

Controle da Escala na Estacionaridade de Perfis de Poço (Scale dependence of well log stationarity)

Adalberto da Silva *, ANP/MCT PRH11, Departamento de Geologia – LAGEMAR, UFF

Armando Zaupa Remacre, Departamento de Geologia e Recursos Naturais – DGRN, UNICAMP

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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

Upscaling (or downscaling) is a fundamental procedure to reservoir management in order to integrate scattered and linear high vertical resolution well logging data with volumetrically widespread but low vertical resolution seismic data. Analysis of the log signal behaviour must precede the interpreter's decision on filtering denoising and scale transference methods. As a rule, well logging data is assumed as a stochastic, non-stationary realization and this assumption conditions the filtering method choice. In this paper, we analyse a set of four curves from seven vertical wells at Namorado Field, Campos Basin, Brazil using Fourier, wavelet filtering and variogram analysis to investigate the scale dependence of the geophysical signal, exploring the different filter responses to stationary and non-stationary signals. Using a 10 meter cutting wavelength that corresponds to the parasequence scale of the Namorado field turbidite system, the Fourier filtered signal preserves much more the variance than its wavelet filtered analogue. This indicates a strong stationary content of the geophysical signal at this scale level and suggests a decoupling of the signal in components at reservoir level: a medium to high energy / large scale stationary component and its fine scale non-stationary counterpart. This result poses some important constraints on the well logging data filtering strategy choice and its use in scale transference.

Introdução

A transferência de escala é um procedimento fundamental no gerenciamento de reservatórios de modo a compatibilizar os dados lineares e esparsos, mas com alta resolução vertical, de perfis e os dados sísmicos, volumétricos e adensados, e com vasta distribuição em área, mas de baixa resolução vertical.

A análise de perfis geofísicos de poço é uma ferramenta fundamental na indústria do petróleo, pois está na base dos procedimentos de mudança de suporte ou escala que permitem a construção de modelos numéricos realísticos para desenvolvimento e gerenciamento de reservatórios. Várias abordagens vêm sendo adotadas nesses estudos, como análise de Fourier, análise 'wavelet' e geoestatística (e.g.: Silva & Remacre, 2001; Prokoph & Agtemberg, 2000; Taggart, 2002); contudo, de modo usual, a estacionaridade (ou não) do sinal medido

é definida 'a priori' e não analisada com ferramentas adequadas.

De modo geral, os fenômenos que determinam as medidas nos perfis geofísicos de poço são tidos como realizações estocásticas não-estacionárias (e.g.: Pickup & Hern, 2002; Rocha & Leite, 2003), condicionando a escolha da estratégia de filtragem e mudança de escala. Entretanto, a análise do comportamento do sinal de perfil deve necessariamente preceder a decisão do intérprete sobre estas estratégias.

Metodologia

Neste trabalho, utilizamos de forma combinada a filtragem através das transformadas de Fourier (TF) e 'wavelet' (TW) do sinal de um conjunto de quatro perfis de sete poços verticais do Campo de Namorado (Bacia de Campos, RJ, Brasil; figura 1) e variografia experimental do sinal original e filtrado como ferramenta básica de análise comparativa dos resultados, de modo a explorar as diferentes respostas dos filtros para sinais estacionários e não-estacionários.

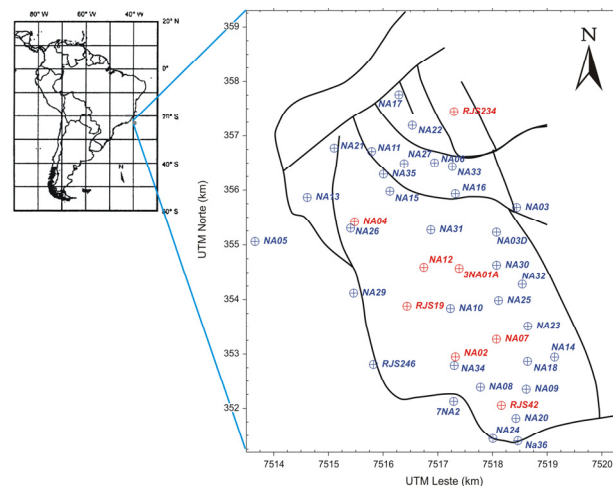


Figura 1 – Campo de Namorado: localização da área e de poços (em vermelho, poços verticais). As linhas sólidas indicam os principais traços de falha que limitam o campo.

A escolha da função base para filtragem é determinante do tipo de informação extraída por esse processo (Torrence & Compo, 1998). Por este motivo, a grande limitação das estratégias baseadas na TF reside na sua dificuldade em representar fenômenos não-estacionários, ao contrário da TW. Utilizou-se db8 como função-mãe, cujas características de regularidade e suavidade

preservam importantes feições do depósito turbidítico com algum sacrifício relativo para a localização de transientes (Silva et al., 2003).

O corte para o filtro passa-baixas equivale a 10 m de comprimento de onda, correspondente à escala de parassequência deste reservatório (como obtido para este conjunto de dados por análise de Fourier por Silva & Remacre, 2001), implicando no nível 5 de decomposição do sinal com db8 (figura 2).

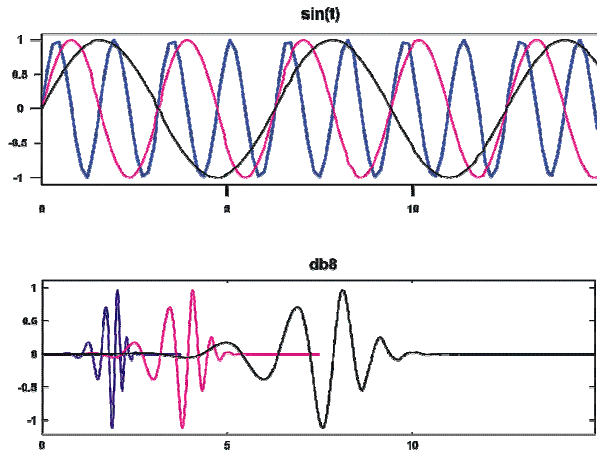


Figura 2 – Representação das decomposições até nível 5 de db8 e sinusóide análogo.

O sinal original e os resultados obtidos foram variografados de modo a se estabelecer as estruturas dos sinais e a perda relativa de informação para cada procedimento de filtragem. Deste modo, comparou-se a preservação da variabilidade do sinal e as características intrínsecas de cada função-filtro em relação à estacionaridade dos fenômenos.

Resultados

Os sete poços utilizados estão distribuídos, de modo geral, ao longo do eixo do reservatório (figura 1) e apresentam grandes espessuras de fácies-reservatório limitadas por espessos pacotes argilosos em contato abrupto representado por fortes transientes nos vários traços de perfis (figura 3). A feição pós-sedimentar mais notável é a ocorrência de níveis de arenitos cimentados, desenvolvendo picos de curta duração ao longo dos perfis de densidade, porosidade-neutrão e sônico (figura 3).

Os sinais filtrados tanto com TF quanto por TW para os comprimentos de onda acima de 10 metros são bastante similares, com uma curva de correlação que se desenvolve em torno de 1 (figura 4).

Deste modo, na escala decamétrica, tanto a filtragem que favorece honrar os transientes ('wavelet') quanto Fourier apresentam resultados similares, indicando que a componente estacionária do sinal é importante pois, ao contrário da wavelet db8 (regular e suavizada, de modo a apreender parte do sinal estacionário – e.g.: Torrence & Compo, 1978; Prokoph & Barthelmes, 1996), a filtragem

com TF somente consegue reter a componente estacionária dos sinais (e.g.: Graps, 1995). A análise visual convencional de perfis mostra a ocorrência de rupturas e transientes que, na realidade, somente têm expressão nas altas frequências (figura 4)

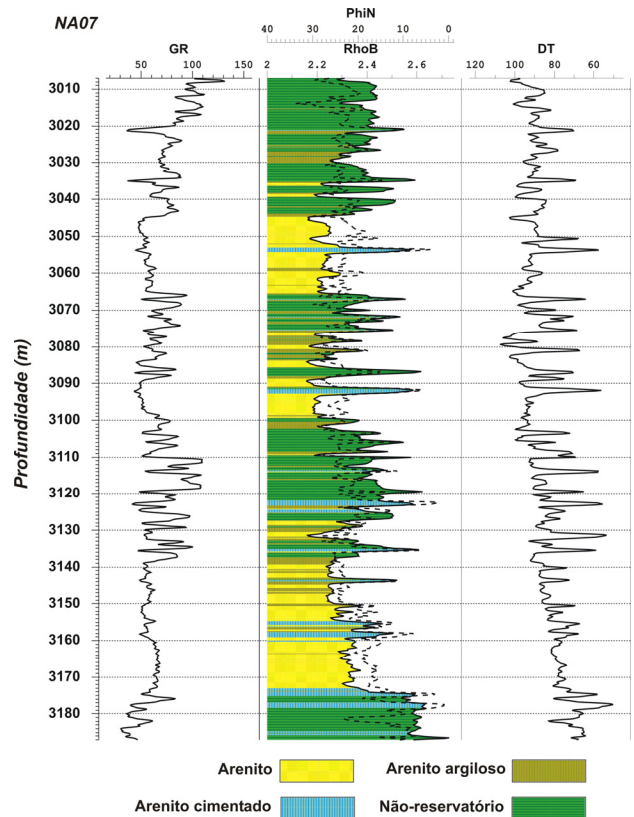


Figura 3 – Interpretação eletrofaciológica do poço NA-07.

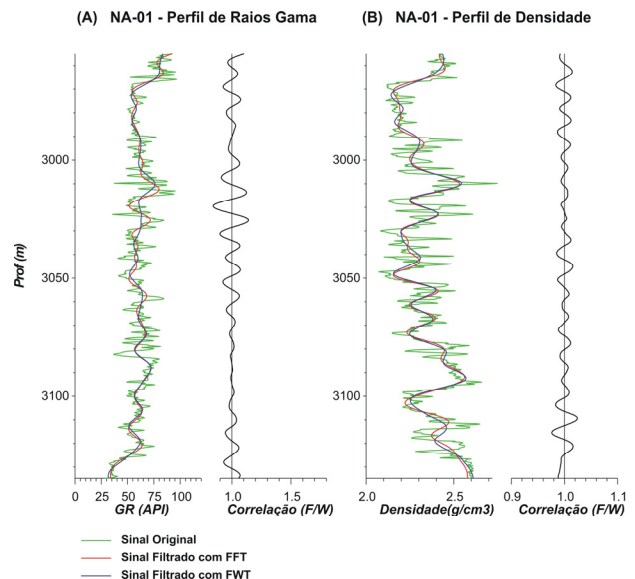


Figura 4 – Perfis de raios Gama e densidade de NA-01, originais e filtrados com TF e TW ($\lambda > 10$ m).

A construção de variogramas experimentais dos sinais originais e filtrados para todos os poços permite avaliar comparadamente os resultados obtidos e a qualidade de sua representação da aquisição de perfis.

No poço NA-01, o variograma destes sinais para o perfil de raios Gama mostra, de modo sistemático, a melhor preservação da variância com a filtragem TF, que retém adequadamente a estrutura da variografia original em um nível de energia mais elevado que aquele observado no filtrado por TW (figura 5). A localização dos eixos das estruturas do variograma também está mais preservada na filtragem com TF (figura 5).

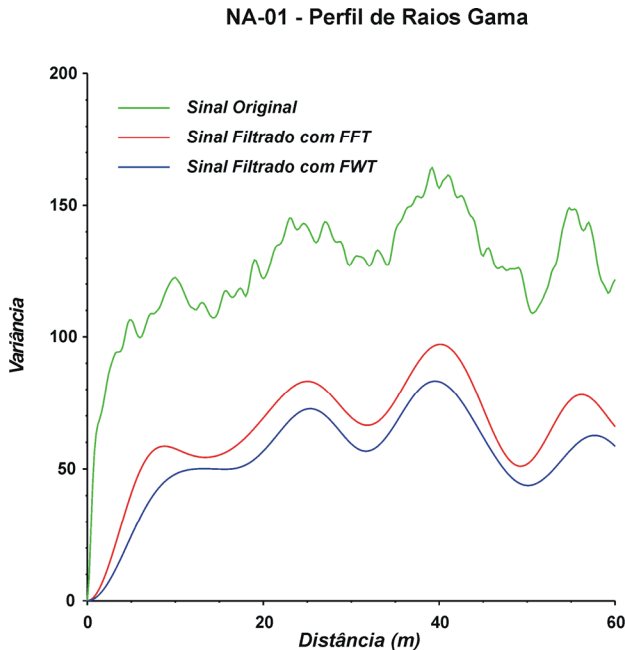


Figura 5 – Variogramas do sinal de raios Gama do poço NA-01 (original e filtrados com TF e TW).

De modo similar, os variogramas do perfil sônico de NA-12 também denotam a maior eficiência da filtragem por TF, apesar de ser notável que ambos os métodos oneram mais acentuadamente a variabilidade do sinal original. Como se pode observar nas figuras 5 e 6, o impacto das filtragens sobre a variabilidade do sinal sônico é um pouco mais acentuado que aquele sobre o sinal de raios Gama. Parte deste efeito pode ser atribuída ao fato do perfil sônico apresentar um nível de ruído de aquisição maior que o Gama.

Este comportamento dos variogramas de sinais original e filtrados se repete de modo consistente em outros perfis e poços analisados (por exemplo, figuras 7 e 8), demonstrando uma maior adequação do sinal ao filtro TF.

Em alguns casos, as diferenças entre filtragens são desprezíveis (como para gama em NA-12 – figura 9) ou, mesmo, demonstram maior preservação da variabilidade com a filtragem TW (por exemplo, no poço NA-04, situado em uma posição mais distante do eixo do reservatório, o conjunto de sinais filtrados com TF

apresenta menor variabilidade que aqueles tratados com TW - por exemplo, o perfil densidade na figura 10). Neste caso, o comportamento pode ser atribuído à posição deste poço no sistema turbidítico, mais periférica e com intercalações mais freqüentes e eventual mudança no seu comportamento deposicional conservativo.

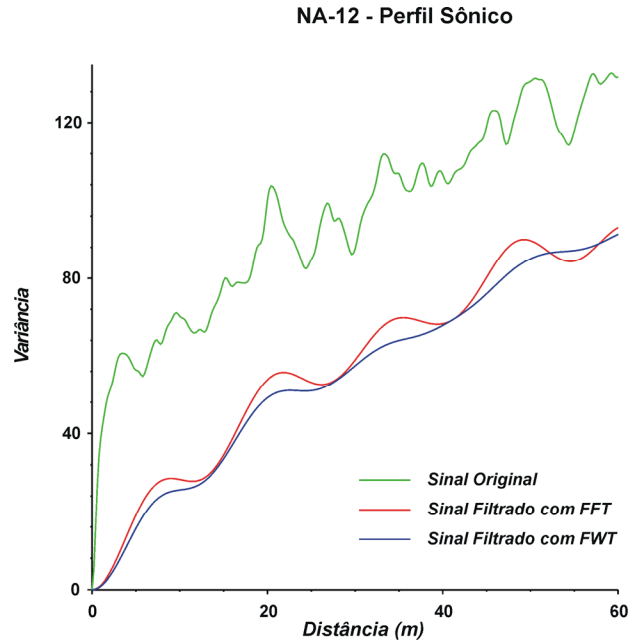


Figura 6 – Variogramas do perfil sônico do poço NA-12 (original e filtrados com TF e TW).

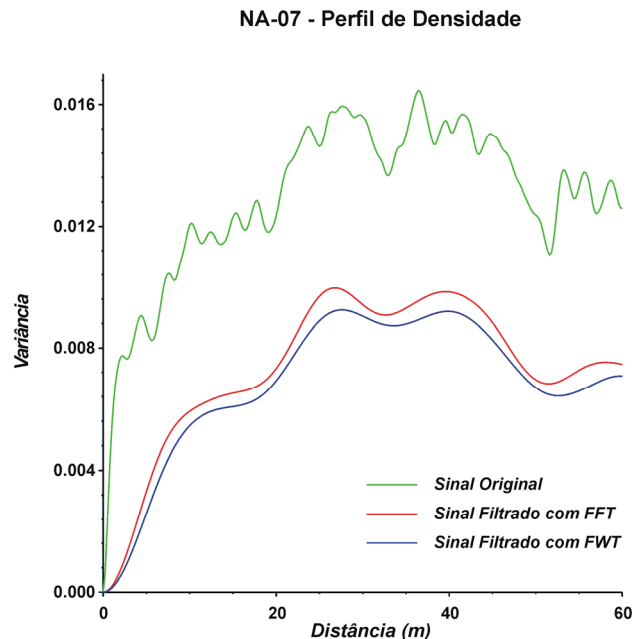


Figura 7 – Variogramas do perfil densidade do poço NA-07 (original e filtrados com TF e TW).

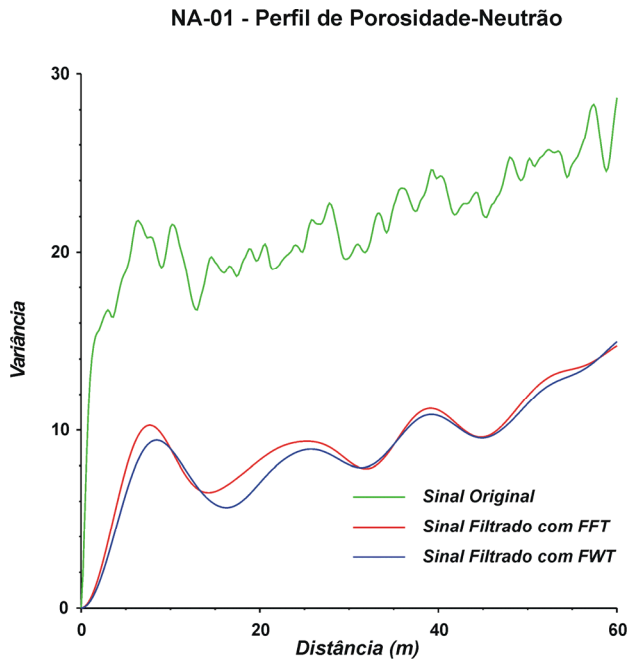


Figura 8 – Variogramas do perfil porosidade-neutrão do poço NA-01 (original e filtrados com TF e TW).

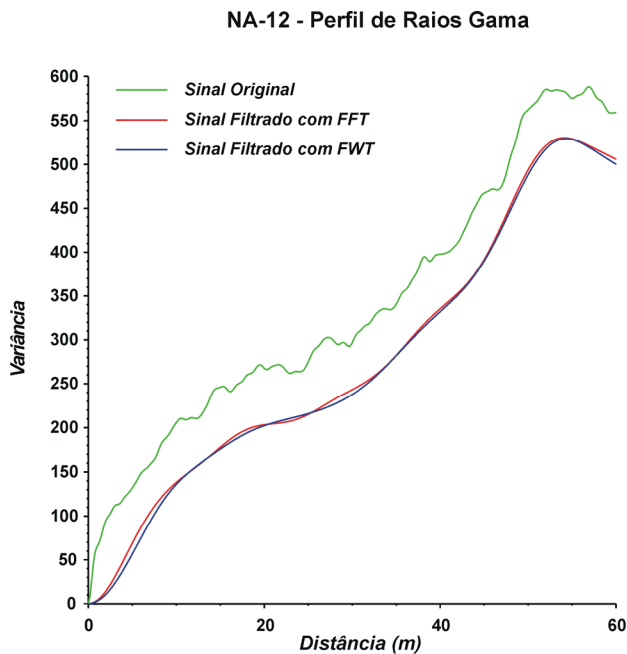


Figura 9 – Variogramas do perfil de raios Gama do poço NA-12 (original e filtrados com TF e TW).

Os variogramas experimentais dos sinais filtrados demonstram que, apesar de suas notáveis similaridades, os sinais filtrados com Fourier, nesta escala, apresentam sistematicamente maior variância ou, seja, preservam mais a energia do sinal. Portanto, em escalas compatíveis com a aquisição sísmica (rotineiramente

utilizada como base dos modelos tridimensionais de reservatórios) o sinal geofísico de poço bem como atributos dele derivados preservam mais informação se assumirmos o seu comportamento estacionário nessas baixas frequências.

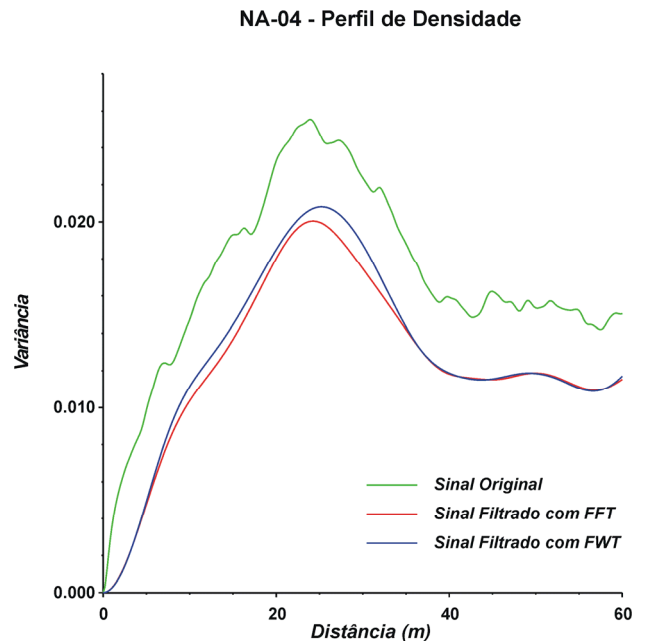


Figura 10 – Variogramas do perfil densidade do poço NA-04 (original e filtrados com TF e TW).

Conclusão

No caso estudado, os sinais filtrados com Fourier preservam melhor a variância do sinal original que aqueles submetidos à filtragem por TW, indicando um forte conteúdo estacionário do sinal nesta escala e sugerindo um particionamento em duas componentes ao nível do reservatório: uma estacionária de média a alta energia e grande escala e sua contraparte de pequena escala. Este resultado implica em importantes limitações na escolha da estratégia de transferência de escala, pois a escolha inadequada dos filtros certamente onera a qualidade dos dados processados.

A componente de baixa frequência dos perfis de raio Gama, densidade, porosidade-neutrão e sônico foi filtrada, mantendo grande parte da potência do sinal. Exceto pelo perfil sônico, a correlação entre os sinais filtrados com as duas ferramentas é bastante alta e com pequena dispersão em torno da diagonal principal; no caso do sônico, a maior dispersão pode ser atribuída aos ruídos da aquisição original.

Neste trabalho, propomos a utilização de ferramentas de análise exploratória de dados (espectros de Fourier e wavelet, e variografia experimental) que, utilizadas em conjunto com informações geológicas qualitativas, permitem estabelecer vínculos realísticos entre as várias escalas de observação. Metodologicamente, o uso integrado de várias ferramentas de análise exploratória

permite evitar suposições 'a priori' que podem descartar parte importante do sinal. Como consequência direta dessa análise, é possível ao intérprete particionar o sinal em componentes, tratáveis independentemente (e com ferramentas numéricas adequadas caso a caso), melhorando a segregação dos ruídos e preservando analiticamente a maior potência do sinal originalmente adquirido.

Como demonstram Liu et al. (2002), o conhecimento sedimentológico dos reservatórios é fundamental na adoção de uma estratégia para construção de modelos realísticos e otimizados de transferência de escala.

Em termos de interpretação geológica, é importante salientar que o forte caráter estacionário dos sinais geofísicos de poço deste reservatório, em que pesem modificações pós-deposicionais importantes, certamente reflete própria natureza da sedimentação enquanto um fenômeno natural amplamente modulado por gravidade, um campo geofísico de forte assinatura estacionária nas escalas de tempo envolvidas no desenvolvimento desses depósitos.

Agradecimentos

O primeiro Autor agradece à Agência Nacional do Petróleo pela concessão de bolsa de pesquisador-visitante junto ao seu Programa de Recursos Humanos ANP/PRH-11 – LAGEMAR – UFF.

Referências

Graps, A. 1995, An Introduction to Wavelets: IEEE, v. 2, n. 2

Liu, K., Paterson, L., Wong, P. & Qi, D. 2002, A Sedimentological Approach to Upscaling: Transport in Porous Media, 46: 285-310

Pickup, G.E. & Hern, C.Y. 2002, The Development of Appropriate Upscaling Procedures: Transport in Porous Media, 46: 119-138

Prokoph, A. & Agtemberg, F.P. 2000, Wavelet Analysis of Well-logging Data from Oil Source Rock, Egret Member, Offshore Eastern Canada: AAPG Bulletin, 84 (10):1617 – 1632

Prokoph, A. & Barthelmes, F. 1996, Detection of Nonstationarities in Geological Time-series: Wavelet Transform of Chaotic and Ciclic Sequences: Computer and Geosciences, 22 (10): 1097 – 1108

Rocha, M.P.C. & Leite, L.W.B. 2003, Treatment of Geophysical Data as a Non-Stationary Process: Computational and Applied Mathematics, 22 (2): 149-166

Silva, A. & Remacre, A.Z. 2001, Geological Constrained Log Filtering as a Basis for Scale Transference: SPE 69484

Silva, A., Protázio, J.M.B. & Remacre, A.Z. 2003, Análise Wavelet Aplicada na Mudança de Escala em Perfis Geofísicos do Campo de Namorado: Revista Brasileira de Geociências, 33 (2-Suplemento): 121-126

Taggart, I. 2002, Effective versus Total Porosity Based Geostatistical Models: Implications for Upscaling and Flow Simulation: Transport in Porous Media, 46: 285-310

Torrence, C. & Compo, G.P. 1998, A Practical Guide to Wavelet Analysis, Bulletin of the American Meteorological Society, 79 (1): 61 – 78