJS. Sabendo que existe uma relação direta (Figura 2) entre Tmax e reflectância de vitrinita (R_0), calculamos LOM, ΔlogR e TOC seguindo as fórmulas:

$$TOC = \Delta logR\ 10^{(2.297-0.1688\ x\ LOM)}, \text{ onde}$$

$$\boldsymbol{LOM = 2.1501{R_0}^3 - 9.8915{R_0}^2 + 17.803R_0 + 0.9359}$$

e

$$\Delta logR = log_{10}\left(\frac{R}{R_{baseline}}\right) + 0.02(\Delta T - \Delta T_{baseline})$$

Resultados

Após obter os resultados de todas as análises, juntamos os resultados de SGR, XRF e dos perfis de resistividade e GR do poço 1-DEV-16-RJS no “Appy”, um software de análise petrofísica e de interpretação de perfis Desenvolvido por pesquisadores da UFF.

Ao analisar as curvas, verificamos que a curva de Urânio, após realizarmos uma média móvel de 3 elementos para suavizar a curva, seguiu bem os padrões de crescimento e decrescimento dos valores de GR.

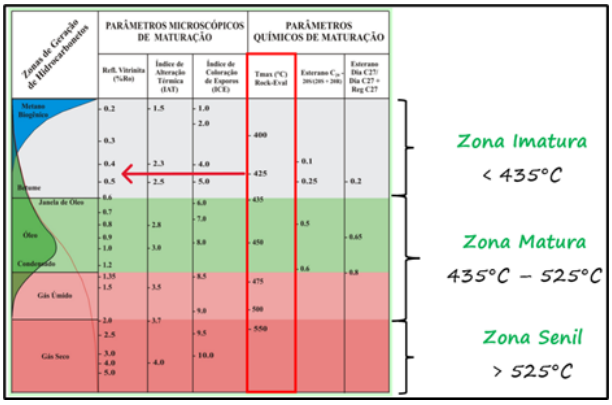

Figura 2 – Correlação entre os diversos indicadores de maturação do querogênio. Mod. de Tissot &Welte (1984).

Essa média móvel foi pensada para amenizar as variações litológicas de 3 metros, contidas em cada uma das amostras de calha, em comparação à resolução do perfil GR, que é de 0,30m. Foi observado também que diversas outras *proxies* de elementos químicos obtidos pelo XRF seguiam o mesmo padrão da curva do urânio, enquanto outras seguiam tendências opostas (Figura 3). Com esses resultados foi possível caracterizar eventos de maior deposição de sedimentos finos argilosos e períodos de maior energia no ambiente, destacados por *inputs* de sílica. Conseguimos delimitar bem os tratos de sistemas deposicionais com base nesses dados e identificamos onde é a superfície de inundação máxima, onde ocorre o maior valor de urânio.

Além disso, os resultados de XRD nos ajudaram a entender melhor a composição mineralógica do intervalo (Figura 4), tendo em vista que esse equipamento identifica minerais com base no ângulo de reflexão dos Raios-X causada por eles. Nesses resultados, identificamos alguns minerais observados na descrição das amostras de calha como pirita e glauconita.

É interessante ver como esses resultados se relacionam com o XRF, pois alguns minerais possuem determinados elementos químicos encontrados e, em locais em que esses elementos são mais abundantes, a quantidade desses minerais encontrada também é maior. Nos resultados de TOC pelo método de Passey, definimos alguns parâmetros para a geração da curva. O primeiro deles, foi identificar as *baselines* das curvas dos perfis sônico e resistividade em um intervalo não gerador. O segundo deles foi converter o valor de reflectância de vitrinita encontrado a partir de Tmax para LOM, tendo sido definidas as baselines 0.03 Ωm para resistividade e 77 μs para o sônico. Por fim, pela relação entre LOM e R_0 criada por Hood *et al.* (1975), achamos um valor em torno de 6 para o LOM.

A curva de TOC pelo método de Passey que melhor se adequou aos resultados das análises em laboratório de carbono presente nas amostras foi a curva com o valor de LOM igual a 7 na parte superior do intervalo (4860/4884m) e 6 no intervalo basal (4884/4950m).

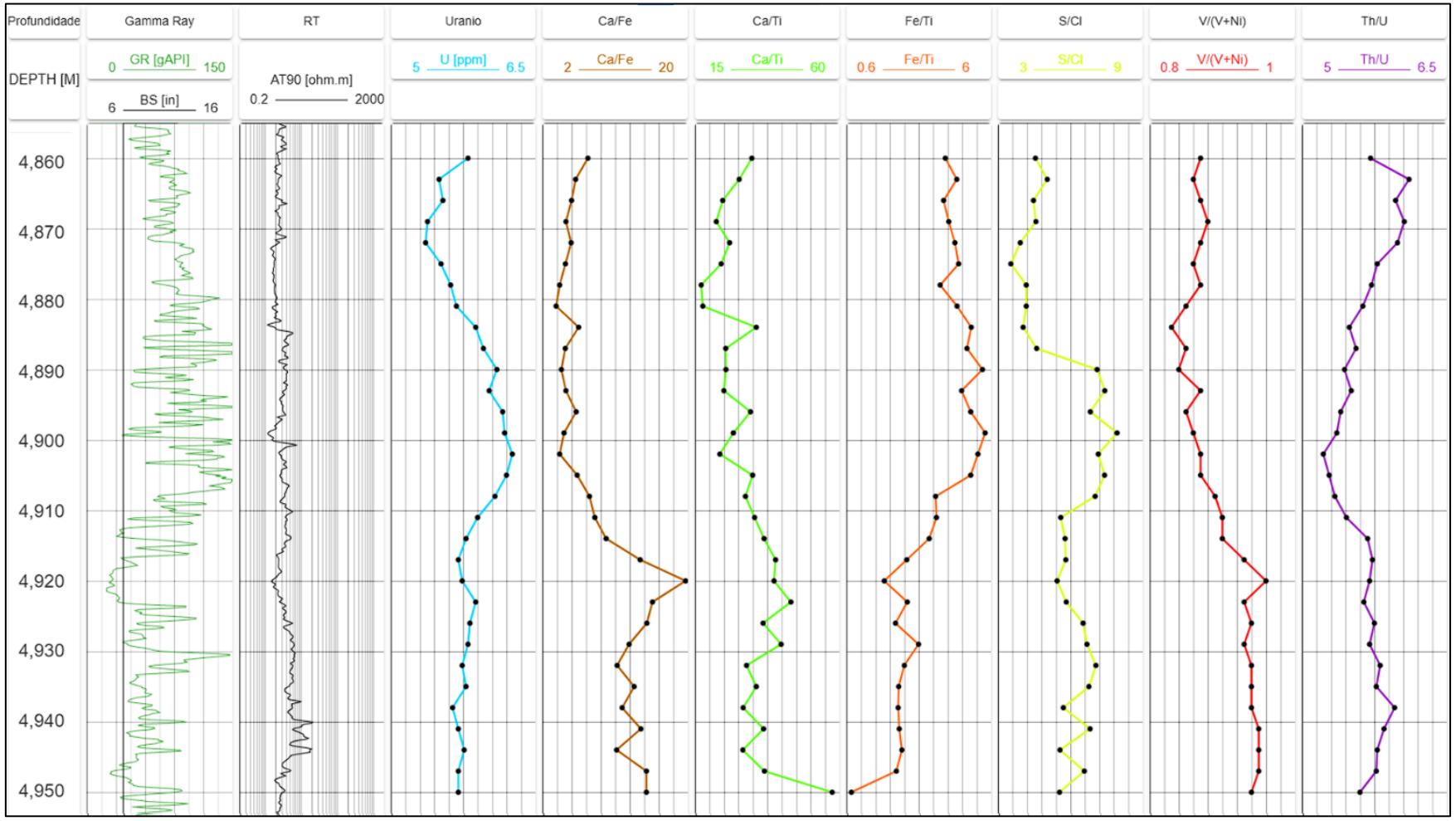

Figura 3 – Curvas de GR, RT, SGR e XRF no intervalo do Marco Beta. Notar o aumento da concentração de urânio.

A curva de TOC pelo método de Passey que melhor se adequou aos resultados das análises em laboratório de carbono presente nas amostras foi a curva com o valor de LOM igual a 7 na parte superior do intervalo (4860/4884m) e 6 no intervalo basal (4884/4950m). Referente aos resultados de carbono orgânico total presente nas amostras de calha obtidos em laboratório, também foi feita uma média móvel de 3 elementos para suavizar as alterações que cada amostra de calha pode causar, tendo em vista que cada amostra contém 3 metros do intervalo de formação perfurado durante a operação geológica. Relacionando as curvas de TOC com os dados de XRF e SGR, pudemos identificar períodos mais oxidantes e redutores durante a deposição da matéria orgânica. Além disso, foi observado que a curva de TOC calculada pelo método de Passey teve uma aproximação muito boa com as medidas obtidas de carbono nas amostras e acompanhou o mesmo padrão da curva de urânio.

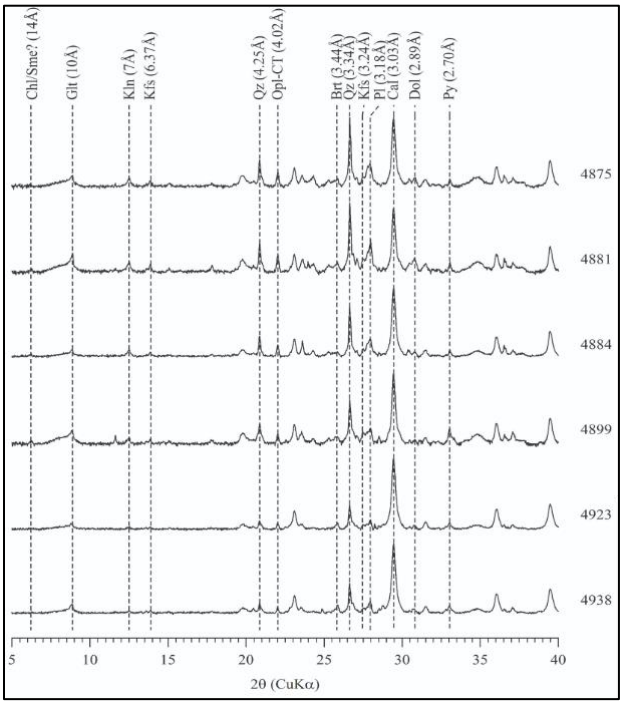

Figura 4 – Resultados do XRD, indicando os minerais encontrados nas amostras de calha. Notar o aumento da quantidade de quartzo em direção ao topo do intervalo e a maior quantidade de pirita na parte basal.

Discussão e Conclusões

Após realizar uma interpretação da integração dos dados obtidos (Figura 5), concluímos que o Marco Beta está próximo de atingir a janela de geração de óleo, porém ainda imaturo. Temos padrões de tratos de sistemas de mar baixo (LST), transgressivo (TST), a superfície de inundação máxima (MFS) do intervalo e um trato de mar alto (HST), com base nos conceitos de estratigrafia de sequências (Catuneanu, 2006). Estes tratos de sistemas estão altamente relacionados ao padrão da curva de urânio, considerando a estreita relação entre matéria orgânica marinha e sua consequente fixação. O maior valor de urânio é onde está a superfície de inundação máxima, enquanto o incremento dela, abaixo, é o trato transgressivo. Após a formação da superfície de inundação máxima, o lento decréscimo do urânio estabeleceu o trato do sistema de mar alto, caracterizado pelo aporte de sedimentos siliciclásticos, devido ao aumento do espaço de acomodação.

É importante notar que o cálcio presente nos resultados de XRF decresce da base para o topo, de acordo com o trato de sistemas proposto. Também, a presença de marga e folhelho carbonático, contendo matéria orgânica, é maior na parte basal. A respeito da curva de TOC, nós acreditamos que, na parte superior, por conta da alta energia e da maior oxidação do ambiente, a matéria orgânica sofreu maior metamorfismo e não está tão adequada para geração de óleo quanto na porção basal do intervalo. Porém, este é um marco estratigráfico com grande potencial para geração de óleo, caso seja encontrado em condições que propiciem a sua maturação térmica. Por fim, em 4900m temos os maiores valores do perfil GR, as maiores leituras de urânio pelo SGR e os maiores valores medidos de carbono orgânico e de TOC calculado pelo método do Passey, sendo essa condição a que melhor se candidata a uma potencial rocha geradora.

Agradecimentos

Agradecemos ao Grupo de Interpretação Exploratória e Caracterização de Reservatórios (GIECAR) da Universidade Federal Fluminense (UFF) por todo o valioso apoio; à Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustível (ANP) pelo fornecimento de dados para fins acadêmicos, e ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Geofísica do Petróleo do Brasil (INCT-GP) pelo apoio a esta pesquisa. Os autores também agradecem à bp Energy Brasil pela doação das amostras de calha utilizadas neste estudo. Agradecemos também ao geólogo Pierre Muzzi Magalhães, que nos deu a ideia inicial para estudarmos o Marco Beta.

Referências

A. Hood, C. C. M. Gutjahr, R. L. Heacock (1975) Organic Metamorphism and the Generation of Petroleum. AAPG Bull., v. 59, p. 986-996.

Adachi, Mamoru & Yamamoto, Koshi & Sugisaki, Ryuichi. (1986). Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the Northern Pacific: Their geological significance as indication of ocean ridge activity. Sedimentary Geology. 47. 125-148. 10.1016/0037-0738(86)90075-8.

Catuneanu, O., Galloway, W.E., Kendall, C.G.St.C., Miall, A.D., Posamentier, H.W., Strasser, A. and Tucker, M.E. (2011) Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature. Newsletters on Stratigraphy, 44, 173-245.

Catuneanu, O. (2006) Principles of Sequence Stratigraphy. Elsevier, Amsterdam, 375 p.

Passey Q, Creaney S, Kulla J, Moretti F, Stroud J (1990) A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs. AAPG Bull., v. 74, p. 1777-1794.

Tissot, B.P. and Welte, D.H. (1984) Petroleum Formation and Occurrence. 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin, 699 p.

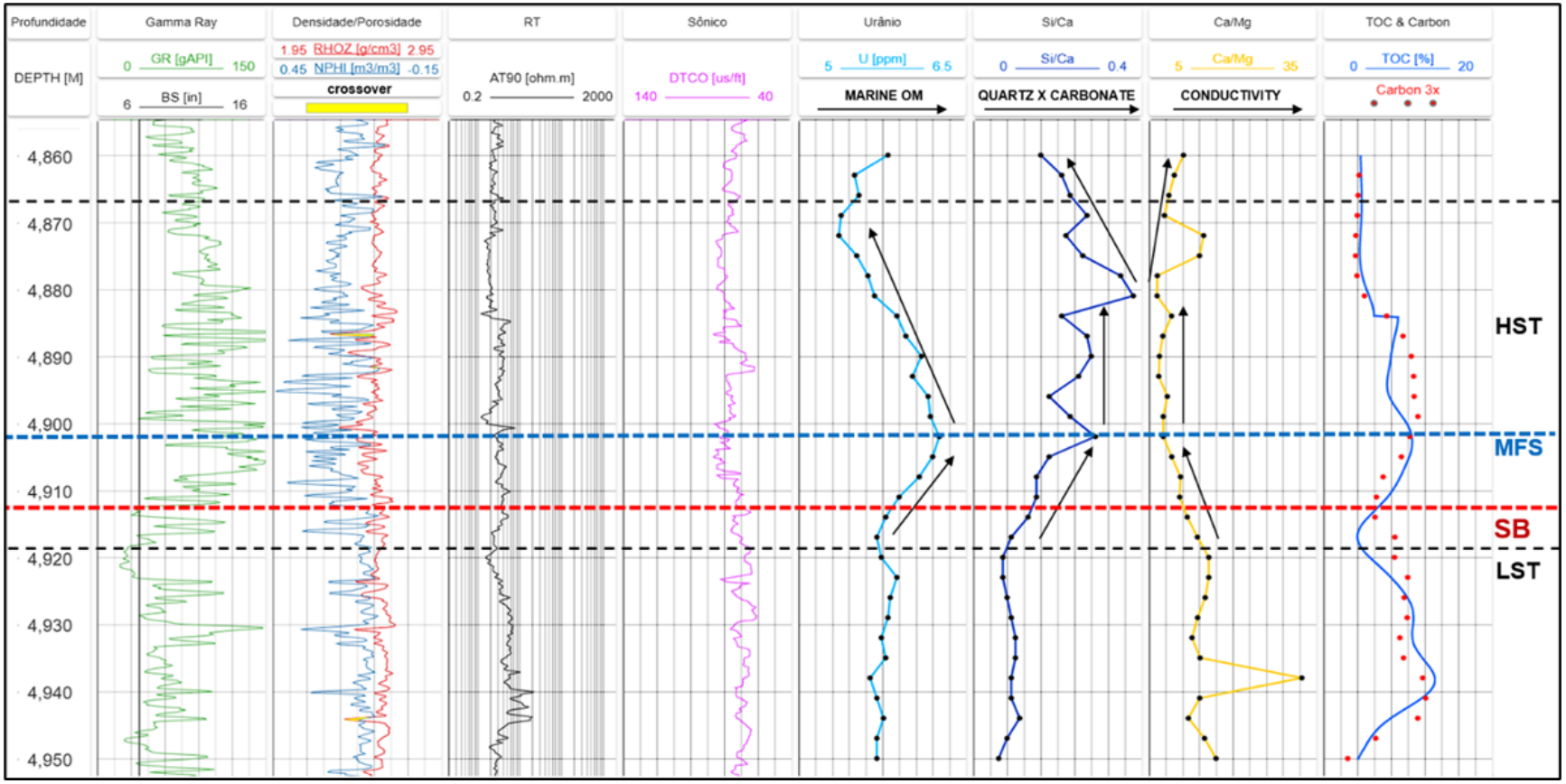

Figura 5 – Interpretação do Marco Beta em relação aos tratos de sistemas. A parte basal representa um trato de sistema transgressivo (TST), culminando na superfície de inundação máxima (MFS) localizada no maior valor de urânio. Na parte superior há uma diminuição do urânio e um aumento na concentração de sílica e diminuição da concentração de cálcio, indicando uma maior progradação sedimentar.