

PROCESSAMENTO DO SINAL SÍSMICO WAVELET NA PROSPECÇÃO DE HIDROCARBONETOS: UMA ABORDAGEM DE SUA APLICABILIDADE

João Paulo Pereira do Nascimento¹

Fernanda Souza Silva²

RESUMO

A prospecção em jazidas de hidrocarboneto conta com um processo fundamental durante seu desenvolvimento que é a transferência de escala. O conjunto de ações para integrar dados obtidos de poços com dados sísmicos formam um enorme desafio para a indústria do petróleo. Neste artigo, mostra-se uma aplicação da Transformada Wavelet no tratamento em dados de perfis geofísicos de poço, os mais relevantes que são perfil de densidade e perfil sônico, procurando transmitir informações geológicas da jazida para escalas compatíveis com a aquisição sísmica. As informações obtidas foram retiradas de processos realizados em sete poços do Campo do Namorado (Bacia de Campos, RJ) feito por Silva, Protázio e Remacre em 2003, onde mostrou frequência de corte derivada de análise espectral e controle de filtragem. O resultado mostra a grande capacidade da Transformada Wavelet, proporcionando desta forma, enorme base para um conjunto de ações, sendo utilizadas na transferência de escala.

Palavras-chave: Transformada Wavelet. Transferência de escala.

ABSTRACT

The hydrocarbon deposits in prospecting has a fundamental process during development, which is the transfer of scale. The set of actions to integrate data obtained from wells with seismic data, form a huge challenge for the oil industry. In this article, there is shown an implementation of the Wavelet Transform for the treatment of geophysical data pit profiles, which are the most relevant density profile and sonic profile, looking forward geological information for the reservoir scales compatible with the seismic acquisition. The information gathered was taken from processes carried out in seven wells of Campo do Namorado (Bacia de Campos, RJ) made by Silva,

¹ Graduando em Engenharia de Petróleo e Gás na Faculdade Multivix Cachoeiro de Itapemirim.

² Doutoranda em Engenharia e Ciências dos Materiais – UENF. Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais - UENF. Graduada em Engenharia de Petróleo e Gás - UNES. Professora da Faculdade Multivix Cachoeiro de Itapemirim.

Protázio and Remacre in 2003, which showed cutoff frequency derived from spectral analysis and control filter. The result shows the great capacity of the Wavelet Transform, thus providing, great base for a set of actions, being used to transfer scale.

Keywords: Wavelet Transform. Transfer scale.

1 INTRODUÇÃO

Os sinais de perfis sônicos e de densidade passam por uma conversão em sua escala do domínio de espaço para o domínio de tempo, sendo filtrados e enrolados um pulso sísmico em um traço sísmico artificial. Neste caso, usamos o sinal sísmico com espectro mais simples e com menor resolução em sua vertical, mas com cobertura espacial adequada para o reconhecimento e mapeamento tridimensional dos dados geológicos.

Este trabalho apresenta um foco alternativo, decompondo e analisando o sinal de perfis de poço, utilizando a Transformada de Wavelet, filtrando a informação geológica às escalas compatíveis com a aquisição sísmica. Neste procedimento, preservamos a escala natural da formação, permitindo o controle de forma eficaz das rotinas de filtragem com base no conhecimento da geologia do reservatório, na maioria das vezes utilizando interpretações de perfis.

A transformada Wavelet é uma transformação integral onde os núcleos de integração são denominados de Wavelets. No estudo de processos ou sinais, estas Wavelets são essencialmente usadas de duas maneiras: como um núcleo de integração para analisar a extração de informações a respeito de um processo, e como base de representação ou caracterização do mesmo. Em toda análise ou representação é evidente que a escolha da função ou núcleo, determina o tipo de informação que podemos extrair de um processo.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO DO CAMPO DE NAMORADO, BACIA DE CAMPOS, RJ E O MÉTODO SÍSMICO DE REFLEXÃO

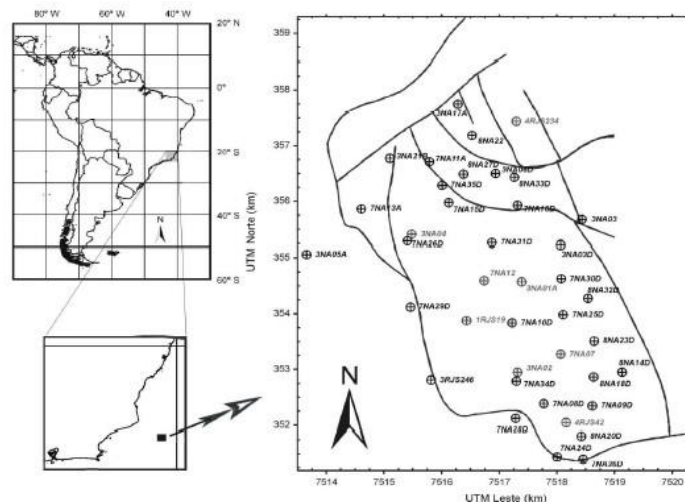
Localizado na área da plataforma continental e pertencente à Bacia de Campos, o Reservatório Namorado é um dos campos petrolíferos mais importantes (VALE, 2009).

Segundo Souza Jr. (1997), em 1975, foi perfurado o poço pioneiro do reservatório, em uma lâmina d'água de 166 metros, sendo realizadas perfurações desde 110 metros até 250 metros para seu desenvolvimento. Esta unidade siliciclásticas é denominada informalmente como "Arenito Namorado", tendo uma particularidade em desenvolver corpos arcossianos densos, com grande extensão de cimentação carbonática, com presença de boa porosidade efetiva. O volume de sedimentos apresenta elevadas velocidades sísmicas, por causa da cimentação e também pela interpolação com corpos de marga e calcilutitos.

Segundo Souza Jr. (1997), ocupando a parte superior da Formação Macaé, o Arenito Namorado tem idade entre o Albiano Superior e o Cenomaniano inferior, sendo composto por falhas, conglomerados e arenitos, interpolados e densos volumes de margas e camadas finas de argilitos e calcilutitos.

Somente com longas análises dos dados geofísicos e geológicos da área estudada, torna-se possível a descoberta de novas jazidas de petróleo e também após estimativas do comportamento geológico da subsuperfície, avaliam-se uma perfuração de poços (figura 1). O método sísmico de reflexão é o método de prospecção mais utilizado na indústria de Petróleo atualmente, pois fornece alta definição das feições geológicas em subsuperfícies propícias a acumulação de hidrocarbonetos, a um custo relativamente baixo (THOMAS, 2001).

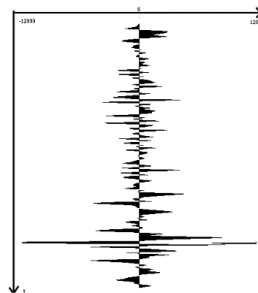
Figura 1 - Localização dos poços utilizados no Campo de Namorado. As linhas sólidas indicam os principais traços de falhas que limitam o campo.



Fonte: PROTÁZIO, 2001 apud VALE, 2009, p.11.

Esta técnica gera perturbações elásticas na terra, formando então ondas mecânicas, analisando-as após reflexão em interfaces de materiais diferentes na subsuperfície. Existem várias formas de fontes de energia sísmica, porém o dinamite é a forma mais eficiente. Os equipamentos usados são os sismômetros, esses convertem partículas de velocidades, quando utilizado em terra ou variações de pressão quando a exploração é feita no mar, em tensão elétrica. Em grandes áreas de territórios, os sismômetros são dispostos em grupos de mais 100, espaçados por distâncias definidas, formando grupos ou tabelas, sendo unidos por um cabo principal, podendo chegar a cerca de cinco quilômetros. Sendo assim, gravando dados sísmicos de muitos grupos, denominados traços. As ondas sísmicas fornecem uma amplitude de alguns poucos hertz até poucas centenas de hertz (THOMAS, 2001). A Figura 2 retrata o exemplo de um traço sísmico.

Figura 2 - Exemplo de um traço sísmico



Fonte: SANTOS, 2014

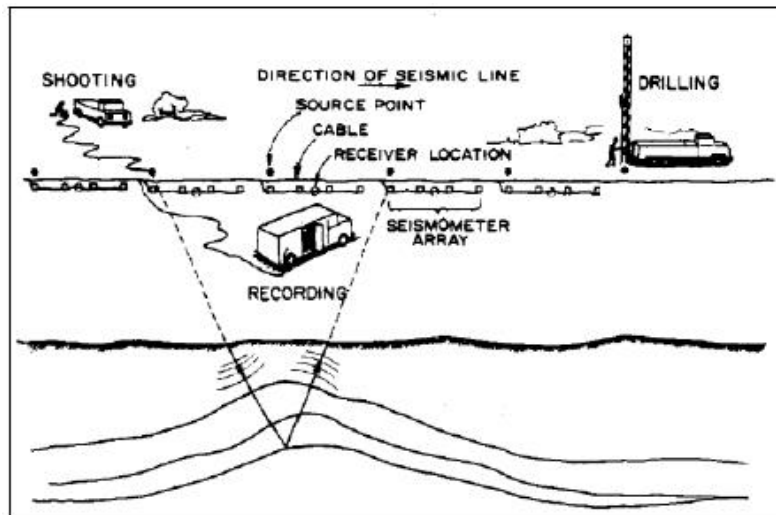
A figura 2 demonstra como é o procedimento em campo para coletar as informações da subsuperfície, sendo o mais utilizado na prospecção de hidrocarbonetos, pois fornecem detalhadamente a estrutura da crosta e as propriedades físicas de suas camadas existentes (VALE, 2009).

Após adquirir e processar os dados sísmicos, o próximo passo é a interpretação por meio desses conjuntos de dados, identificando situações favoráveis à acumulação de hidrocarbonetos, através de determinadas estruturas geológicas, assim como horizonte sísmico, falhas sísmicas, entre outros (VALE, 2009).

3 ANÁLISE NO TEMPO E NA FREQUÊNCIA

A teoria de Wavelet foi desenvolvida originalmente através de método de aquisição, transformação e armazenagem de um traço sísmico e que satisfizesse cada uma das diferentes bandas de frequência, sendo separadas em seu domínio, tomando cuidados de não haver perdas excessivas de resolução no variável tempo (considerando à limitação imposta pelo princípio da incerteza de Heisenberg). A reconstrução da sua função original por meio de sua Transformada deverá ser obtida através de um método de alta precisão e ao mesmo tempo robusto, para seja estável até às pequenas perturbações (VALE, 2009).

Figura 3 – Procedimento de campo para aquisição de dados.



Fonte: VALE, 2009

4 TRANSFORMADA DE FOURIER

A transformada Fourier, divide o sinal em suas componentes (senos e cossenos) com frequências diferentes, sendo assim uma técnica matemática, que transforma o sinal observado no domínio do tempo ou espaço, sem perda de informações, para o domínio da frequência (VALE, 2009).

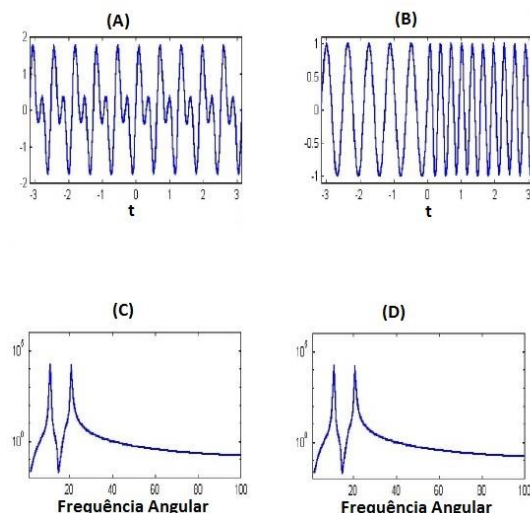
A transformada de Fourier ao converter o sinal do domínio do tempo para o da frequência, acaba perdendo totalmente informação a respeito da localização temporal ou espacial. Ou seja, ao observarmos um sinal pela Transformada de Fourier, não é possível identificar a

localização de um evento em particular, pois só obtemos as frequências compostas pelo sinal ao longo do intervalo de tempo considerado. Por isso apresenta uma especificidade indesejável. Mas se um sinal não se altera no tempo e nem no espaço (estacionária), essa especificidade não importa. No entanto, grande parte dos sinais possuem numerosas características não estacionárias ou transitórias, ou seja, quedas, mudanças repentinas, entre outras. São características geralmente mais importantes em um sinal, sendo incapazes de serem detectadas pela Transformada de Fourier (VALE, 2009). A Transformada de Fourier geralmente refere-se a funções contínuas $f(t)$, sendo definida em (OPPENHEIM; WILLSKY; YOUNG, 2002), como:

$$F(u) = \int f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

Informando somente sobre o conteúdo da frequência do sinal, sem informar sobre a localização da frequência no domínio do tempo. Observando a figura 04, o espectro é incapaz de fazer distinção entre os dois sinais, então devemos utilizar uma Transformada capaz de atingir o conteúdo de frequência do sinal, localizando-o no tempo ou no espaço, para isso existem dois métodos essencialmente desenvolvidos que apresentam essas propriedades. Sendo elas a Transformada de Fourier de Curta Duração (*Windowed Fourier Transform, WFT*) e a Transformada de Wavelet (VALE, 2009).

Figura 4 - Análise espectral através da Transformada de Fourier. O primeiro sinal (A) consiste da superposição de duas frequências (sen. $10t$ e sen. $20t$), e o segundo consiste das mesmas frequências aplicadas a cada uma das metades da duração do sinal (B).



Fonte: Protázio, 2001

5 TRASFORMADA WAVELET

Segundo Oliveira (2007a), a Transformada Wavelet é uma técnica que utiliza um janelamento com regiões multidimensionais, permitindo a utilização de intervalos longos visando uma máxima precisão nas frequências mais baixas e regiões de tamanho menor para obtenção de informações sobre as altas frequências.

Segundo Vale (2009), “a Transformada Wavelet de uma função $f(t)$ de energia finita é uma Transformada integral com o núcleo pertencente à família das funções:”

$$\Psi_{\lambda,t}(u) \equiv \lambda^{-0.5}\Psi[(u-t)\lambda^{-1}] \quad (2)$$

Sendo sua definição (VALE, 2009):

$$Wf(\lambda, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(u) \Psi_{\lambda,t}(u) du \quad (3)$$

Sendo o símbolo λ um parâmetro de escala, t o parâmetro de localização e $\Psi_{\lambda,t}(u)$ são as funções wavelets. Ao modificar o valor em λ , adquirimos o efeito de dilatação ($\lambda > 1$) ou um efeito de contração ($\lambda < 1$) na função $\Psi(t)$, ao passo que mudamos o parâmetro t podemos observar a função $f(t)$ em torno deste ponto. Escolhemos a constante de normalização $1/\lambda$ para que a igualdade (VALE, 2009):

$$\|\Psi_{\lambda,t}\|^2 \equiv \int |\Psi_{\lambda,t}(u)|^2 du = \int |\Psi(t)|^2 dt \quad , \quad (4)$$

possa ser válida em todas as escalas λ .

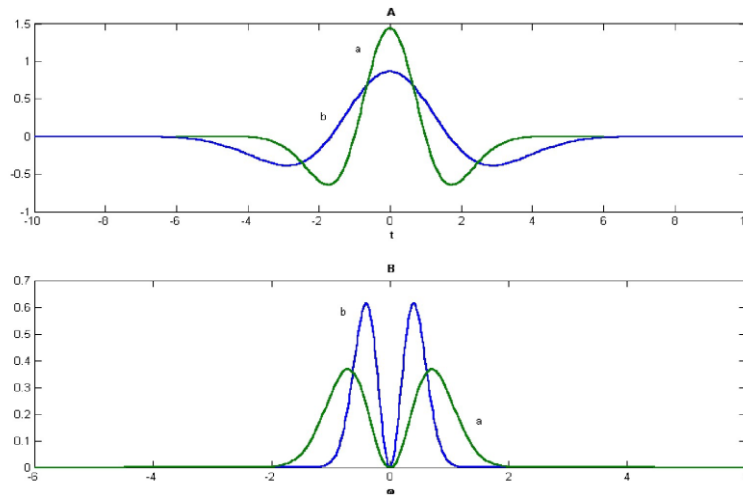
Ao observarmos a seguinte identidade:

$$\Psi(t) \equiv \Psi_{1,0}(t) \quad , \quad (5)$$

obtemos a função $\Psi(t)$ deve corresponder a normalização

$$\int |\Psi(t)|^2 dt = 1 \quad (6)$$

Figura 5 - Ilustração esquemática do efeito da dilatação de um Wavelet $\Psi(t)$ e a mudança $|\Psi(\omega)|$ correspondente de sua Transformada de Fourier. Quando a Wavelet dilata, sua Transformada de Fourier contrai e vice-versa.



Fonte: Protázio, 2001

6 TRANSFORMADA WAVELET E A ANÁLISE NO TEMPO E ESCALA

Segundo Vale (2009), nesta transformada a Wavelet se amplia e transporta somente dados sobre o comportamento dos períodos grandes, isso quando aumenta o parâmetro de escala λ . Através de uma modificação da variável, obtemos:

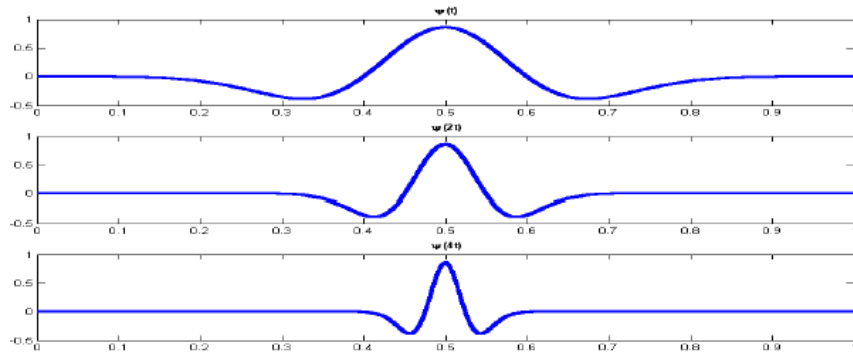
$$w f(\lambda, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \sqrt{\lambda} f(\lambda u) \Psi \left(u - \frac{t}{\lambda} \right) du \quad (7)$$

A estruturação

$$f(t) \rightarrow f(\lambda t) \quad (8)$$

Tem o propósito de encurtar $f(t)$ quando $\lambda > 1$ e de dilatar quando $\lambda < 1$, isto é, como vimos anteriormente na equação (2.12) quando aumenta a escala, uma versão encurtada da função é observada por meio de um filtro de tamanho fixo (VALE, 2009).

Figura 6 - Na parte superior tem-se a Wavelet distendida, no meio tem-se a Wavelet no tamanho original e na parte inferior tem-se a Wavelet comprimida.



Fonte: PROTÁZIO, 2001

7 RELAÇÃO ENTRE FREQUÊNCIA E ESCALA E FUNÇÕES WAVELETS

Pode-se relacionar a escala Wavelet com frequência pela relação seguinte (ABRY,1997):

$$F_a = \frac{\Delta F_c}{a} , \quad (9)$$

onde a é a escala, Δ é o período da amostragem, F_c é a frequência central em Hz da wavelet e F_a é a pseudo-frequência que corresponde a escala a em HZ. Para escolher uma função wavelet, uma sucessão de fundamentos são considerados, bem como se a função $f(t)$ é ou não ortogonal, complexa ou real, além de outras (VALE, 2009).

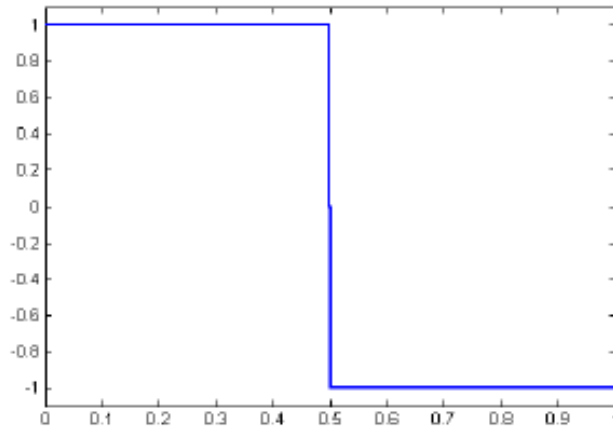
Segue abaixo exemplos de Wavelets unidimensionais mais utilizadas na literatura.

- **Wavelet de Haar:** Segundo Fourfoula-Georgiou, e Kumar (1994), este pertence à família das wavelets ortogonais, sendo a mais simples de todas e com suporte compacto.

$$\begin{aligned} \Psi(t) &= +1 \text{ se } 0 \leq t < 0.5 , \\ \Psi(t) &= -1 \text{ se } 0.5 \leq t < 1 , \\ \Psi(t) &= 0 \text{ caso contrário.} \end{aligned} \quad (10)$$

Quando temos um sinal amostrado, esta wavelet fornece a diferença das médias que não esteja sobreposta da observação.

Figura 07 - Wavelet de Haar.



Fonte: Protázio, 2001

- **Wavelet Chapéu Mexicano:** Esta é a derivada segunda da função gaussiana, sendo representada assim (VALE, 2009):

$$f(t) = e^{-\frac{1}{2t^2}} \quad (11)$$

Pertence à família de Wavelets não ortogonais, sendo definida como (FOURFOULA-GEORGIU, E.; KUMAR, 1994):

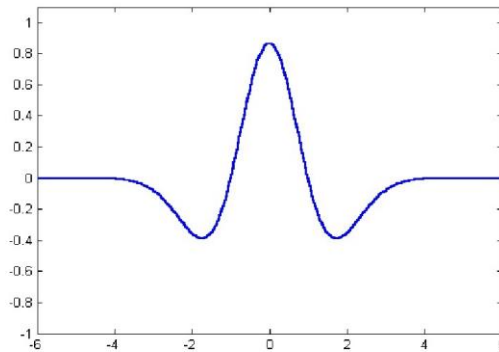
$$\psi(t) = \frac{2}{\sqrt{3}} \pi^{-0,25} (1 - t^2) e^{-0,5t^2} ; \quad (12)$$

Para escolher a constante, temos que satisfazer a seguinte condição (VALE, 2009):

$$\|\psi\|^2 = 1 \quad (13)$$

Sendo esta Wavelet muito aplicada para reconhecimento de bordas (VALE, 2009).

Figura 08 - Visualização da Wavelet chapéu Mexicano (Mexican Hat).



Fonte: PROTÁZIO, 2001

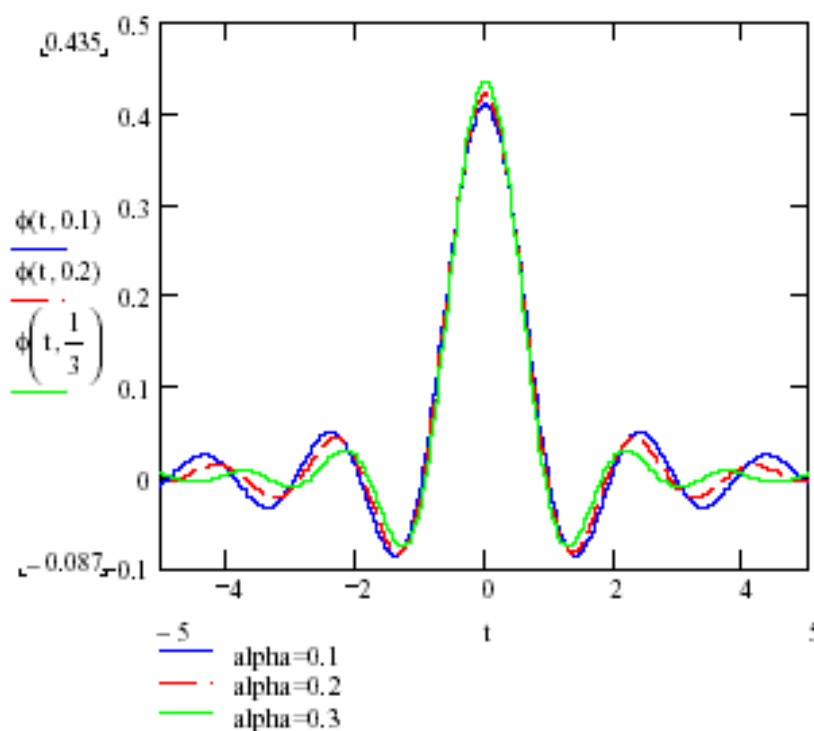
Wavelet de “de Oliveira”: Segundo Oliveira (2007b), esta wavelet pertence à “nova família de ortogonais complexas, sendo baseadas no critério clássico de Nyquist na Interferência Intersimbólica em Sistema de comunicação Digital. ”

$$\phi(w) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cos \frac{1}{4\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} (|w| - (1 - \alpha)\pi) & 0 \leq |w| < (1 - \alpha)\pi \\ & (1 - \alpha)\pi \leq |w| < (1 + \alpha)\pi \\ & |w| > (1 + \alpha)\pi \end{cases} \quad (14)$$

Assim pode-se observar que o espectro dessa Wavelet é do tipo passa-faixa plano, mostrando regiões assimétricas, mas continuando com a teoria básica da análise a Q-constante, vemos então (VALE, 2009):

$$\phi^{(de0)}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot (1 - \alpha) \cdot Sa[(1 - \alpha)\pi t] + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{4\alpha}{\pi} \cdot \frac{1}{1 - (4\alpha t)^2} \{ \cos \pi (1 + \alpha)t + 4\alpha t \cdot \sin \pi (1 - \alpha)t \} \quad (15)$$

Figura 9 - Função escala de “de Oliveira” (esboço para $\alpha=0,1$; $0,2$; e $0,3$).



Fonte: OLIVEIRA apud VALE, 2009, p.27

8 METODOS UTILIZADOS

Foi escolhido um conjunto de Wavelets ortogonais para decompor o sinal em multi-resolução com características de simetria e suavidade própria ao sinal de perfil (VALE, 2009).

Segundo Protásio (2001), a escolha de uma Wavelet assimétrica ocorreu devido a sua representação estar diretamente relacionada com a escolha da função-mãe, com um grande número de períodos suaves, afim de preservar alguns dados importantes do acúmulo turbidítico:

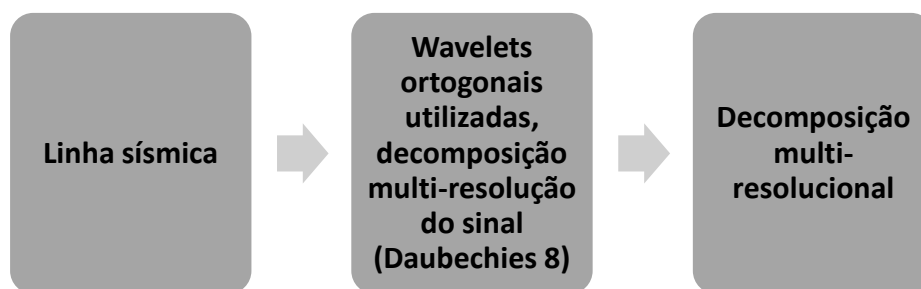
- Períodos marcantes em granodecrescência ascendente;
- Pulsos acumulativos conservativos (sem erosão basal importante) e moderadamente auto similares;
- Superposições de várias frequências de laminação, com grau de ciclicidade;

- E pseudo-frequências adaptável com a densidade média decamétrica dos produtos singulares estudados.

Segundo Silva e Remacre (2001), podemos usar uma frequência de corte, obtida por avaliação espectral para o mesmo conjunto de perfis, correspondendo ao comprimento de 15 metros de onda sísmica. Este janelamento de qualidade apurada é adaptada com as frequências sísmicas usadas, correspondendo uma qualidade apurada verticalmente de 25 a 50 metros para as maiores velocidades da formação. O nível de decomposição adotado foi de 5, decorrendo numa pseudo-frequências de 0.1048 Hz para a Wavelet db8. Originalmente o perfil está amostrado a cada 20 metros, o comprimento de onda equivale cerca de 10 metros, pois a maior parte dos eventos foi retirada do sinal com comprimento abaixo de 10 metros, com isso preservando uma grande parte da escala inerente da formação.

Para a administração do processo de tratamento do sinal, calcula-se o variograma em cada etapa da decomposição multi-resolução e para cada sinal resultante de aproximações e detalhamentos, avaliando as estruturas do sinal. De modo adicional, a média e variância foram calculadas. O método de estudo foi aplicado à maioria dos poços empregados no projeto de Silva, Protázio e Remacre (2003), utilizando de forma alternativa a realização deste procedimento a partir da Transformada de Fourier.

Figura 10 - Fluxograma da metodologia.



Fonte: VALE, 2009, p.36

9 RESULTADOS E ANÁLISE OBTIDOS

Sete poços verticais foram utilizados, são eles: NA01; NA02; NA04; NA07; NA12; RJS42 e RJS234. Efetuando variação da escala efetuada para densidade total (ρ_B) e tempo de

trânsito (dT), que são de extrema importância na elaboração de sismogramas artificiais e na analogia sísmica/perfil de poço. Os sinais de perfis foram tratados e avaliados de forma comparativa com os sinais originais, considerando as principais propriedades das rochas reservatórios conforme sua posição no pacote turbidítico outros parâmetros estatísticos o elevado grau de aleatoriedade do sinal não se confirma (VALE, 2009).

Através dos resultados analisados de Silva, Protázio e Remacre (2003), a condição limite imposta pelo tratamento do sinal, foi moderado pela geração e avaliação dos variograma do sinal resultante para distâncias menores ou iguais a 15 metros mostra que vários eventos do sinal correspondentes foram retirados por filtragem. Nenhuma variação foi observada no valor do parâmetro médio anteriormente e posteriormente à aplicação dos filtros, indicando um grande componente estacionária do sinal original.

Em uma simples observação, temos os perfis de poço apresentando claras indicações de perda, que se atribui à ciclicidade do processo deposicional: a sequência de eventos turbidíticos com assinatura iguais para conjuntos individualizado, sendo divididos por um claro contraste das propriedades petrofísicas das porções lamosas no topo de uma para-sequência e mais arenosa da base da seguinte. Ocasionalmente, apresentam um comportamento igual quando os sinais de perfis são muito ruidosos, porém analisando outros parâmetros estatísticos o elevado grau de aleatoriedade do sinal não se confirma (VALE, 2009)

Diminuindo a oscilação do sinal tratado em relação ao original mostra a degradação exigida pela mudança de escala. Em geral, quando escolhemos o comprimento da onda para corte, temos uma preservação grande do sinal de densidade total, indicado através da diminuição percentual da oscilação, menos nas NA02 e RJS234. Segundo Silva e Remacre (2001), o primeiro caso, predomina os níveis finos laminados dos arenitos e margas no reservatório e constantes níveis cimentados, sendo relacionados à posição distal no corpo turbidítico deste poço, introduzindo uma componente forte e de alta frequência que foi descartada pelo tratamento do sinal. No segundo caso, alcança similaridade devido o poço estar estabelecido em uma fração latero-proximal em relação aos cânions alimentadores e apresentar predominantes níveis argilosos finos laminados.

Avaliando a atenuação do sinal sônico, observa-se que há uma queda intensa na variação do perfil filtrado, melhorando a interpretação acima. A atenuação na variação é maior, quando comparamos o dT com o perfil sônico, pois é normal a maior susceptibilidade a condições variadas de aquisição e maior ruído que o de densidade. Porém nos poços NA04, NA07 e RJS42 o perfil sônico apresentou uma grande sensibilidade, apresentando uma queda considerável na variação para rhoB e grandes valores de redução percentual da variação para dT. Geralmente, os sinais de rhoB e dT verificam intensa correlação negativa, isto é, densidades com valores maiores apresentam-se em tempo de trânsito com menores valores. Ainda, a posição mais distante dos poços NA07 e RJS42, e mais lateral NA04 acarreta em interpolações frequentes e de menor comprimento de onda, onde são filtradas dos sinais de perfil, ainda que contenha informações relevantes da geologia nas frequências acima e próximas da frequência de corte. Segundo Silva e Remacre (2001), os mais impressionantes resultados foram encontrados nos poços que ocupam uma posição mais central no reservatório, onde apresentam volumes arenosos altamente desenvolvidos, com baixa interpolação de margas e baixos intervalos cimentados, sendo estes os poços NA01 e NA12.

10 CONCLUSÕES

A Transformada Wavelet demonstrou-se uma ferramenta extremamente eficiente no tratamento dos sinais de perfil geofísico de poço e sua associação com dados geológicos das rochas-reservatórios, fornecendo uma poderosa base para a transformação de escala importante na modelagem de fluxos, principalmente na família de Wavelets utilizada, as ortogonais para a decomposição multi-resolução do sinal (Daubechies 8 ou db8), por apresentarem-se características de compasso e amenidade apropriado ao sinal de perfil. A transição da informação de escala submétrica dos perfis para uma escala compatível com a aquisição sísmica, do qual a resolução vertical é da ordem de umas dezenas de metros, pode ser comandada de forma prática e eficiente ao decorrer das consecutivas aproximações obtidas por análise multi-resolução.

A variografia permite o controle da filtragem e escolha de pseudo-frequências apropriada demonstrando ser uma boa ferramenta no estudo desse tipo de sinal geofísico. A qualidade e estrutura do produto final podem ser examinados de forma simples e eficaz, enriquecendo os dados do poço e admitindo sua aplicação na criação de amostras

espaciais vigorosamente moderados pelos dados geológicos de detalhe. A inversão do sinal tratado como núcleo elementar de modelos numéricos de reservatório, mas conservando características de pequena escala, pode ser engrandecido com as assinaturas dos variogramas nos diversos níveis de decomposição.

Os traços de perfil tratados preservam parte notável da energia do sinal original como está manifesto na manutenção parcial da sua variabilidade. Os filtros Wavelet realmente conservam a assinatura do sinal, embora sejam de características transitórias ou estacionárias.

11 REFERÊNCIAS

FOURFOULA-GEORGIU, E.; KUMAR, P. **Wavelet in geophysics: wavelet analysis and its applications**. Edited by Efi Fourfoula-Georgiou and Praveen Kumar, 1994. v.4

OLIVEIRA, H. M. **Análise de Fourier e Wavelet: sinais estacionários e não estacionários**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2007a.

OLIVEIRA, H. M. **Análise de sinais para engenheiros: uma abordagem via Wavelet**. Rio de Janeiro: Brasport, 2007b.

OPPENHEIM, A. V.; WILLSKY A. S.; YOUNG, I. T. **Signals and Systems**, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 2002.

PROTÁZIO, J. M.B. **Análise Wavelet Aplicada a Sinais Geofísicos**. Dissertação (Mestrado) Campinas - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

SANTOS, W. H. S. **Imagens sísmicas**. Trabalho de disciplina – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/~mgattass/fcg/trb14/WallasSantos/Seismic/>>. Acesso em 15 out. 2015.

SILVA, A., PROTÁZIO, J. M.B., REMACRE, A. Z. Análise Wavelet aplicada na mudança de escala em perfis geofísicos do Campo de Namorado. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, 2003.

SILVA, A., REMACRE, A.Z. **Geological constrained log filtering as a basis for scale transference**, SPE 69484, 2001.

SOUZA Jr. O.G. **Stratigraphie Séquentielle et Modélisation Probabiliste des Réservoirs d'un Cône Sous-marin Profond (Champ de Namorado, Brésil): Intégration des Données Géologiques et Géophysiques**. Tese (Doutorado) – Paris, Université Paris 6, 1997.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia do petróleo.** Rio de Janeiro: Petrobrás/Interciência, 2001.

VALE, M. L. C. do. **Análise de sinais geofísicos na prospecção de petróleo.** Monografia (Pós Graduação em Engenharia de Instrumentação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. Disponível em: http://www2.ee.ufpe.br/instrumentacao/monografias/Mauro_Vale_PROMINP_I.pdf. Acesso em 15 out. 2015.