

Complexidade na Indústria do Petróleo

Liacir S. Lucena

INCT-SC and International
Center for Complex Systems

UFRN

INCT-SC CBPF

26-Março-2009

UFRN

CISCPET



Colaboradores

UFRN e RN

Luciano Rodrigues da Silva INCT-SC

Deilson de Melo Tavares – Fis/Mat

Joaquim Elias de Freitas – Matem.

Roosevelt Fonseca Soares – Mat.

Marcelo Gomes Pereira – Matem.

José Brandão Neto - Medicina

Áurea Nogueira de Melo – Medicina

Ronaldo A. do Amaral - Biofísica

Gilberto Corso – Biofísica

Umberto Laino Fulco - Biofísica

Paulo Fulco – Física

Álvaro Barroca Neto – Engenharia

Francisco Edcarlos A. Leite - UFERSA

Edemerson S. de Moraes - IFCTRN

Paulo F. da Silva - IFCTRN

Ricardo Wanderley - PETROBRAS

Moacir L. Neto - PETROBRAS

Heron A. Scholtz – PETROBRAS

Marcos Vinicius C. Henriques

Michelli Silva

Nisar Rocha

Felipe Zumba

Pedro Cáceres

Colaboradores

BRASIL

- Ervin Kaminski Lenzi INCT-SC
- Constantino Tsallis INCT-SC
- Roberto da Silva Andrade INCT-SC
- José Soares Andrade Jr. INCT-SC
- Renio Mendes INCT-SC
- Hans J. Herrmann INCT-SC
- Douglas Soares Galvão UNICAMP
- Giovani Lopes Vasconcelos UFPE
- Murilo Pereira de Almeida UFC
- Raul Montagne Dugros UFRPE
- Milton J. Porsani UFBA
- Marcelo Leite Lyra UFAL
- Reinaldo Rosa INPE

• EXTERIOR

- Stéphane Roux
- Alex Hansen
- Felix Herrmann
- Henk Hilhorst
- Peter J. King
- H. Eugene Stanley
- Gerry Paul

Um pouco de História

Iniciativa de oficializar
o Centro Internacional
de Física dos
Sistemas Complexos
junto ao MCT

1995

Aug. 24 '95 12:06

DOF - CCEN - UFPE

FAX: 55-081-2718442

P. 1



Recife, 24 de Agosto de 1995

Professor Liacir Lucena

DF / UFRN, Natal

FAX: 084 231-9749

Caro Liacir:

Estou enviando nas próximas 6 páginas a correspondência fax com Constantino e o Vargas.

Incluo também trechos de 2 e-mails que foram trocados entre os mesmos correspondentes e que ajudam a vocês verem a situação em melhor perspectiva.

Um grande abraço de,

Ricardo
Ricardo.

- 11.08.95 Const. Para Ricardo: "A idéia de Natal me entusiasma por uma série de razões, que você conhece ou advinha"
- 12.08.95 Ricardo para Constantino: "Vai continuar chovendo no sertão e o meu desejo é que esta chuva caia também para nossos amigos de Natal."

Um pouco de História - 2

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Gabinete do Reitor

Natal, 12 de Setembro de 1995

Ao Exmo. Sr. Dr. José Israel Vargas
M.D. Ministro da Ciência e Tecnologia

Sr. Ministro:

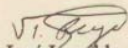
Venho manifestar oficialmente a V. Excia, o elevado interesse da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, na implantação, em Natal, do **Centro Internacional de Física dos Sistemas Complexos**, que tem o objetivo de dinamizar as pesquisas em andamento na universidade nessa área e promover uma maior integração dos nossos pesquisadores na comunidade científica mundial.

Esta proposta realmente representa a culminação de um grande esforço do Departamento de Física da UFRN, realizado num período de mais de 20 anos, direcionado no sentido de criar um ambiente científico de alto nível. O professor Constantino Tsallis, portador da presente missiva, participou efetivamente da formação deste núcleo de excelência que, sem nenhuma dúvida, atingiu um nível internacional. Cabe destacar que este resultado foi alcançado com modesta contribuição das agências federais de fomento e boa utilização dos recursos próprios da universidade. Objetivamente este núcleo pode mostrar, hoje, recursos humanos qualificados (30 doutores), uma sólida produção científica e Cursos de Mestrado e Doutorado em pleno funcionamento.

Neste momento, estamos em condição, e é o nosso grande anseio, de dar um salto de qualidade, para o que precisamos do apoio forte desse Ministério. O Centro Internacional de Física dos Sistemas Complexos, que estamos decididos a criar, com a sua estrutura ágil e dinâmica, será o catalizador capaz de proporcionar o rápido intercâmbio de pesquisadores e de novas idéias neste novo mundo dos sistemas complexos, dando sequência a uma vocação natural já demonstrada pela UFRN. Temos certeza que, este centro, tendo a sua frente o Professor Constantino Tsallis, terá êxito assegurado, possibilitando atingirmos uma posição de liderança no cenário mundial.

Esperamos contar com o entusiasmo de V. Excia para este empreendimento que se enquadra dentro dos Planos de Desenvolvimento da Ciência no Brasil, pelos quais V. Excia. tem tanto lutado.

Cordiais Saudações


Prof. José Ivonaldo do Rego
Reitor



Governo do Estado do Rio Grande do Norte
Gabinete do Governador

Ofício nº 610/95-GE

Natal(RN), 13 de setembro de 1995

Senhor Ministro:

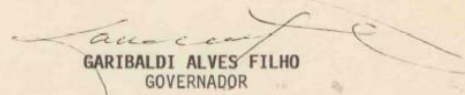
O Estado do Rio Grande do Norte, sintonizado com a política de desenvolvimento científico e tecnológico tão bem defendida por Vossa Excelência, dá hoje um grande passo para promover este setor. Acabo de sancionar, nesta data, o Projeto de Lei que cria o Fundo Estadual de Ciência e Tecnologia destinado automaticamente recursos do orçamento estadual para as atividades de fomento.

Demonstrando o empenho do Rio Grande do Norte em apoiar a Ciência e a Tecnologia, entendidas como ingredientes indispensáveis ao desenvolvimento econômico, julgo o momento oportuno para propor uma parceria a esse Ministério, para viabilizar o projeto de criação do Centro Internacional de Física dos Sistemas Complexos, a ser localizado em Natal, junto à Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Conhecedor das intenções divulgadas por Vossa Excelência de estimular a implantação de novos núcleos de excelência em todo o território brasileiro, considero que a proposta apresentada pela UFRN se harmoniza perfeitamente com os meus planos de governo na área científica e tecnológica.

Tenho consciência de que, entre as vocações do nosso Estado, uma das mais importantes será a sua transformação num pólo científico de alto nível, com o aproveitamento das competências e do potencial humano de que dispomos, e da criação de mecanismos eficientes de intercâmbio com órgãos de pesquisa em todo o mundo. Nesse sentido, desejo expressar meu total apoio à iniciativa da Universidade Federal do Rio Grande do Norte de criar o Centro Internacional de Física dos Sistemas Complexos, entidade que, em futuro próximo, deverá atrair para o Rio Grande do Norte empresas de alta tecnologia contribuindo, simultaneamente, para o maior desenvolvimento científico e cultural da região.

Desejo, assim, comunicar-lhe meu compromisso de envidar todos os esforços em prol da concretização deste projeto, solicitando, ao mesmo tempo, sua alta colaboração no mesmo sentido.

Cordiais Saudações,


GARIBALDI ALVES FILHO
GOVERNADOR

Exmo. Sr.
Dr. JOSÉ ISRAEL VARGAS
MD. Ministro de Ciência e Tecnologia
BRASÍLIA-DF

Objetivos do INCT-SC

- Complexidade em Sistemas Biológicos
- Complexidade em Sistemas Econômicos
- Mecânica Estatística Não Extensiva
- Teoria e aplicações
- Processamento de sinais e imagens para fins de análise, detecção e predição

O que a Indústria do Petróleo tem a ver com a Complexidade?

- Os Reservatórios de Petróleo são sistemas de alta complexidade (heterogeneidades em todas as escalas, fraturas, correlações, etc ...)
- A localização de jazidas requer métodos e técnicas sofisticadas para processamento, filtragem e análise de sinais
- O imageamento das estruturas geológicas do subsolo é muito mais difícil do que o imageamento em Medicina e Biologia
- Há necessidade de Modelos Estocásticos mais elaborados para a descrição dos reservatórios
- A fenomenologia é rica e diversificada: fluxo em meios porosos, dedos viscosos, fractalidade, criticalidade, não linearidades, problemas inversos, etc
- As incertezas e riscos econômicos são elevados e precisam ser avaliados

Dados, dados e mais dados ...

(outra característica dos S.C.)

- As propriedades físicas são medidas com precisão apenas num volume que representa uma fração muito pequena da sub-superfície da Terra
- Do volume inteiro são obtidas somente medidas de baixa resolução (sísmicas) que representam uma quantidade extraordinária de dados (~terabytes)
- Nestes dados, a informação relevante está encoberta por uma “avalanche” de ruídos de diferentes naturezas

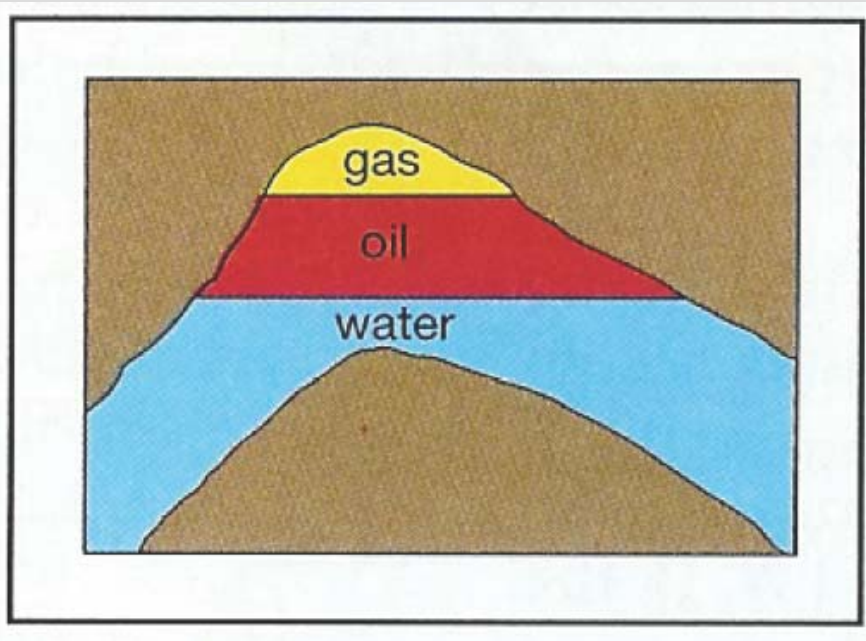
Motivação de Thadeu Penna, neste evento:

- “Séries temporais não estacionárias são muito difíceis de serem analisadas...”
- Novas ferramentas matemáticas têm de ser utilizadas

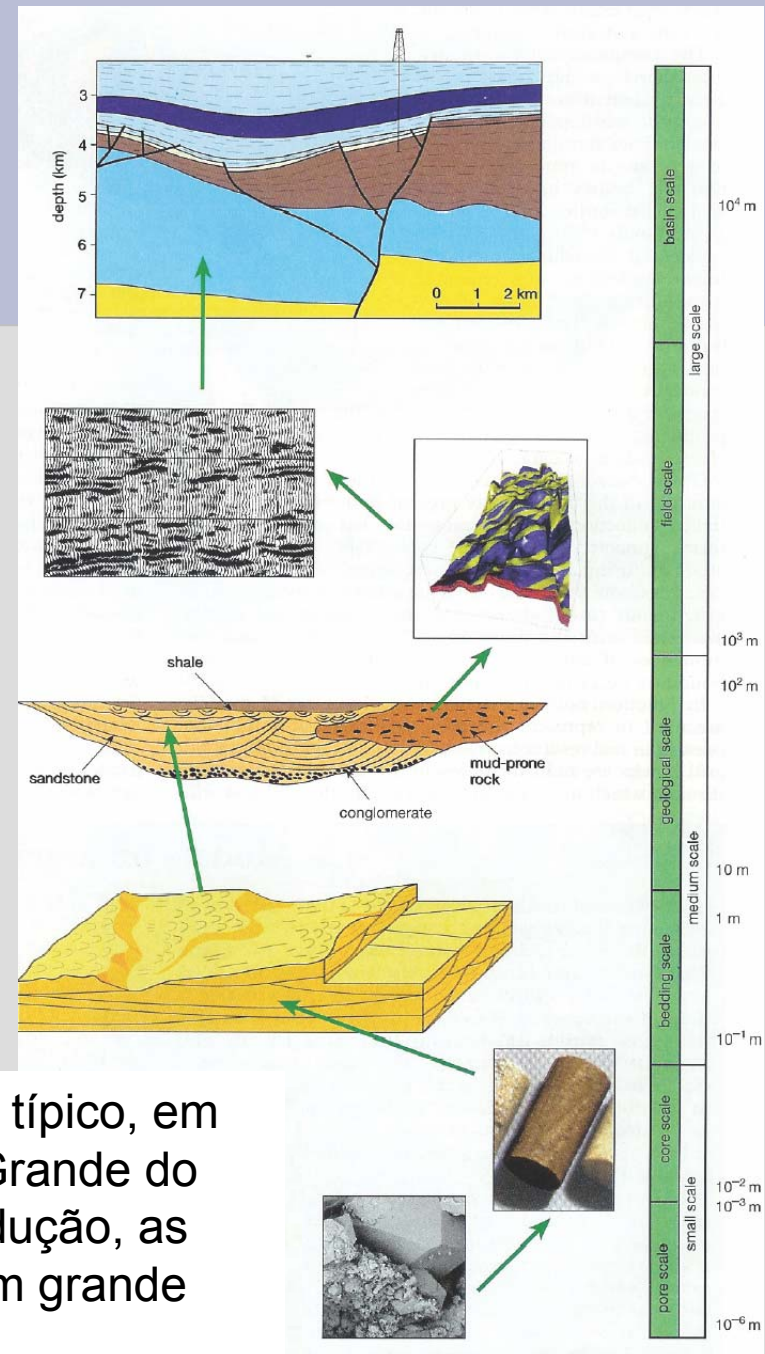
Alguns tipos de problemas na Indústria do Petróleo

- Propagação de ondas em meios com forte desordem
- Análise estatística de perfis de poços
- Espalhamento inverso em fractais e multifractais
- Construção de modelos estocásticos confiáveis
- Fluxo em meios porosos
- Estudo de correlações na presença de desordem e ruídos fortes
- Geoestatísticas mais realistas

O que é um Reservatório de Petróleo ?



Desenho esquemático mostrando um reservatório típico, em rocha arenítica, similar aos encontrados no Rio Grande do Norte. Para fazer avaliações e previsões de produção, as estruturas do subsolo precisam ser descritas num grande intervalo de escalas de comprimento



Que ferramentas utilizar ?

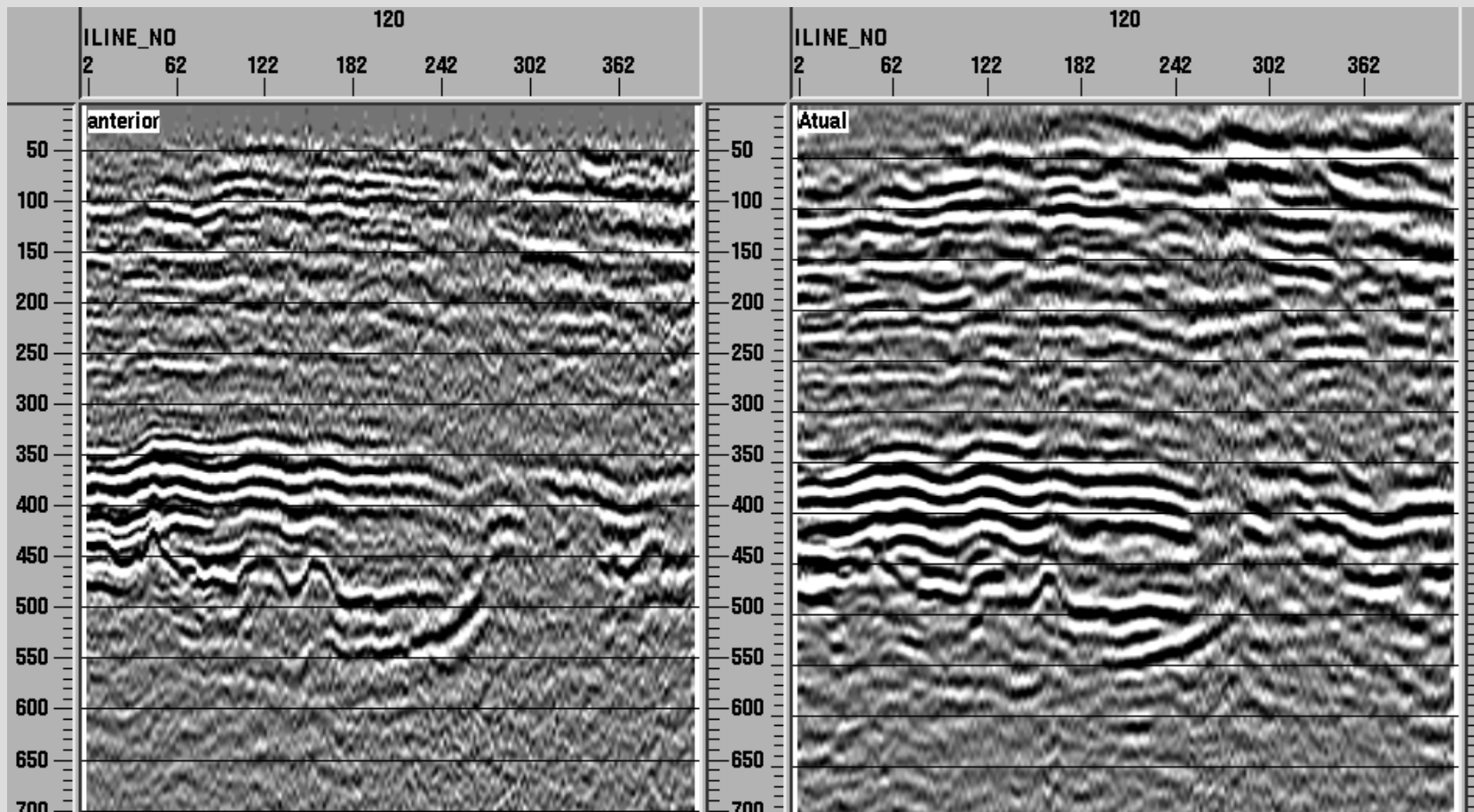
- A natureza desses problemas requer ferramentas matemáticas capazes de fornecer representações de dados em diferentes **escalas** e também de obter informação dos fenômenos não_estacionários no tempo e no espaço.
- As ferramentas baseadas nas “**wavelets**” são uma boa escolha!

Será que as wavelets são eficientes ?

Exemplo: Melhoria da Imagem Sísmica

Método padrão

Nosso método



Fourier

Magia Negra?

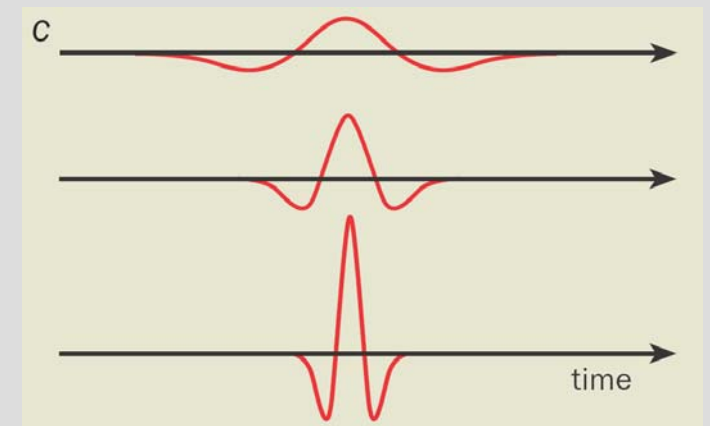
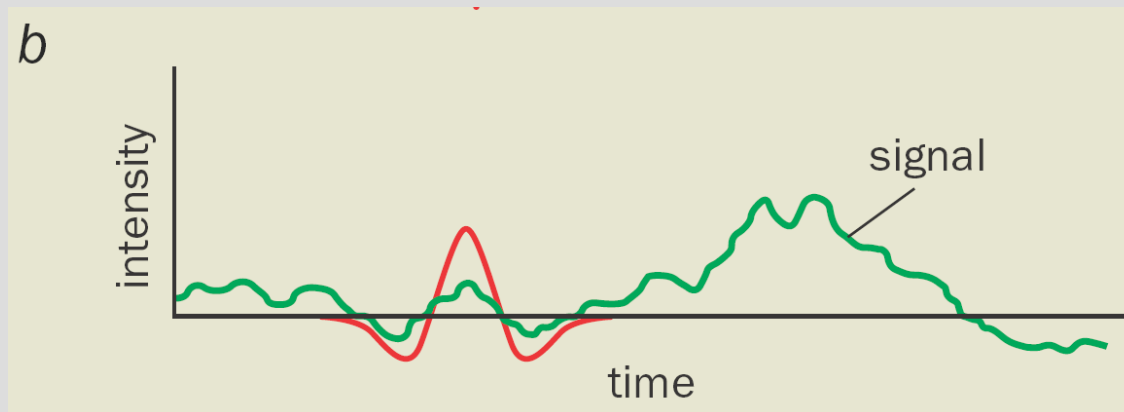
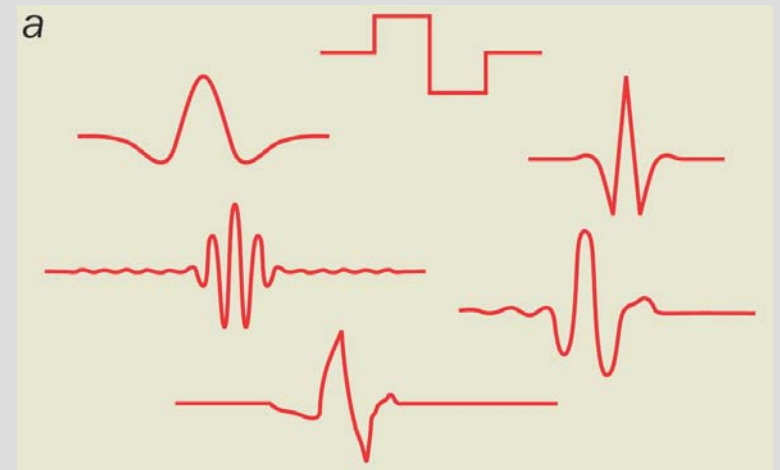
wavelet

A “mágica” das “Wavelets”

$$F(a,b) = \int f(x) \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx$$

function to analyze

Wavelet



Alguns Problemas Focalizados

- Desenvolvimento de um novo método de deconvolução de dados sísmicos por Análise de Flutuações
- Construção de Filtros para atenuação do “Ground Roll” usando Transformadas “Wavelet” contínuas e discretas
- Algoritmos para compressão de dados sísmicos
- Eliminação de ruídos usando Curvelets e Ridgelets
- Estudo de Reservatórios com base no modelo da Percolação
- Modelos Multifractais
- Modelos para explicar a origem das correlações em reservatórios
- Outros Modelos Estocásticos
- Novas Geoestatísticas

Análise de perfis de poços

Wavelet transform **versus** gradient pattern analysis

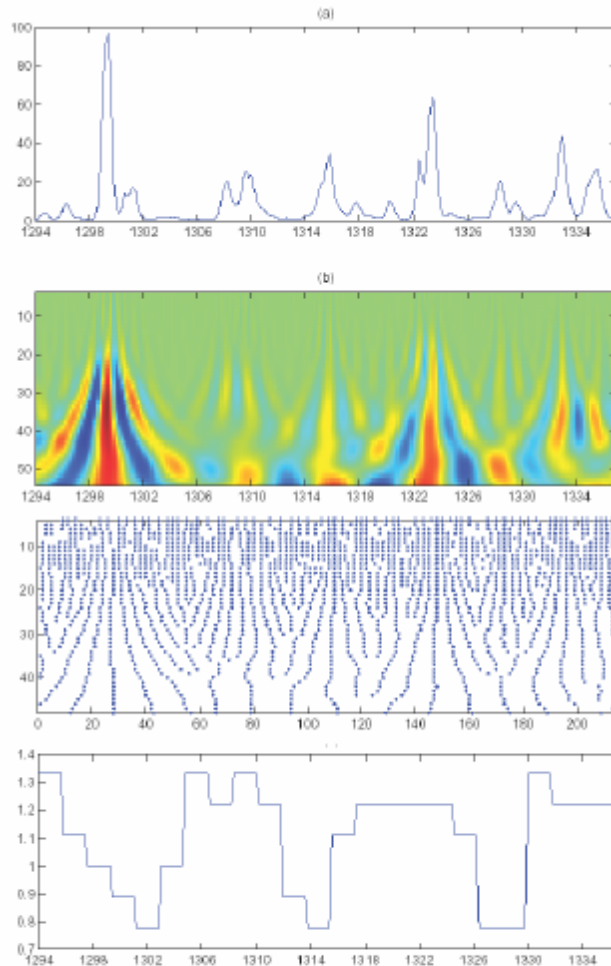


Figura 3 (a) Perfil de permeabilidade do poço 12
(b) Escalograma do perfil acima usando a Wavelet de Morlet
(c) Linhas de máximo do Módulo da Transformada
(d) Gráfico do GPA

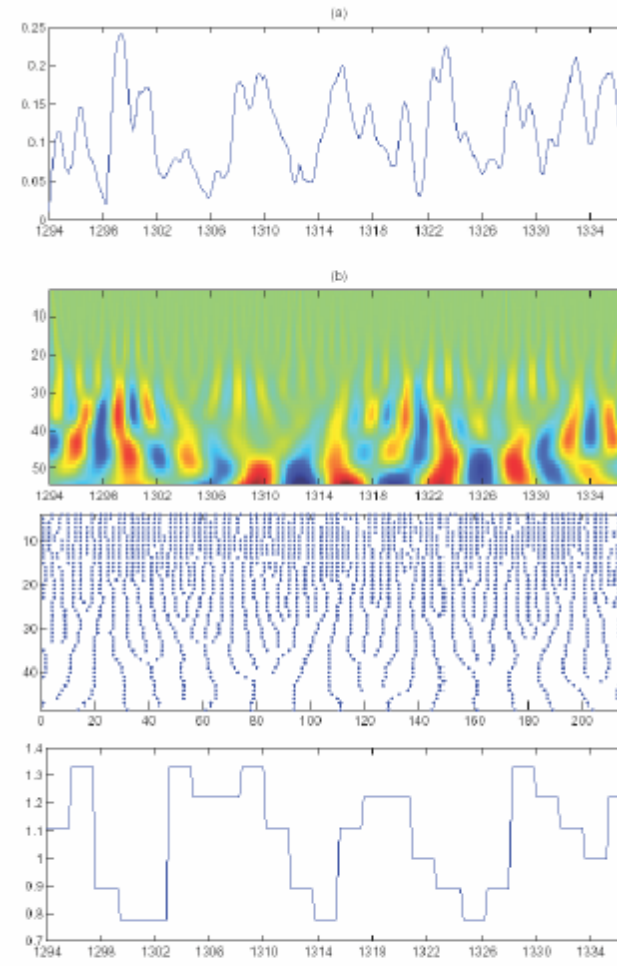
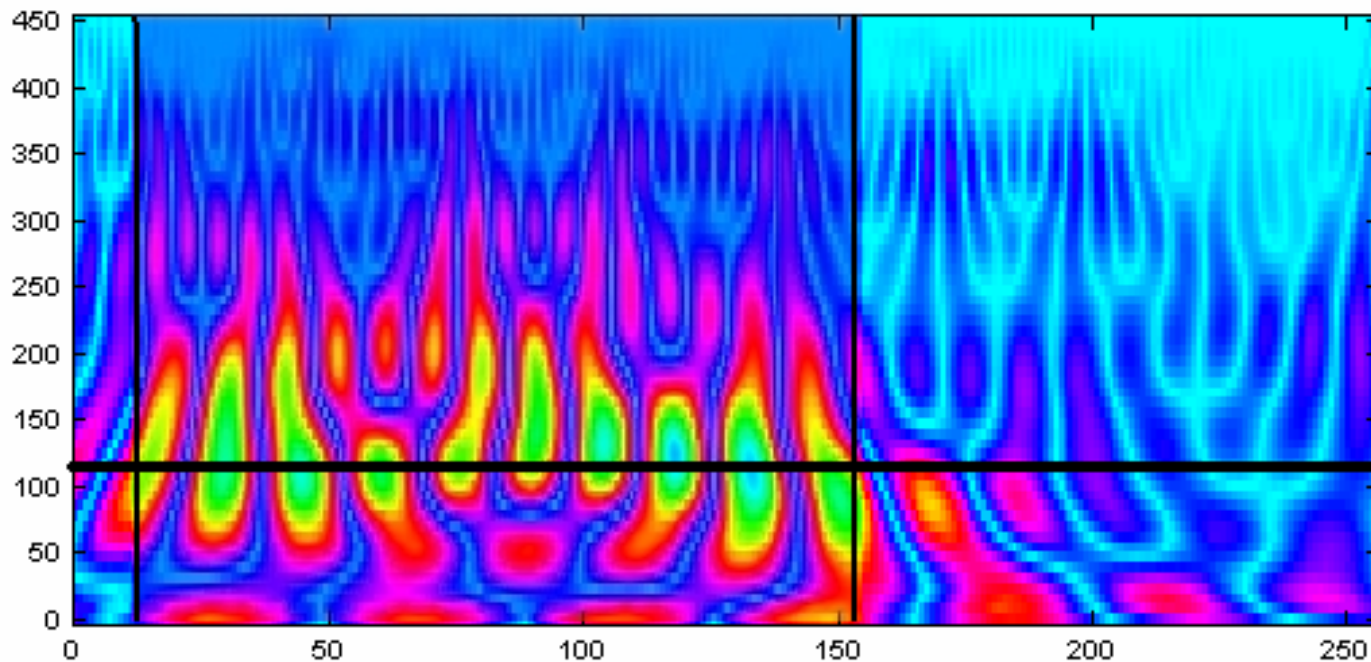
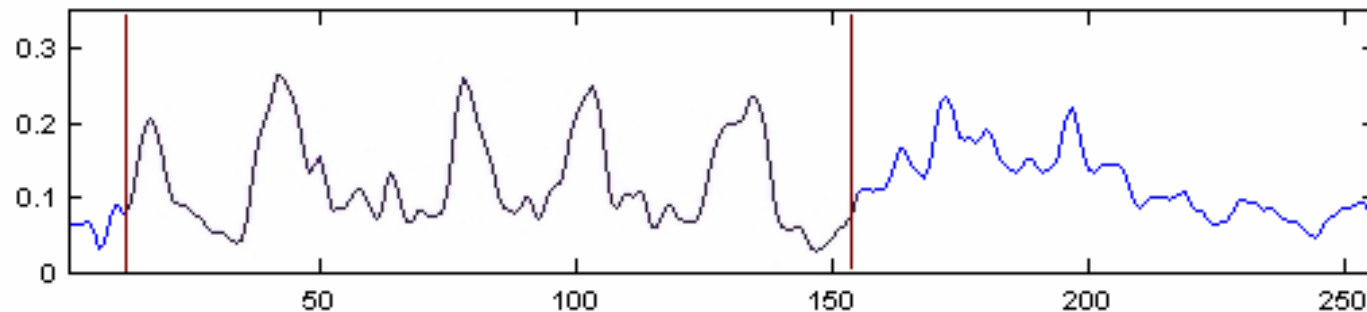


Figura 4 (a) Perfil de porosidade do poço 12
(b) Escalograma do perfil acima usando a Wavelet de Morlet
(c) Linhas de máximo do Módulo da Transformada
(d) Gráfico do GPA

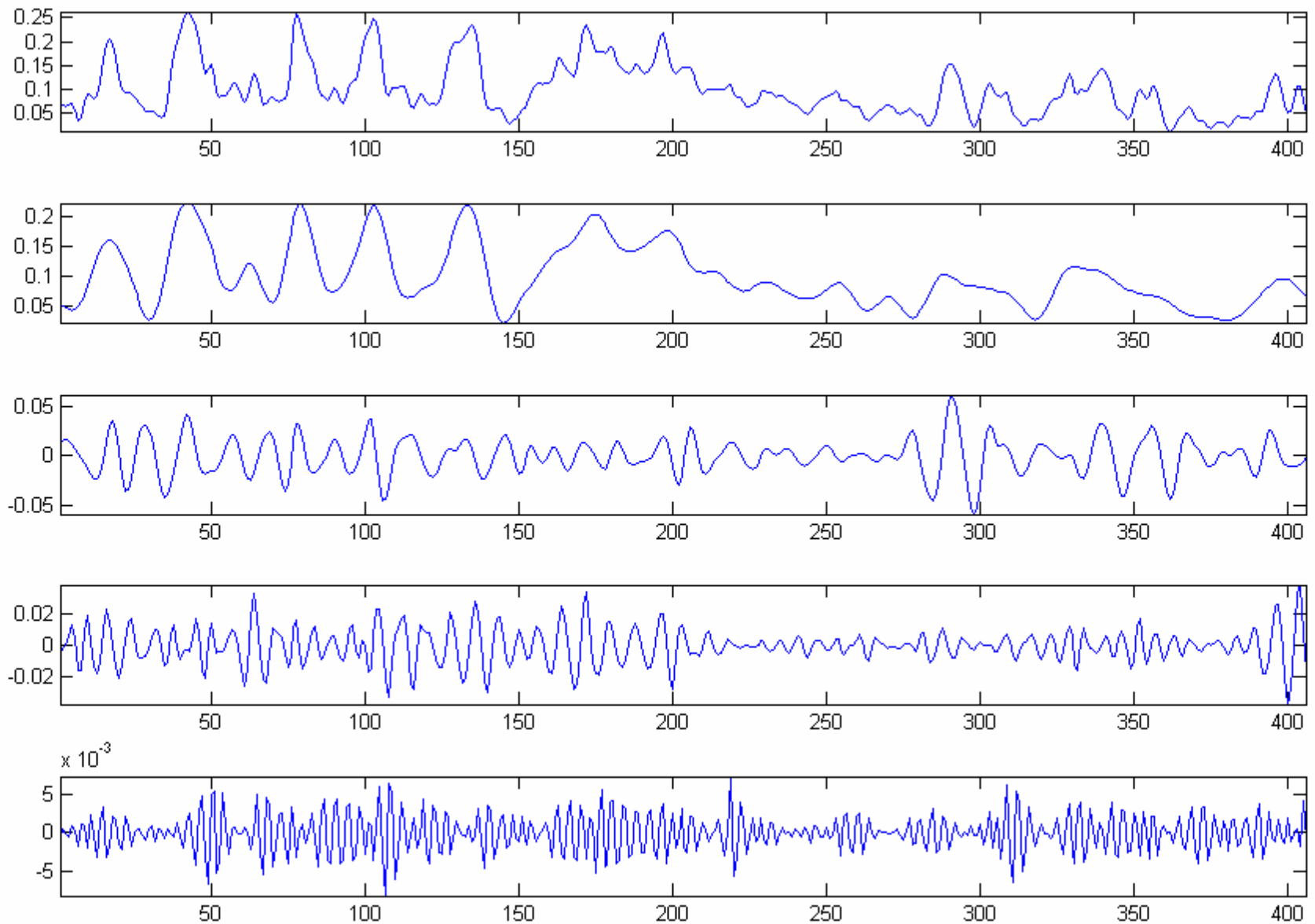
Detecção de Zonas, Ciclos e Camadas usando a Transformada Wavelet contínua

Poço 07 - PHIE - Porosidade Efetiva

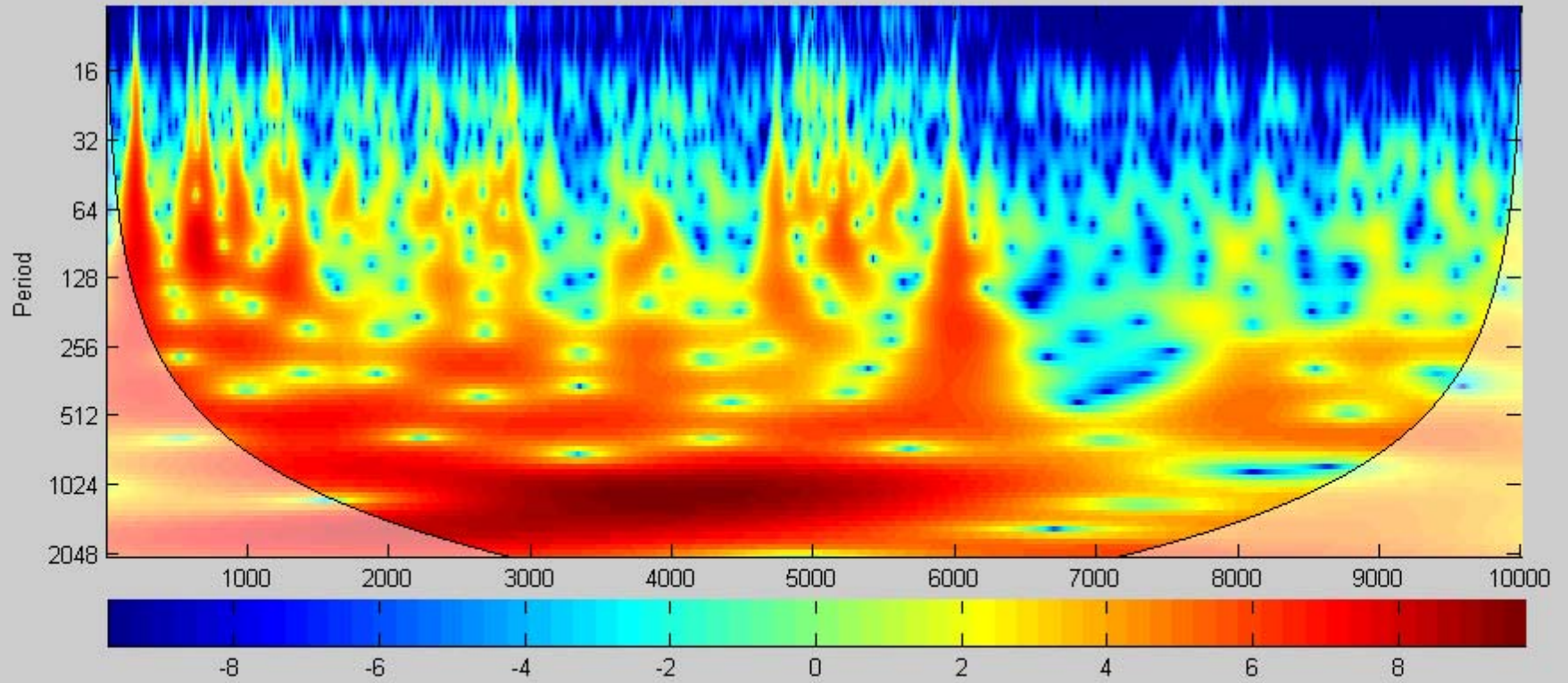
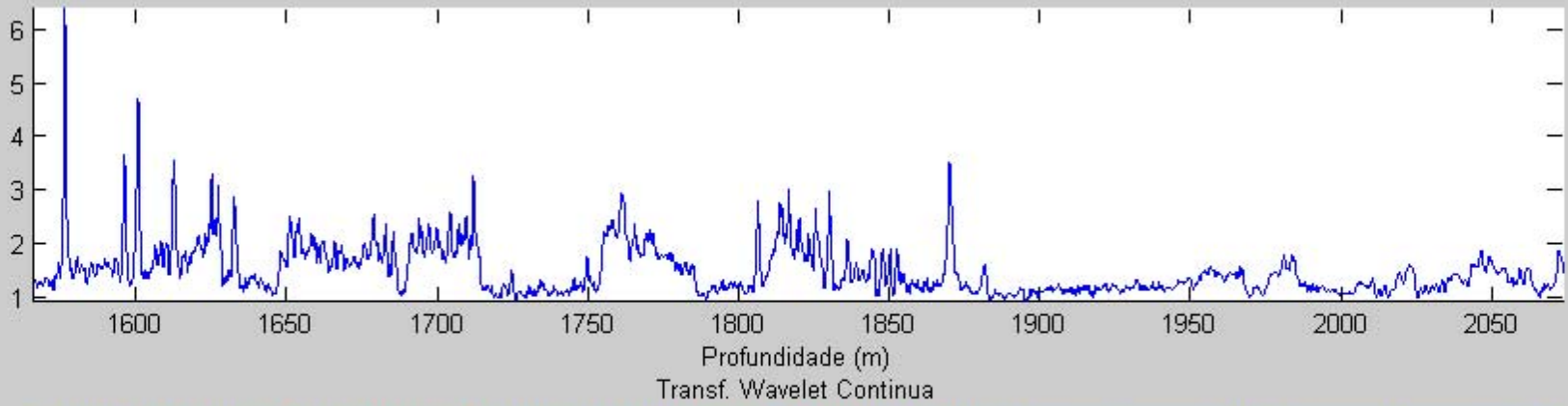


Transformada Wavelet Discreta(Daub8)

Poço 07 - Porosidade Efetiva - Transformada Wavelet Discreta (Daub8)

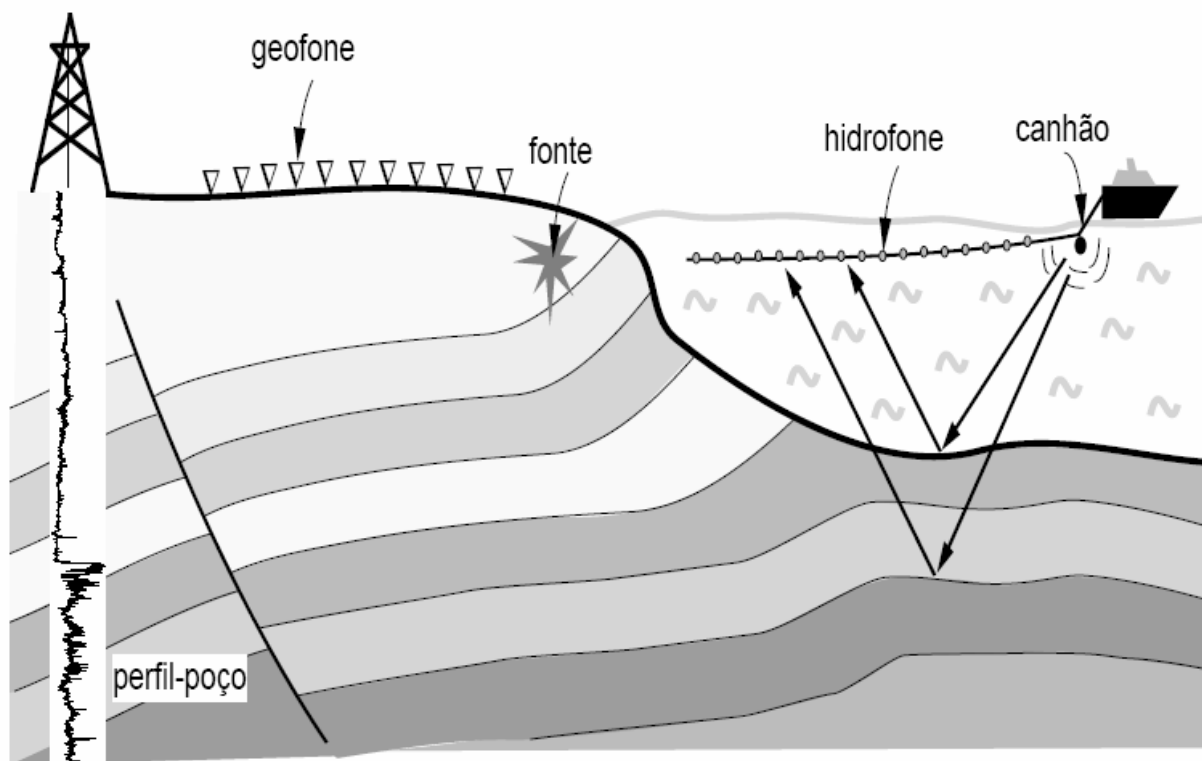


1bas121-ILD pontos 30000 a 40000



Exploração Petrolífera

Sondagem sísmica





Prêmio **PETROBRAS** **DE TECNOLOGIA**

.....
Primeira Edição



The deconvolution of seismic data as a fluctuation analysis

D.M. Tavares^{a,*}, L.S. Lucena^b, H.A. Schots^c, E.C. Mundim^d and F.J. Herrmann^e

^aFlamoiil Servios, R. Seridó 479/02, Petrópolis Natal, RN 59020-010, Brazil

Tel./Fax: +55 84 221 4023; E-mail: deilsonsantavares@yahoo.com

^bInternational Center for Complex Systems and Departamento de Física Teórica e Experimental UFRN, Natal, RN 59078-970, Brazil

^cPetrobras UN-RNCE, Natal, RN, Brazil

^dCentro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo M. de Melo Rio de Janeiro, RJ, Brazil

^eDepartment of EOS, University of British Columbia, 2219 Main Mall, Vancouver, BC, Canada V6T 1Z5

Abstract. The seismic convolutional model states that a seismic record is the convolution of the earth's reflectivity with the seismic wavelet. In seismic processing the purpose of deconvolution is to remove (or collapse) the seismic wavelet. In this way, the deconvolved seismic record provides an estimate of the reflectivity. Deconvolution is usually described in terms of the appearance of the deconvolved seismic record, as to whether the events have their durations significantly shortened or not. The change in the appearance of the deconvolved record as compared to the original record is normally understood as the justification for including the deconvolution step in the processing sequence. However, beyond the mere degree in which events are collapsed and located in the time direction, the statistical properties of the reflectivity should be represented in the result of a deconvolution. Using relations like the Wiener-Khinchin theorem, and Birkhoff's ergodic theorem as heuristic bases, we may presume that these statistical properties are completely given by the amplitude spectrum of the reflectivity.

The main obstacle to the determination of this amplitude spectrum is that it is not uniquely related to the data: In order to determine the amplitude spectrum of the reflectivity, it is necessary to know the spectrum of the seismic wavelet, or source signature, which is convolved with the reflectivity to produce the seismic records. There is the need of physical hypotheses to solve the problem, which may affect the statistics of the estimated reflectivity, as it is the case with the whiteness hypothesis in conventional deconvolution. It is possible to be less strict when formulating these hypotheses that define the spectral model, trying to infer not only the positions of the reflectors, but also the statistics of the reflectivity. To do this, it is necessary to rely only on general properties of the reflectivity and seismic wavelets, as they are met in practice. In this paper we explore this possibility, which has also been explored by other researchers. We substitute the whiteness hypothesis by an hypothesis based on the regularity contrast between the reflectivity ϵ (which is a rough convolutive component of the seismic trace x), and the seismic wavelet b (which is a smooth convolutive component of the seismic trace x). This physical hypothesis allows us to associate the reflectivity with the fluctuations χ_ϵ of the quantity $\chi_x \equiv \ln |\hat{x}|$, thus interpreting the deterministic deconvolution as a detrending of this quantity, and the statistical analysis of reflectivity as a fluctuation analysis. Then we employ recently proposed fluctuation analysis tools based on discrete wavelet transforms to perform deterministic deconvolutions, and to characterize some statistical properties of reflectivity, without and with the presence of Gaussian white noise.

It is possible to process seismic data successfully without knowledge of many of these underlying geophysical and mathematical concepts. However, if one is interested in getting the ultimate information out of seismic data at a reasonable cost, if one is interested in extreme accuracy in the time domain, if one is concerned about the difference between

a satisfactory deconvolution method and a better than satisfactory deconvolution method, then basic concepts become important and are worth learning about.

Enders A. Robinson

1. Introduction

In this issue dedicated to Professor Enders Robinson [2], it seems appropriate to discuss the deconvolution of seismic data in the light of some very recent developments in the physical and geophysical understanding of the statistical properties of reflectivity [39]. It is not our intention to cover, or to review, all outstanding contributions that appeared recently, and that are relevant to this question, but to expose our viewpoints on the subject based on those elements that we think more fundamental. This exposition is strongly influenced by what, in the theoretical physics community, is called the complex systems approach. This corresponds to concepts and methods of statistical physics, directed to systems that have many degrees of freedom, that may depend on many external parameters, and that may have non-trivial statistical behavior. In this class of systems, one often finds those having distributions with slow decay, so that some moments of these distributions cease to exist, making difficult to estimate the properties of the systems in the limit of large numbers, from the properties of its components. These distributions with slow decay are characteristic of the phenomenon called *intermittency*, that appear in stochastic processes referred as *flicker noises*, in which some events of high magnitude are too frequent in comparison with those predicted using a Gaussian distribution.

The statistical-physical approach to the study of reflectivity begins with Professor Robinson himself, who made the first interpretation and application of Wiener's theory on prediction to seismic data, and possibly one of the first applications at all [15,16]. At the time, this represented an innovation which influenced the practice of seismic processing in a decisive manner, and we may see as one of Robinson's major contributions to have introduced the statistical approach in this practical region in a so successful way. However, as Saggaf and he stress [27], his method was "consistent with the state of knowledge of the stochastic properties of reflection coefficients" by the time it was proposed, a situation that changed, as they also stress. In the present, detailed reports on the spectrum of reflection coefficients, derived from well logs, allow us to classify these coefficients as f^α noises, where f is the frequency, and α is a positive exponent [5,4]. This means that the spectrum of reflectivity is, in some approximation, a power law associated to a blue flicker noise, a noise whose logarithm of energy grows linearly with the logarithm of the frequency f . Of course, all such power law spectra are quite badly behaved with respect to moments.

They are also connected with first-order scale invariance, that is a scale invariance of the correlations [11]. When this scale invariance is enough to characterize the scaling, the flicker noise is a *fractal*. Otherwise, it is a *multifractal*.

The relationship between the complexity of a system and its non-trivial spectral characteristics was long recognized and studied. Among the names related to classical spectral analysis we can mention: Newton, Fourier, Herschel, Rayleigh, Kelvin, Wiener, Kolmogorov. These scientists and many others were involved in the discovery and development of the concept of spectrum and in the problem of spectral estimation from time series and functions. From their work, and specially from the formal developments due to Wiener and Kolmogorov [18], it became clear that the spectrum turns out to be related to the previsibility of a series, which measures, in a sense, its complexity. It is not our intention to discuss in detail this chapter of history not yet closed, but it is worth remembering that the statistical interpretation of spectral estimates of time series relies essentially on two results valid for stationary stochastic processes: the Wiener-Khinchin (or Einstein-Wiener) [28,3,18] theorem, which states that

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T dt x(t) x(t - \tau) = \int_{-f}^f df e^{2\pi i f \tau} |\hat{x}(f)|^2, \quad (1)$$

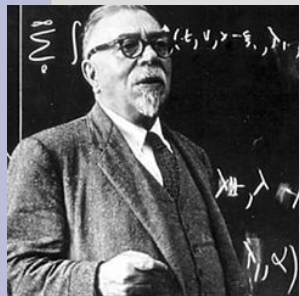
and Birkhoff's ergodic theorem

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T dt x(t) x(t - \tau) = \int_{\Omega} dx(0) dx(\tau) P(x(0), x(\tau)) \quad (2)$$

$$x(0) x(\tau).$$

The first result relates the autocorrelation and the spectrum. The second one, where $P(x, y)$ represents the joint probability density of x and y , relates the ensemble or population correlations to the time correlations. Theorems like these, or conjectures of similar content that are more or less justified through the reliability of the results, form the basis of all reasoning whose objective is to do statistical-physical inference from spectral estimates [23]. We remark that Wiener's prediction theory, and Kolmogorov's axiomatic approach have established a kind of duality between realization based methods and ensemble based methods, so that the theoretical connection between these approaches was not fully accomplished yet.

A idéia por trás da deconvolução sísmica



$$x(t) = \mathcal{E} * b(t)$$

Sinal Medido (convolução) *Refletividade (desconhecida)* *Onda gerada pela explosão (desconhecida)*

Temos de extrair \mathcal{E} de $x(t)$ \Leftrightarrow deconvolução

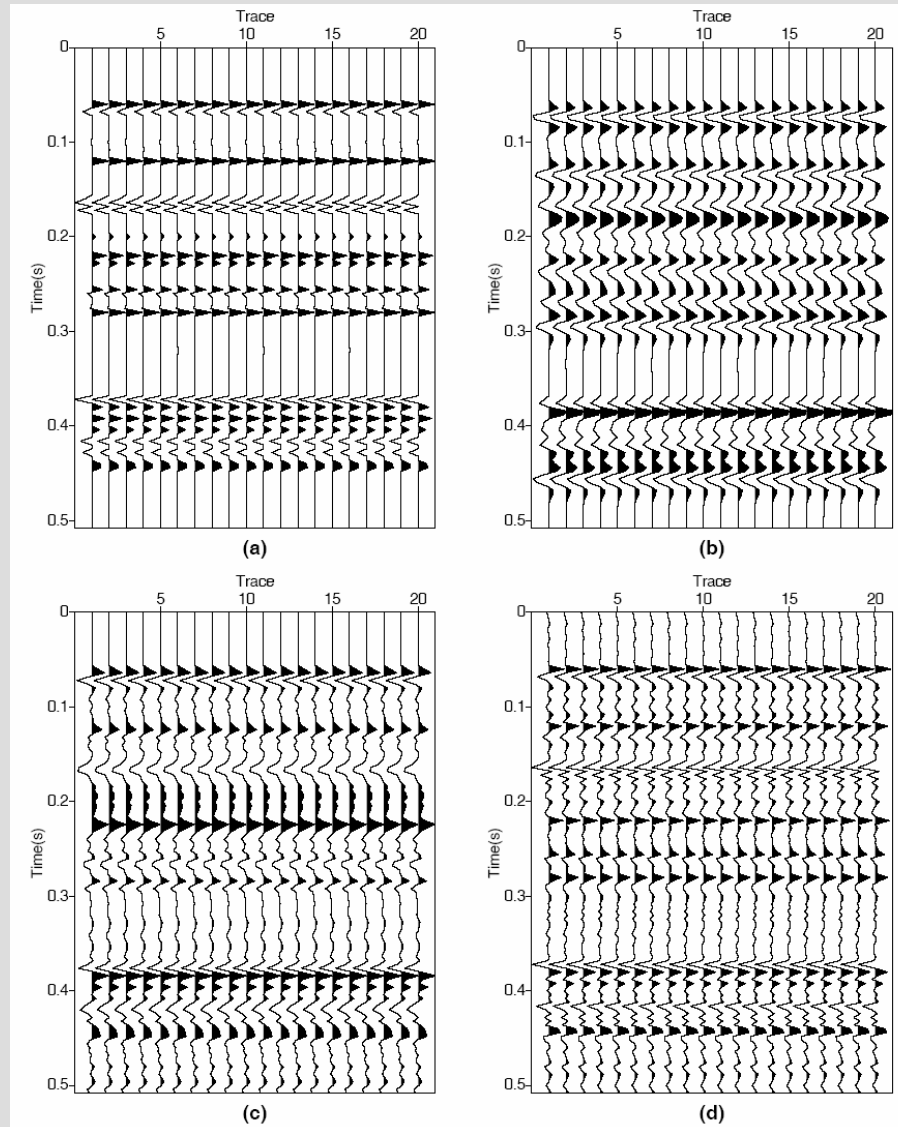
Método de Robinson & Wiener : Refletividade \mathcal{E} tem um espectro branco

Nosso método: A Refletividade pode ter um **espectro colorido**. A deconvolução é feita por análise de flutuações. Decompomos o sinal em duas partes: uma parte suave (campo médio) e uma parte com flutuações fortes.

A **onda original $b(t)$** (gerada pela explosão) corresponde à parte tipo **campo médio** do sinal. A **Refletividade \mathcal{E}** corresponde à parte com **flutuações fortes** do sinal. Outro ingrediente: ferramentas wavelet

Deconvolução por Análise de Flutuações

D.M.Tavares, L.S.Lucena, H.A.Schots, E.C.Mundim & F.J.Herrmann, Integrated Computer-Aided Engineering
12(2005) 25-42

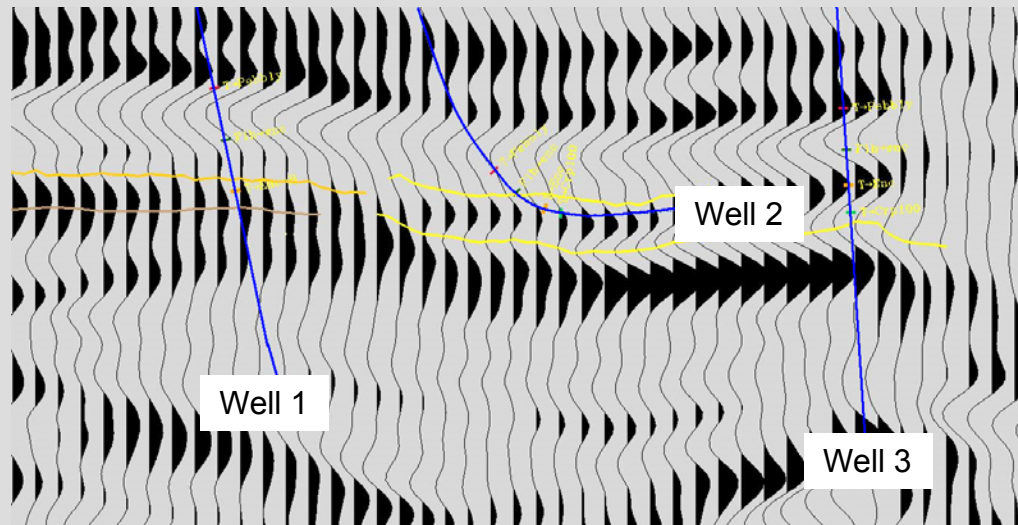


Aplicação a dados reservatório na Bacia de Campos

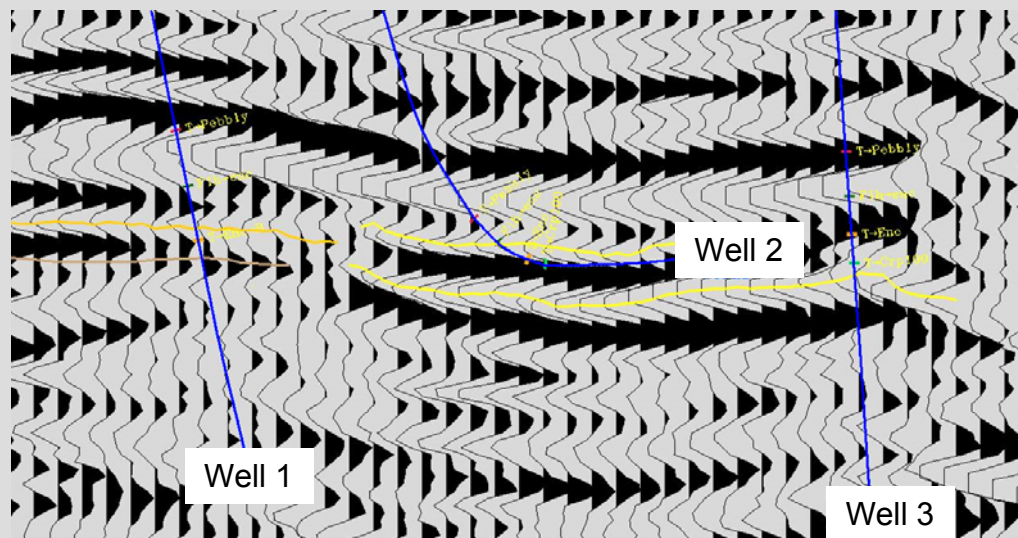
(a) Seismic data in the Campos Basin with standard processing.

(b) The same data with our method.

Refer.: Mundim, Schots, Araújo and Tavares, 9th Intern. Congress of the SBGf – 2005



(a)



(b)

Como se livrar de um ruído forte?

Exemplo: Atenuação do “Ground Roll”

G. Corso, P. S. Kuhn, L.S.Lucena, Z.D. Thomé *Physica A* 318 (2003) 551-561

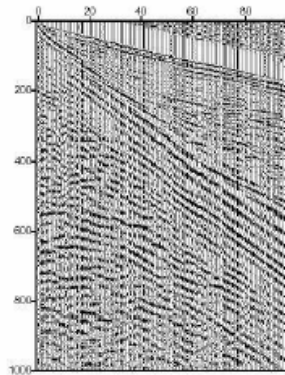


Figura 1: Dados sísmicos com um forte ruído ground-roll cruzando a seção inteira desde o topo na esquerda à parte baixa na direita.

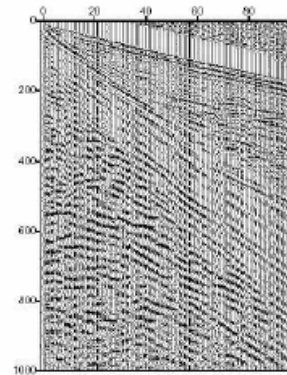


Figura 2: O sinal filtrado. Observe a forte atenuação na região do ground-roll.

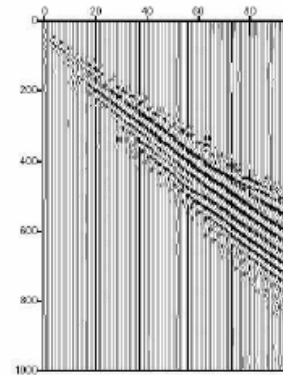


Figura 3: A porção removida do sísmograma.

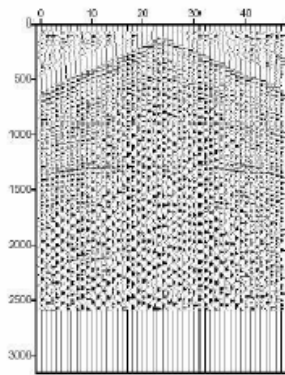


Figura 4: Outro conjunto de dados sísmicos com o ruído ground roll.

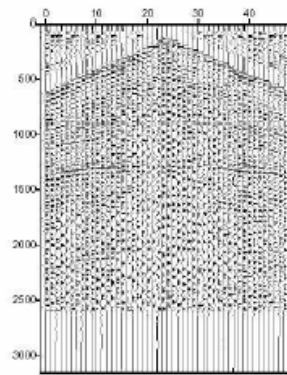


Figura 5: O segundo conjunto de dados após a filtragem. O sísmograma inteiro foi processado.

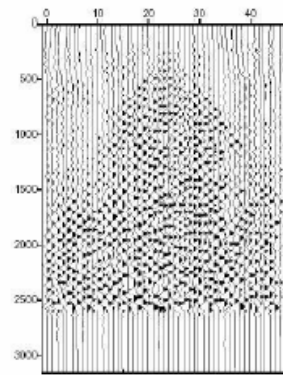


Figura 6: O sinal removido.

Utilizamos também outras técnicas, com sucesso:

Transf. Karhunen-Loève

Empirical Mode Decomposition

Curvelets

Métodos híbridos

Produção de Petróleo

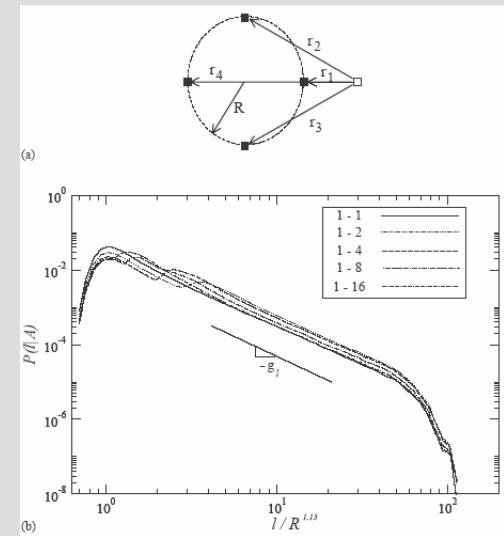
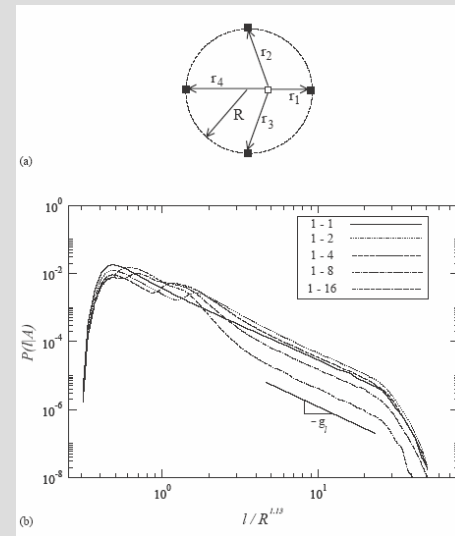
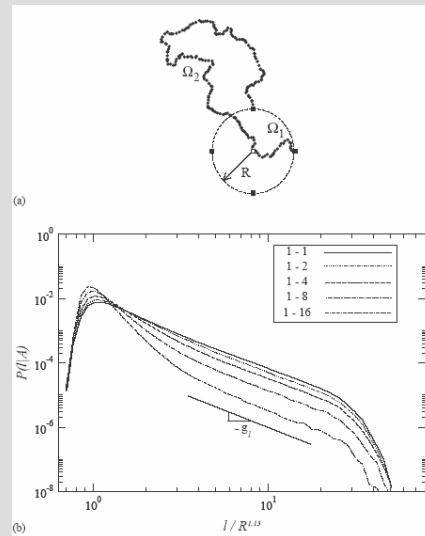
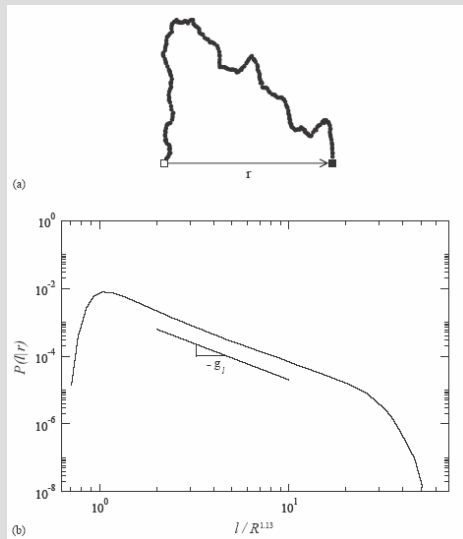
- **Problema:** Em geral apenas 30% do petróleo é recuperado
- **Por que ?**
 - Heterogeneidades em todas as Escalas
 - Fluxo em Meios Porosos
 - Dedos Viscosos (viscous fingering)
 - Informação Incompleta
 - Incerteza
 - Fractalidade e Multifractalidade
- **Necessidade de Modelos da Física Estatística**

Método da Percolação para Modelagem de Reservatórios

- Modelo de permeabilidade (areia/argila, folhelhos, falhas, fraturas)
- Arenitos/falhas tomados como objetos geométricos localizados no espaço, com estatísticas geradas por métodos numéricos simples
- Considera-se que a **conectividade** das areias controla o fluxo
- Usa-se a Teoria da Percolação para estimar a incerteza na performance do reservatório

MUITO RÁPIDO!

Distribuição de trajetórias mínimas para poços múltiplos usando o modelo da Percolação



$$g_l = 2.14$$

Um poço injetor e um poço produtor

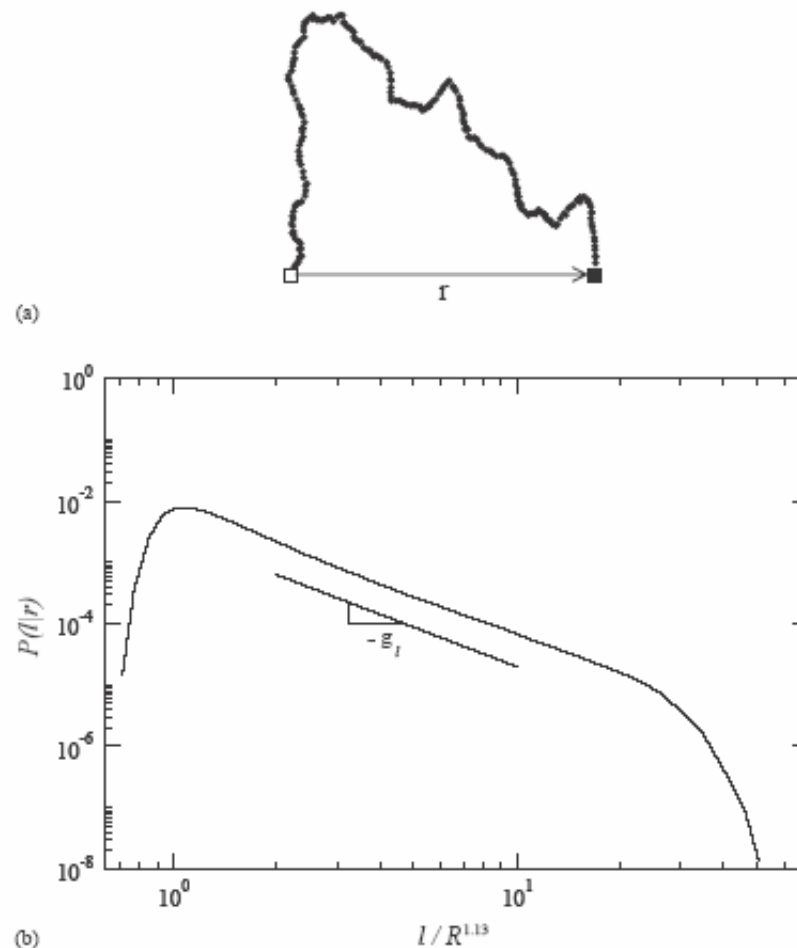


Fig. 1. The standard case of one injector and one producer. In (a) the layout of the array, the injector is indicated by an empty square, the producer by a filled square, the Euclidean distance between them by an arrow, and a typical path by a line. (b) The log-log plot of shortest path distribution, $P(l|r)$, at the percolation threshold.

Um poço injetor cercado por um “círculo” de poços produtores – caso simétrico

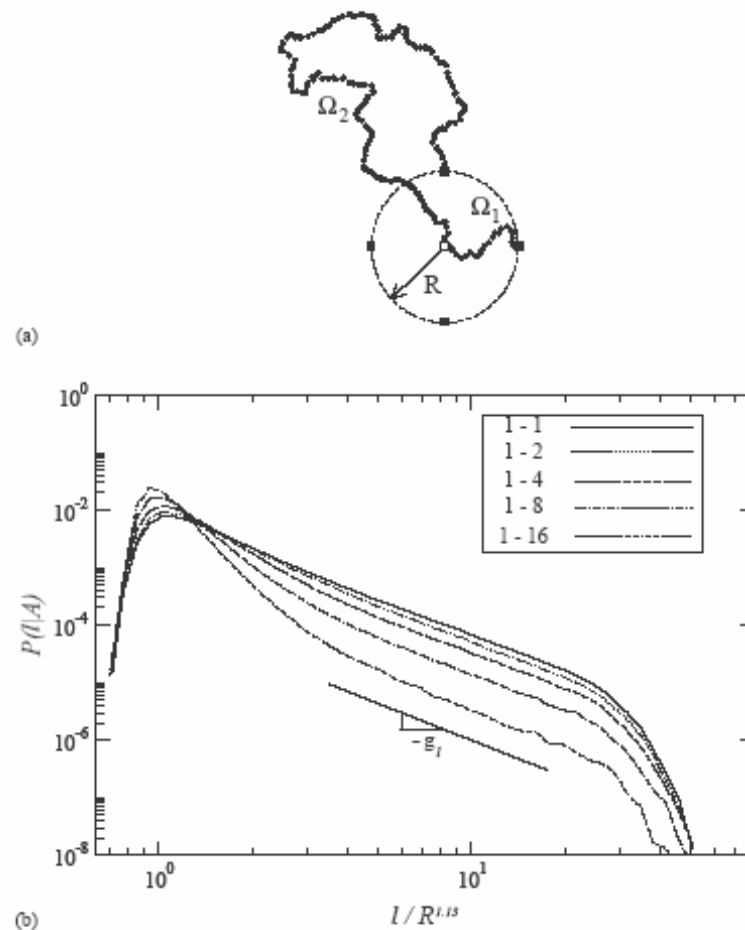


Fig. 2. The case of an injector at the center of a symmetric array of multiple symmetric wells, the injector (empty square) is inside a circle of 4 producers (filled squares). The producers are in a circle (dashed line) of radius R . Two paths are indicated: Ω_1 is a short path which does not leave the circle and Ω_2 a very long one which does leave the circle. (b) Log-log plot of the shortest path distribution, $P(l|A)$, versus $l/R^{1.5}$ at the percolation threshold. In the simulations $L = 500$ and $R = 64$. Five cases corresponding to 1, 2, 4, 8, and 16 production wells are indicated in the figure.

Um poço injetor cercado por um “círculo” de poços produtores – caso assimétrico

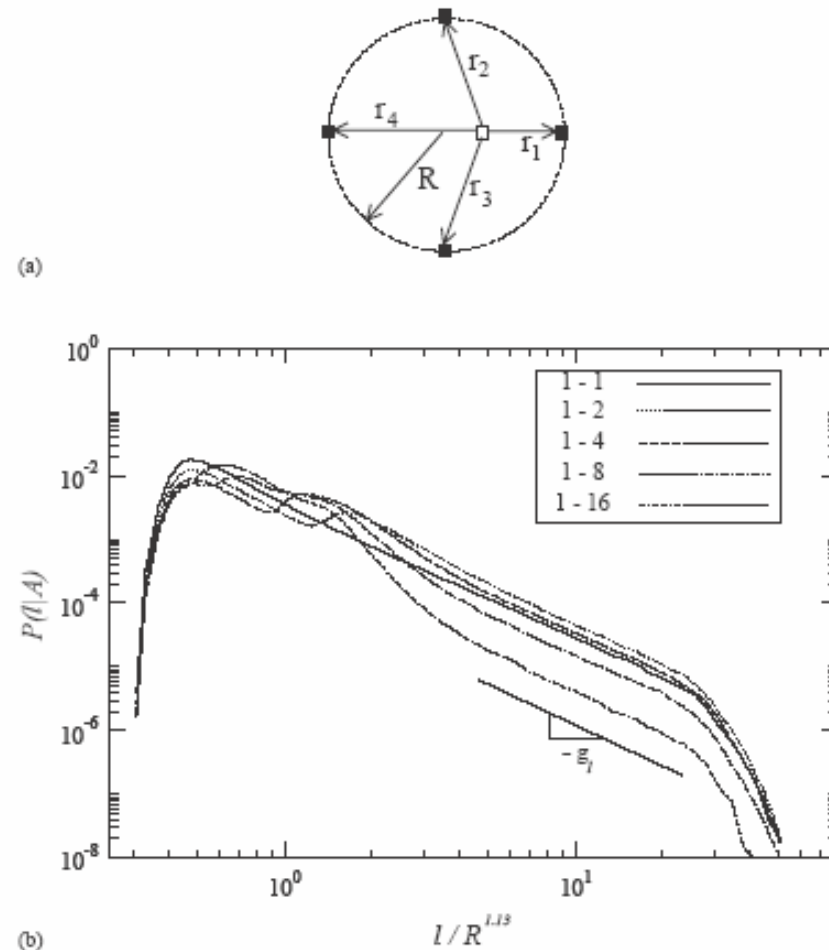


Fig. 3. The case of an injector placed inside and asymmetrically to an array of producers. (a) The layout of the array of wells: the injector (empty square) is internal to a circle of 4 producers (filled squares). The producers are over a circle (dashed line) of radius R . The Euclidean distances r_i , $1 \leq i \leq 4$ are indicated by arrows. (b) Log-log plot of shortest path distribution, $P(l|A)$, versus $l/R^{d_{ms}}$ at the percolation threshold. In the simulations $L = 500$, $R = 64$ and $R_1 = 32$. Five cases corresponding to 1, 2, 4, 8, and 16 production wells are indicated in the figure.

Um poço injetor fora do “círculo” de poços produtores

746

R.F. Soares et al / Physica A 343 (2004) 739–747

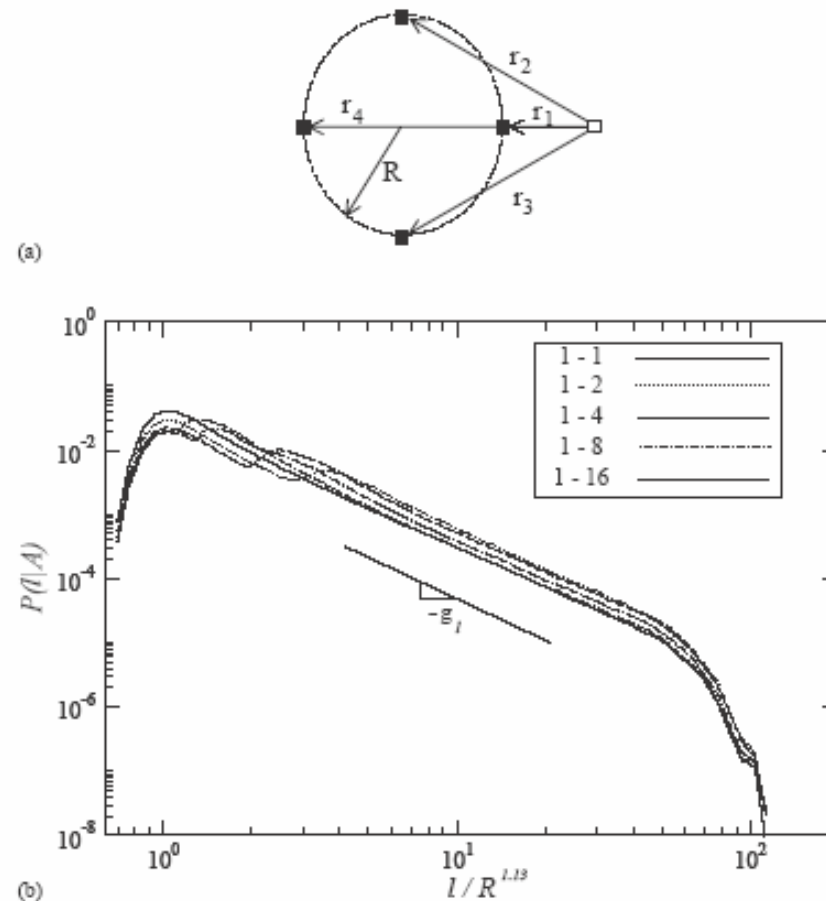
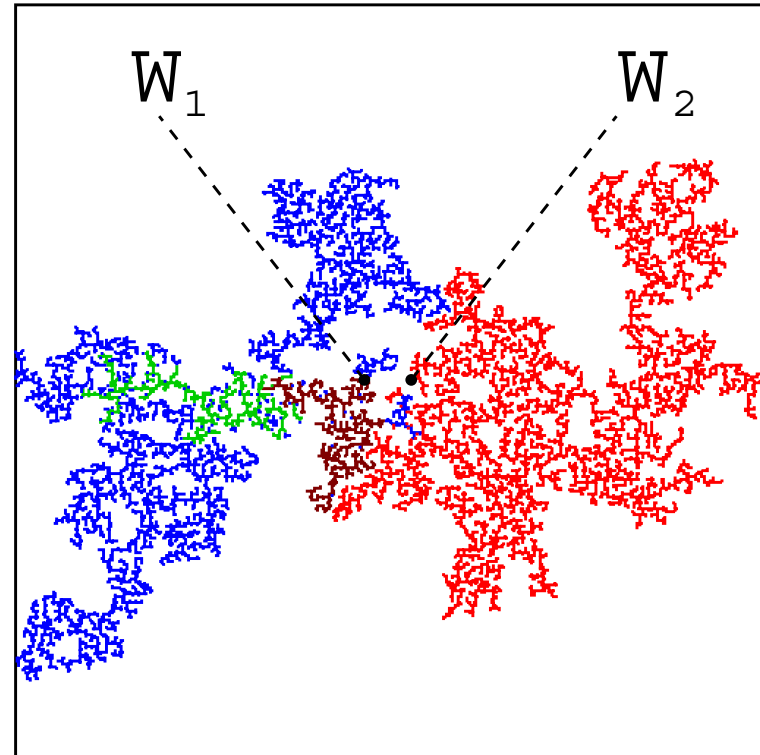


Fig. 4. The case of an injector outside an array of producers. (a) The layout of the array of wells: the injector (empty square) is external to a circle of 4 producers (filled squares). The producers are over a circle (dashed line) of radius R . The Euclidean distances r_i , $1 \leq i \leq 4$ are indicated by arrows. (b) Log-log plot of shortest path distribution, $P(l|A)$, versus $l/R^{1.13}$ at the percolation threshold. In the simulations $L=500$, $R=16$ and $R_1=16$. Five cases corresponding to 1, 2, 4, 8, and 16 production wells are indicated in the figure.

Percolação Invasiva entre dois poços

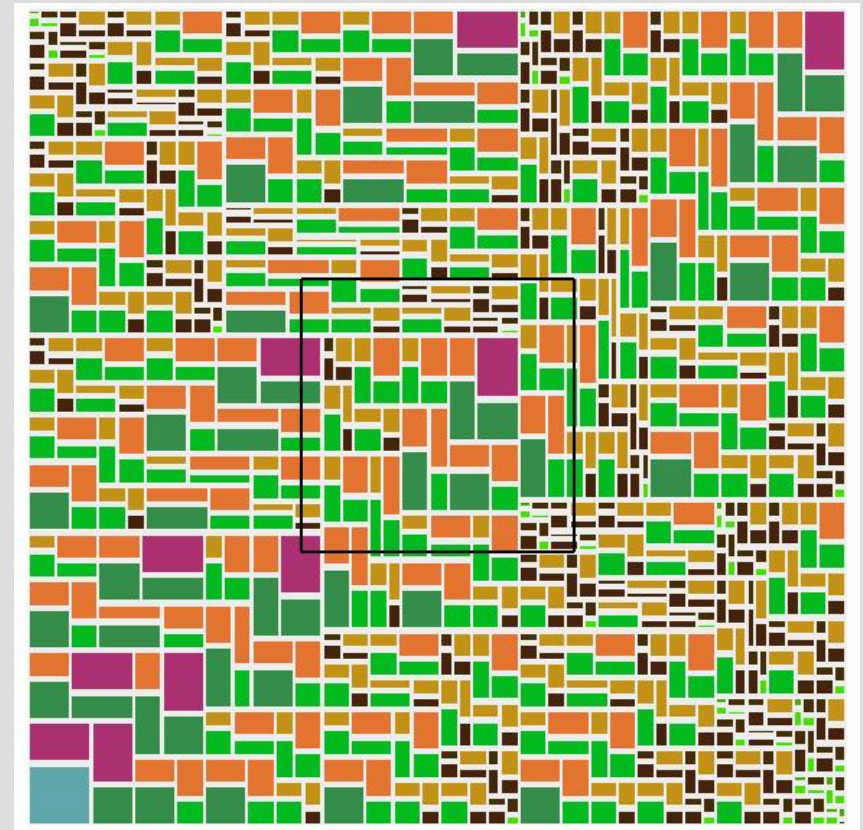
A.D.Araújo, T.F. Vasconcelos, A.A.Moreira,
L.S. Lucena, J.S. Andrade Jr, Phys. Rev. E 72,
041404 (2005)



Percolação num Multifractal

Percolação num Suporte Multifractal

- Duas versões:
 - uma determinística,
 - uma alatória
- Não é uma rede regular. Mas reservatórios reais também não obedecem a redes regulares !
- Poucos parâmetros
- Rede com Conectividade Variável
- Diferentes tamanhos de células
- Anisotropia Local
- Mais flexibilidade de representar reservatórios
- Resultados mais Realistas
- Mapeia num problema de percolação correlacionada



G.Corso, J.E.Freitas, L.S.Lucena and
R.F.Soares, P.R.E **69**, 066135 (2004)

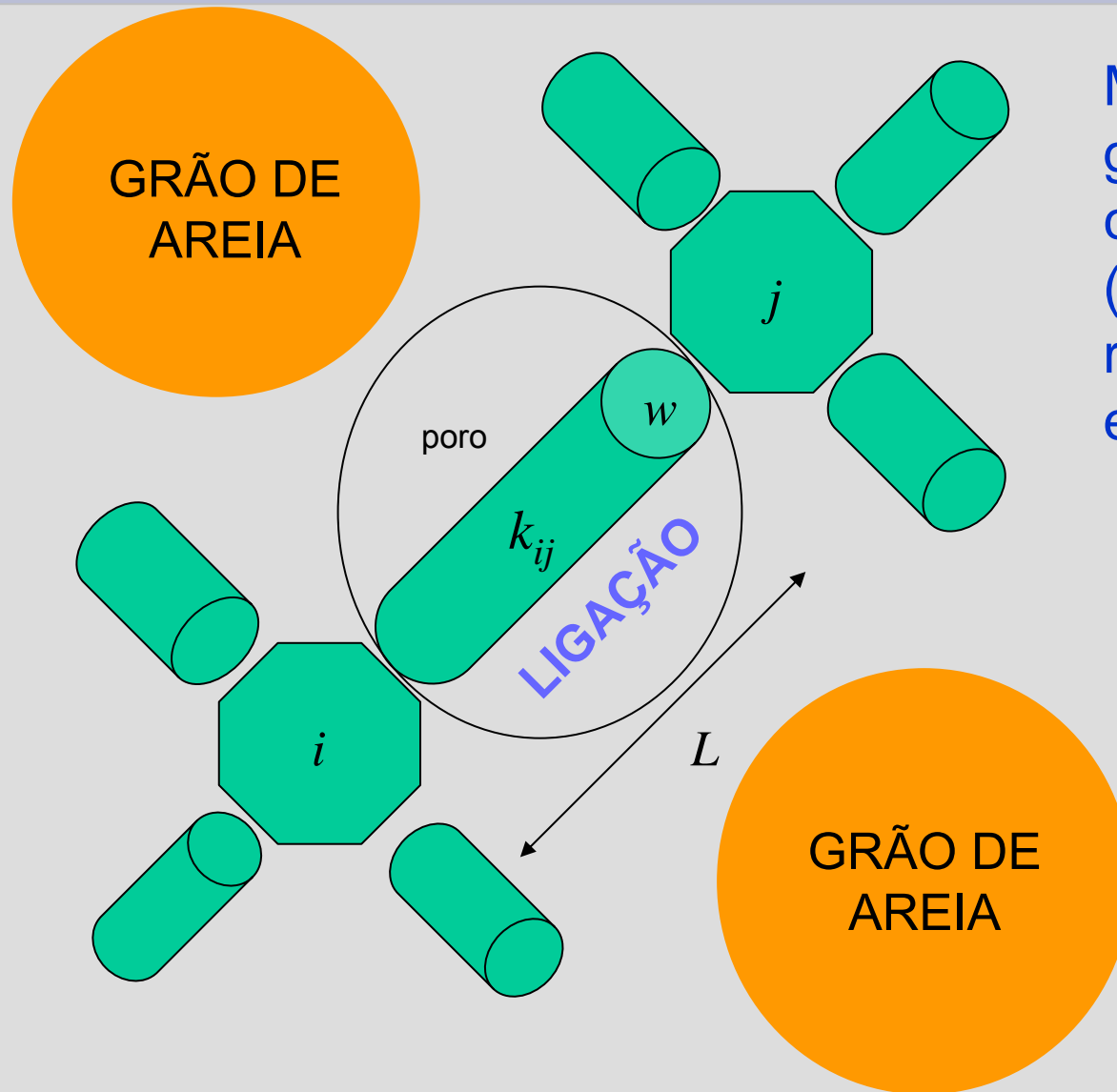
De onde surgem as correlações nos Reservatórios de Petróleo ?

Modelo de Formação dos Arenitos

(Hansen, Lucena & Da Silva)

- Usa a Geoestatística Fractal em lugar da Geoestatística baseada em conceitos puramente estatísticos
- O objetivo é demonstrar como as leis de escala para as propriedades dos arenitos podem ocorrer
- O modelo é uma generalização do Modelo de Bak-Sneppen que é um exemplo de Criticalidade Auto-Organizada

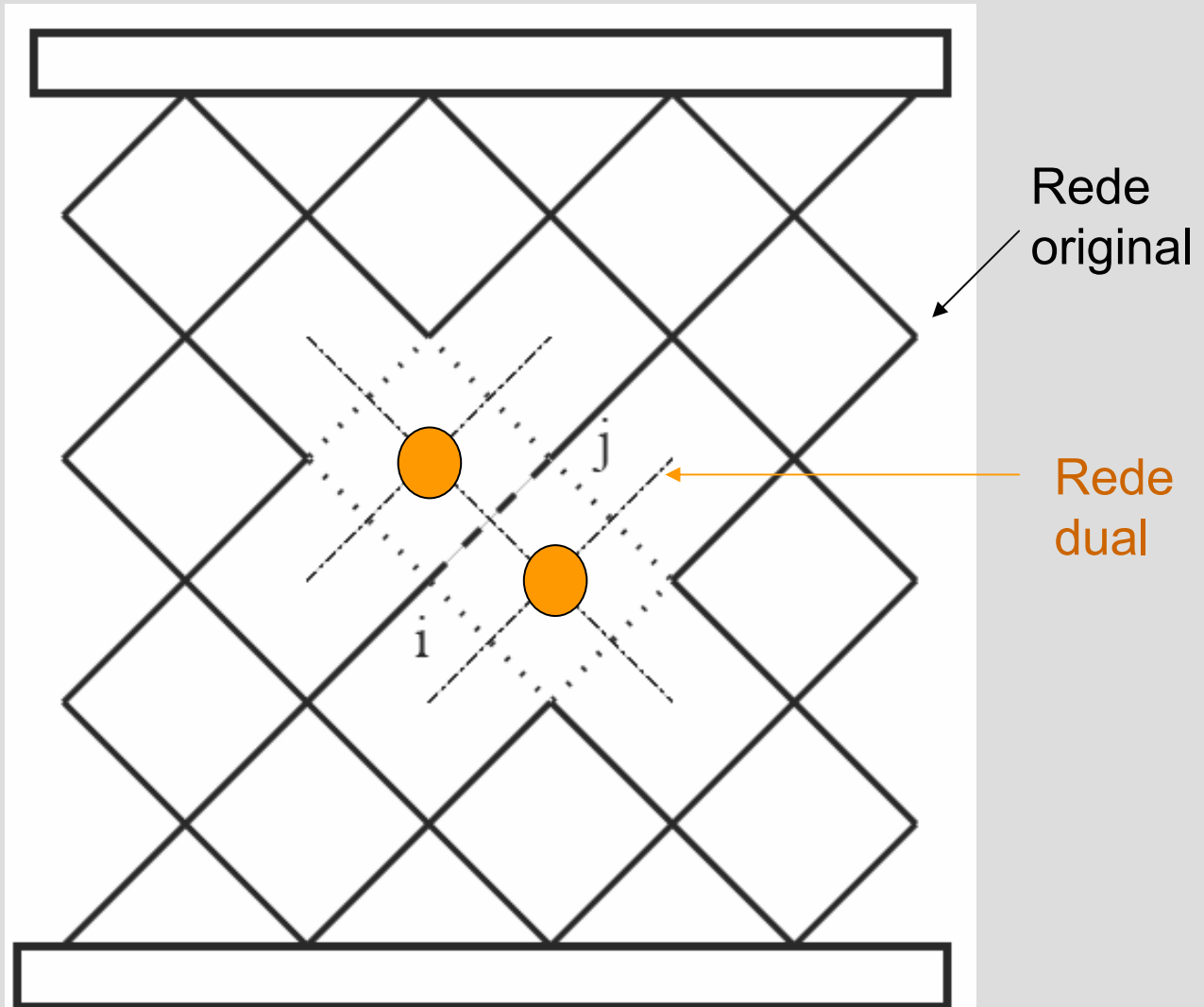
Modelo para a formação de estruturas areníticas a partir de areias não consolidadas



Malha bidimensional de grãos de areia não consolidados e poros (ligações) representando a estrutura arenítica

Rede usada na definição do modelo

Uma porção da rede dual está mostrada como linhas com traços e pontos. Os nós desta rede, ●, representam os grãos de areia. As ligações da rede original representam os espaços entre os grãos. A reestruturação afeta os dois grãos vizinhos ao espaço do poro que iniciou o processo, mostrado como uma ligação tracejada. Isto, por sua vez, afeta os espaços dos poros (ligações) que são denotados por ligações pontilhadas.



O Modelo

Cada ligação ij na rede é considerada como um tubo com uma permeabilidade k_{ij} , com uma seção w e comprimento L .

O fluido tem uma viscosidade μ . A diferença de pressão ao longo da ligação é Δp_{ij} . O fluxo através da ligação, q_{ij} , é dado pela **Lei de Darcy**:

$$q_{ij} = \frac{k_{ij} w}{\mu L} \Delta p_{ij}$$

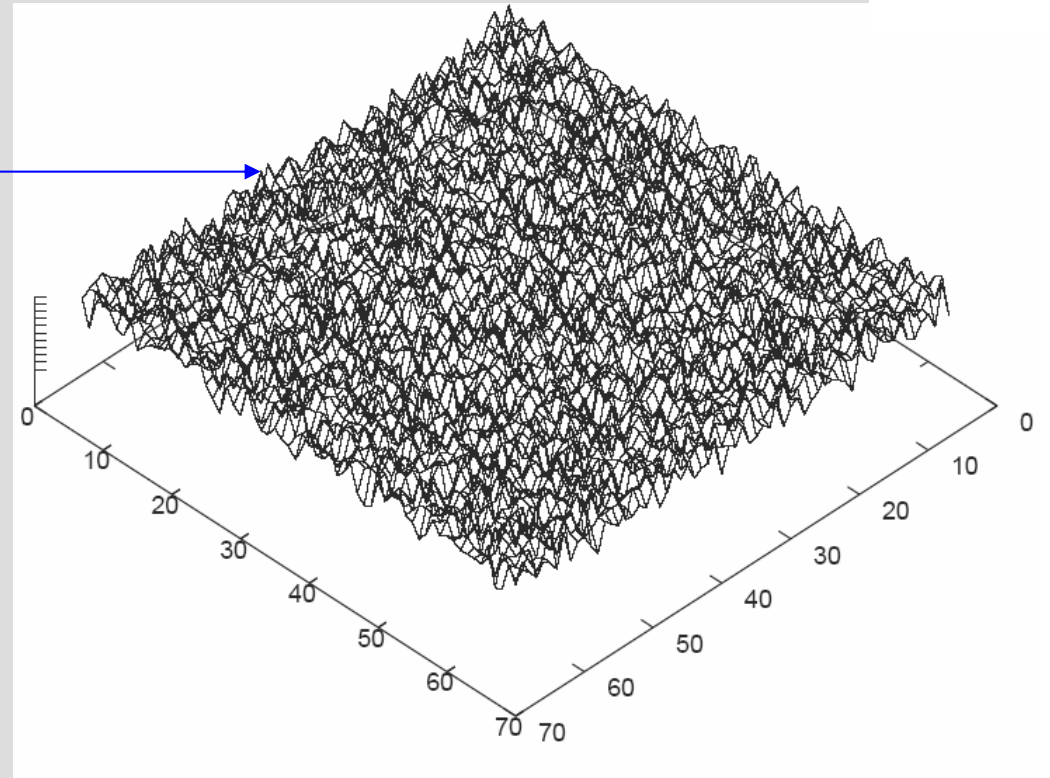
A desordem no modelo é refletida na distribuição de permeabilidades k_{ij} enquanto todos os outros parâmetros são constantes.

Se a diferença de pressão, ao longo de uma ligação, exceder um limiar t_{ij} , os dois grãos que formam o espaço do poro afetado são perturbados. Isto, por sua vez, afeta os seis espaços de poros que constituem os outros “lados” dos dois grãos.

A ligação com a maior diferença de pressão ao longo de sua extensão é aquela onde a próxima reestruturação irá ocorrer. A reestruturação em si consiste na substituição da permeabilidade da ligação sujeita à maior diferença de pressão e dos valores das permeabilidades dos vizinhos por novas permeabilidades não correlacionadas, obtidas da mesma distribuição de probabilidade que foi usada para gerar as permeabilidades iniciais.

Resultados

- Partimos de uma distribuição inicial uniforme para as permeabilidades locais.
- Na figura ao lado mostramos a distribuição espacial das permeabilidades locais numa rede de tamanho 64 x 64 depois de 1.100.000 atualizações
- Não percebemos uma correlação espacial nesta distribuição



Distribuição espacial das permeabilidades locais numa rede 64 x 64, depois de 1100000 atualizações

Resultados

...entretanto a distribuição de permeabilidades inversas mostra correlações tipo lei de potência consistentes com um ruído Browniano fracionário caracterizado por um expoente de Hurst de 0.88

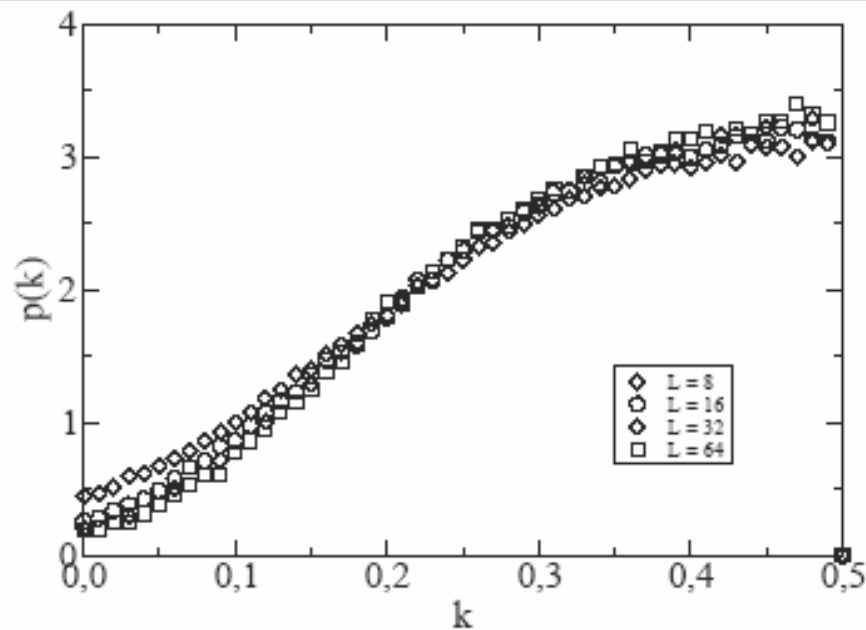


Figura 3: Distribuições de permeabilidades locais depois de 1100 000 atualizações.

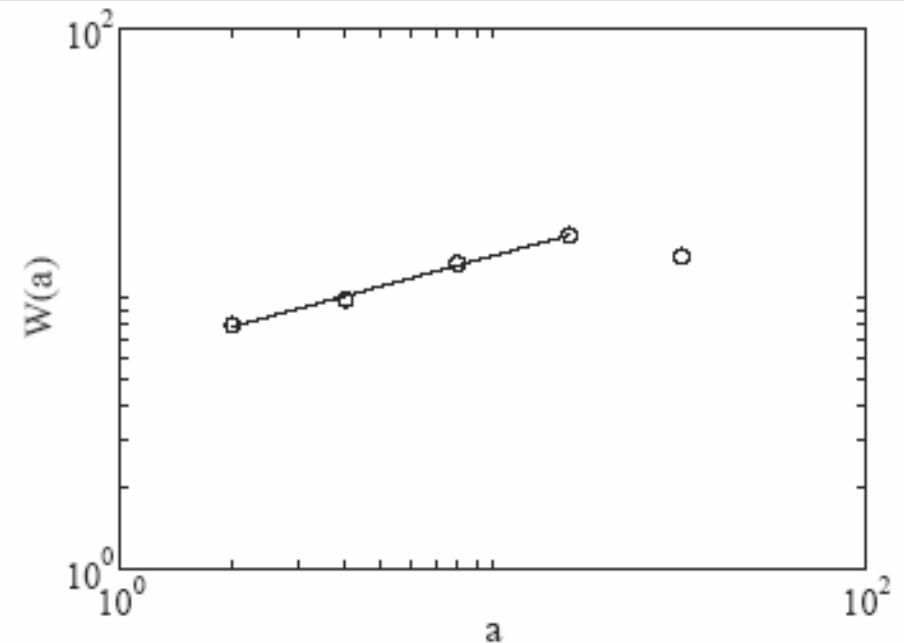


Figura 4: Análise AWC da distribuição espacial de permeabilidade inversa baseada em 64 amostras de 64×64 redes. O coeficiente angular da reta é 0,38, correspondendo a uma distribuição espacial que é um ruído Browniano fracionário caracterizado por um expoente de Hurst $H = 0,88$.

“Tachion”: Um Simulador para Estimativa Rápida de Risco na Recuperação Secundária de Petróleo

Características:

- Foco no efeito da conectividade sobre o fluxo.
- Resultados com natureza estatística.
- Geoestatística incorporada ao processo de simulação.
- Interatividade.
- Banco de dados.
- Manipulação numérica dos resultados.
- Visualização tridimensional estereoscópica.

Fundamentos Físicos:

- Lei de Darcy aplicada a um campo efetivo de pressões.
- Fluxo modelado como um processo de crescimento em um meio desordenado.

Modelagem no “Tachion”

Aplicação:

- Suporte à análise de riscos relacionados a diferentes estratégias para recuperação secundária de petróleo.

Dados básicos:

- Pressões de fluxo nos poços injetores e produtores.
- Permeabilidades do reservatório medidas nos poços.
- Dados para um modelo geoestatístico, por exemplo, percolação por ligações.
- Profundidade do reservatório nos poços.
- Pontos conhecidos ou estimados pertencentes ao reservatório.

Resultados:

- Estimativa das profundidades do reservatório.
- Estimativa das permeabilidades do reservatório.
- Estimativa das distribuições dos tempos de breakthrough.



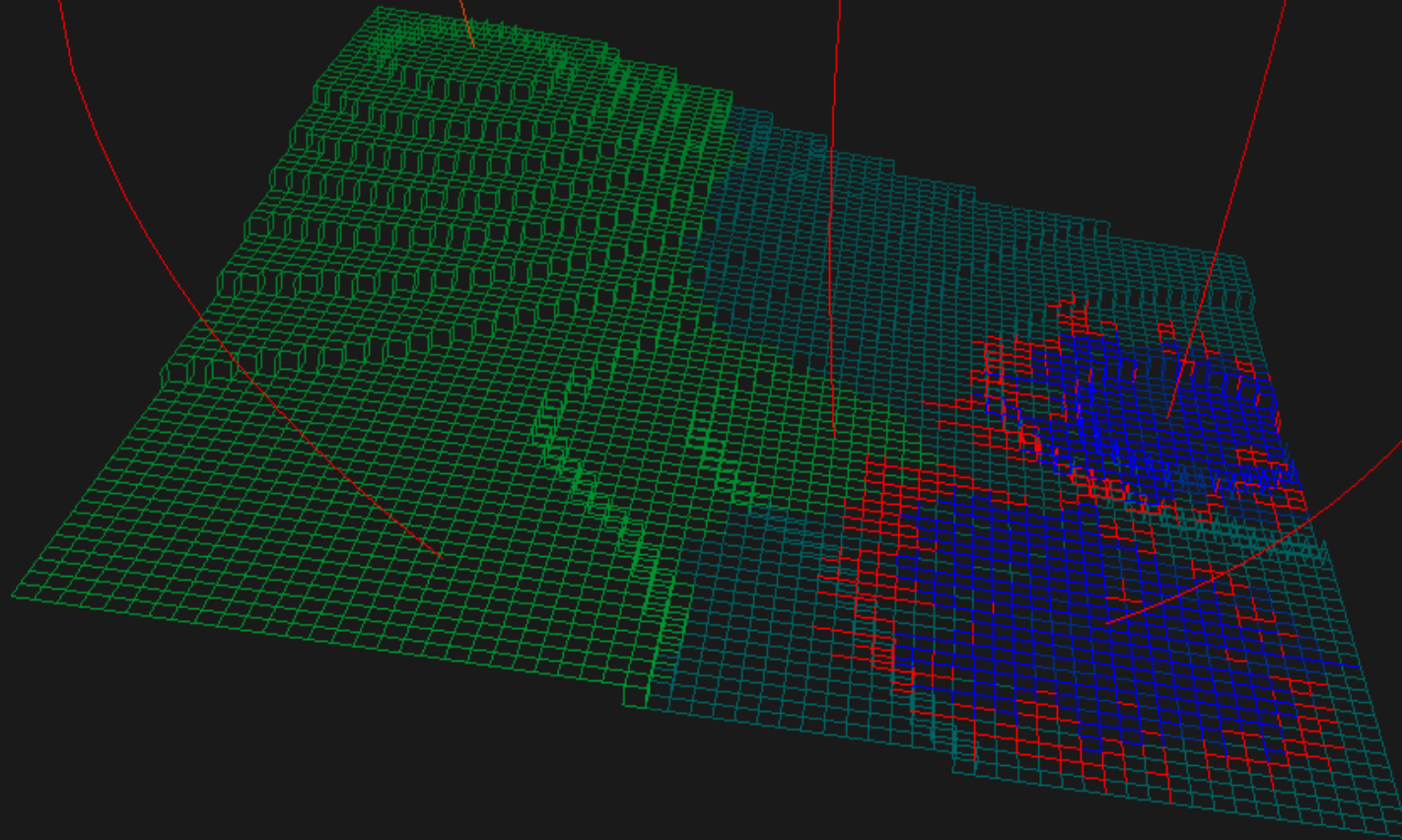
WELL 1, depth: 2074.97 (Prod.)

WELL 3, depth: 3112.43 (Injec.)

WELL 2, depth: 2934.45 (Prod.)

WELL 4, depth: 2744.91 (Prod.)

WELL 5, depth: 2934.45 (Injec.)



Workshop on Complexity in Oil Industry



Complexity in the Oil Industry

Applications to subsurface modelling

COI 2007 First call for papers

NATAL, BRAZIL 5th-9th August 2007

Introduction:

An international meeting to promote collaboration between physical scientists and oil industry engineers working on the modelling of geological reservoirs as complex systems. The subsurface can be studied with theories and techniques developed in complexity science: the presence of multiple length-scales, the need to preserve heterogeneity while compressing information and the high degree of uncertainty at all stages of modelling and decision making. Results from statistical physics are routinely applied in modelling geological systems, which often present scaling phenomena such as fractal geometry and complex dynamics.

Invited speakers:

Brian Berkowitz, Weizmann Institute, Israel
Alex Hansen, NTNU, Norway
Felix Herrmann, UBC, Canada
Lincoln Paterson, CSIRO, Australia
Mohammad Sahimi, USC, USA
Carlos Tadeu da Costa Fraga, CENPES (Petrobras Research Center)

Suggested topics:

- Percolation theory and fast methods for reservoir performance estimation
- Fractal/multifractal and anomalous transport
- Applications of wavelets to geological modelling and seismic interpretation
- Uncertainty and estimation of risk
- Inverse problems
- Geological process modelling

Call for papers and deadlines:

You are invited to submit a 1 page abstract to abstracts@coi2007.com

Deadline for abstract submission 23rd February 2007

Accepted papers will be notified by 30th March 2007. Authors of papers not accepted for oral presentation will be offered the opportunity to present a Poster.

Deadline for early registration 1st June 2007

For further information and to register interest in attending contact vera.pancaldi@imperial.ac.uk or info@coi2007.com

International organising committee:

Liacir Lucena, UFRN, Brazil; Peter King, Vera Pancaldi, Imperial College London, UK

Venue: Hotel Rifoies <http://www.rifoies.com.br/>

Conference website

<http://www.coi2007.com/>

COI 2007 – Complexity in the Oil Industry



Natal, Brazil 5th – 8th August 2007