

UMA ABORDAGEM DAS APLICAÇÕES DAS WAVELETS NA INDÚSTRIA PETROLÍFERA

Manoel Mariano Neto da Silva¹; Daniela de Freitas Lima²; Gustavo Ferreira Costa³; Almir Mariano de Sousa Junior⁴

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros – mariano.paiva@ufersa.edu.br

² Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros – danielafreitas12@gmail.com

³ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros – gustavoferreira675@gmail.com

⁴ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros – almir.mariano@ufersa.edu.br

RESUMO

Na atividade petrolífera comumente são empregadas sísmicas, que se definem como a propagação de ondas elásticas no subsolo e mediante a refração ou reflexão frente aos obstáculos existentes no meio, conseguem fornecer uma caracterização das formações geológicas. Mediante tais discussões, esse estudo tem por finalidade abordar a aplicabilidade das wavelets no processamento de imagens sísmicas frente a atividade petrolífera, uma vez que este método matemático apresenta uma vasta aplicação no processamento de informações e obtenção de sistemas simplificados. As Wavelets são funções matemáticas que separam um sinal em suas componentes de diferentes frequências e estudam cada uma das componentes com a resolução compatível para esta escala. Através das transformadas de Wavelets pode-se efetuar a transferência de escala, ou seja, filtragem das informações geológicas, reduzindo-as às bandas de frequência da sísmica e, por consequência, obtendo-se sismogramas sintéticos. Desse modo, estas podem ser aplicadas na supressão de ruídos em uma imagem de atributos petrofísicos. Para tanto, é necessário realizar a decomposição multirresolução no tratamento de supressão de ruído. Assim, o emprego de Wavelets nas investigações petrolíferas apresenta grande importância para que os resultados obtidos a partir da representação das formações geológicas sejam precisos.

Palavras-chaves: Wavelets, imagens sísmicas, atividade petrolífera.

1. INTRODUÇÃO

Muitos recursos minerais de grande importância para o desenvolvimento e bem estar da população são encontrados no subsolo. Entretanto, devido aos custos elevados para a exploração dessas matérias primas, faz-se necessário a adoção de métodos investigativos capazes de garantir

altos níveis precisão quanto a eficiência das atividades exploratórias.

Frente a tal realidade, as metodologias aplicadas variam de acordo com o recurso a ser extraído. Na atividade petrolífera mais precisamente, são comumente empregadas sísmicas, que podem ser definidas como a propagação de ondas elásticas no subsolo que

mediante a refração ou reflexão frente aos obstáculos presentes nos ambientes de estudos conseguem fornecer uma caracterização precisa das formações geológicas estudadas e daí infere-se a existência de hidrocarbonetos.

Porém, os sismogramas resultantes desse processo geralmente apresentam no primeiro momento muitas imperfeições que impossibilitam a análise das informações. Desse modo, se faz necessário o processamento de imagens a partir de métodos matemáticos e geofísicos, afim de remover as interferências presentes. Dentre os métodos conhecidos, podemos citar a Transformada de Fourier, que propicia um processamento em casos onde não há descontinuidades nos intervalos, bem como a utilização de janelas, que subdividem o intervalo.

2. ANÁLISE DO SUBSOLO

O subsolo abriga diversas riquezas muito importantes para o desenvolvimento econômico do país, tais como minérios, água, petróleo, e que precisam ser identificadas por meio de investigação da subsuperfície, que permite a verificação da formação geológica de determinada área, possibilitando auferir as propriedades características de determinados materiais e a consequente viabilidade de extração.

Em contrapartida, a aplicação desse método torna-se pouco eficiente quando se trata de melhoramento de imagens sísmicas, visto que comumente são encontrados pulsos e descontinuidades nos intervalos de ondas. Nesse sentido, processos capazes de eliminar o ruído das imagens, além de melhorar as resoluções a partir da compressão de dados e tratamentos multiescalas são mais apropriados.

Mediante tais discussões, esse estudo tem por finalidade abordar a aplicabilidade das wavelets no processamento de imagens sísmicas frente a atividade petrolífera, uma vez que este método matemático apresenta uma vasta aplicação no processamento de informações e obtenção de sistemas simplificados.

Quando se fala em petróleo, para Thomas [2001] a primeira etapa de um programa exploratório é a realização de um estudo geológico com o propósito de reconstituir as condições de formação e acumulação de hidrocarbonetos em uma determinada região.

Além disso, os métodos de investigação do subsolo são imprescindíveis para que sejam adotadas estruturas compatíveis com o

tipo de interferência que será realizada, garantindo a segurança no desenvolvimento das atividades.

Conforme Chiossi [2013] a investigação do subsolo pode ser realizada através de dois métodos principais: geofísicos (ou indiretos); mecânicos (ou diretos). Por meio dos métodos geofísicos o subsolo é analisado com a observação do terreno ou mesmo no ar através de campos de força, produzidos natural ou artificialmente. Os métodos mecânicos

utilizam da extração de amostras para que o subsolo possa ser analisado.

Os métodos indiretos podem ser: gravimétricos, magnéticos, elétricos ou sísmicos, sendo os campos de força e as propriedades físicas variáveis de acordo com cada método utilizado. De acordo com o objetivo da pesquisa da subsuperfície é escolhido o método mais propício. A Tabela 01 expõe a classificação dos métodos indiretos citados.

Tabela 01: Métodos Geofísicos

Métodos	Campos de Força	Propriedades físicas	Campos principais de aplicação
Gravimétricos	Campo gravitacional terrestre	Densidade	Pesquisa de petróleo
Magnéticos	Campo magnético terrestre	Suscetibilidade magnética	Mineração
Elétricos	a) campo elétrico natural; b) campo elétrico artificial	a) condutividade elétrica; b) condutividade ou resistividade elétrica	Água subterrânea e engenharia civil
Sísmicos	Campo de vibração elástica	Velocidade de propagação de ondas elásticas	Petróleo e engenharia civil

Fonte: Chiossi (2013). Adaptado.

Como é possível perceber através da Tabela 01, os métodos geofísicos utilizados na

investigação de petróleo são os gravimétricos

e os sísmicos, ambos com campos de força e consequentes propriedades físicas distintos.

De acordo com Ecco [2011], quando se fala em exploração de hidrocarbonetos, pretende-se, em suma, localizar as jazidas, havendo a necessidade de associação entre as melhores formas de identificação e ampliação do custo-benefício da extração de petróleo. Dessa forma, os métodos sísmicos são os mais utilizados, uma vez que sondam as camadas da superfície sem invadi-las, isto é, analisando o ambiente indiretamente e, por

consequência sendo mais econômicos em comparação aos métodos diretos de perfuração de poços.

No que se refere aos métodos diretos, os principais são: manuais e mecânicos. Dentre os objetivos dos métodos diretos estão: traçar o comportamento geológico do subsolo, extrair matérias primas e definir medidas para realização efetiva de tarefas, tais como: rebaixamento do lençol freático e ventilação de minas. A Tabela 02 relaciona os tipos de métodos diretos.

Tabela 02: Métodos Diretos

Manuais	Mecânicos
Poços	Sondagem à Percussão
Trincheiras	Sondagem à Jato D'água
Trado Manual Simples	Sondagem Rotativa com Extração de Testemunho
Sonda <i>Empire</i>	Sondagem Rotativa sem Extração de Testemunho

Fonte: Chiossi (2013). Adaptado.

Nesta pesquisa apresentaremos mais detalhes do método sísmico, que pertence ao grupo dos geofísicos ou indiretos, em virtude

de se apresentar como o mais viável para a identificação de reservatórios de petróleo.

3. MÉTODO SÍSMICO NA INVESTIGAÇÃO DE PETRÓLEO

Conforme Thomas [2001] um programa de prospecção de petróleo tem dois objetivos principais: localizar as situações geológicas

que tenham condição de acumulação de petróleo e verificar qual, dentre estas situações possui mais chance de conter



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

petróleo. Para isso, são necessários estudos que identifiquem as áreas favoráveis à formação de jazidas de petróleo, ou seja, que busquem reconstituir as condições de formação acúmulo de hidrocarbonetos.

Neste sentido, o método sísmico é uma das alternativas viáveis para a exploração petrolífera, pois permite a realização dessa investigação com qualidade e economia.

De acordo com Chiossi [2013], os métodos sísmicos utilizam duas características importantes das formações rochosas: a velocidade de propagação de ondas elásticas varia de acordo com a tipologia da rocha e está vinculada às propriedades elásticas do material; os limites (contatos) que separam diferentes tipos de rocha refletem e refratam parte da energia das ondas elásticas.

Para Figueiredo [2007] o método sísmico (ou sísmica aplicada) tem como finalidade principal a formação de modelos de dados que, depois de processados e organizados, retenham informações relevantes a respeito da geologia da região onde foram adquiridos.

Thomas [2001] apresenta os métodos sísmicos por refração e reflexão, em que na refração são registradas apenas ondas refratadas com ângulo crítico, com grande aplicação na área de sismologia, e na reflexão é fornecida alta definição das feições geológicas em subsuperfície propícias à

acumulação de hidrocarbonetos a um custo relativamente baixo.

Para a execução do trabalho de investigação por meio do método sísmico são propagadas de ondas elásticas estimuladas artificialmente (essas fontes artificiais podem ser: dinamite e vibrador em terra, canhões de ar comprimido em mar) que refletem ou refratam com a particularização das diferentes constituições petrofísicas e são captadas por instrumentos específicos. No método por reflexão, os resultados na prospecção de petróleo são as imagens das estruturas e camadas em subsuperfície.

De acordo com Thomas [2001] a aquisição de dados sísmicos considera diversos parâmetros que visam a obtenção de imagens de boa qualidade da subsuperfície, dentro dos limites de economicidade. Resolução vertical e horizontal, distorções, redução de ruídos são equacionados pelo projeto.

A sísmica para petróleo busca reproduzir com maior precisão possível as condições geológicas de determinada porção em análise para que haja uma probabilidade verídica de identificação de reservatórios. Para isso são necessárias diversas etapas no processamento de dados, que incluem desde correções de distorções causadas por aparelhos receptores e variações em relação à superfície de referência, filtragens

[www.conepetro.com](http://www.conepetro.com.br)
.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

matemáticas que atenuam reverberações até migração de dados, ou seja, redução de difrações quando a geologia apresentar-se complexa.

4. WAVELETS

O estudo das Wavelets é recente se comparado a outras aplicações matemáticas. Conforme Kumar [1994], esse método foi desenvolvido por volta de 1910 e se configura como um sistema completo de funções ortogonais com muitas propriedades e características que fazem das Wavelets ferramentas matemáticas com um abrangente campo de aplicações.

As Wavelets são definidas por Protázio [2002] como funções matemáticas que separam um sinal em suas componentes de diferentes frequências e estudam cada uma das componentes com a resolução compatível para esta escala. Partindo dessa discussão, Daubechies [1998] diz que a teoria da Transformada Wavelet mostra-se adequada e bem adaptada para a investigação e análise de processos não estacionários envolvendo um grande número de escalas.

Ainda embasados em Kumar [1994], podemos afirmar que as pesquisas acerca das

Portanto, verifica-se que o método sísmico por reflexão é efetivo na investigação petrolífera, apresentando bons resultados de representação da subsuperfície e sendo economicamente viável.

Transformadas de Wavelets foram intensificadas na década de 80 a partir de publicações do geofísico francês, Jean Morlet. Desse modo, na segunda metade da década de 80 foram estabelecidos conceitos que permitiam compreender claramente essas funções, estabelecendo as suas propriedades e permitindo a construção e geração de outras Wavelets.

Nesse sentido, Astaf'eva [1996] aborda que uma considerável parte da teoria das Wavelets foi desenvolvida de forma independente em vários campos científicos, dentre eles: a matemática, a física quântica, a engenharia e a geologia. As contribuições dadas auxiliam na ampliação de suas aplicações, tornando-se possível realizar processamentos e compressão de imagens, radares, entre outras. Verificamos assim, que os aprofundamentos acerca das transformadas de Wavelets possibilitaram que essas ganhassem nas mais diversas áreas.

5. APLICAÇÃO DAS WAVELETS NOS ESTUDOS SÍSMICOS

[www.conepetro.com](http://www.conepetro.com.br)
.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br



As imagens que representam as configurações do subsolo e são elaboradas por meio do método sísmico baseado na propagação de ondas elásticas, reflexão e refração, podem ter resoluções variáveis conforme de acordo com a metodologia de análise adotada.

Assim, a aquisição de métodos precisos e eficientes para a obtenção das propriedades equivalentes das rochas dos reservatórios em escalas mais finas se apresentam como uma grande problemática devido à natureza das heterogeneidades multiescalas resultantes dos reservatórios de petróleo. As propriedades das rochas e do fluido equivalentes variam. Sendo assim, a análise realizada através da

Transformada Wavelet é um método de decomposição multiescala e se adequada no processamento de propriedades de rochas e fluxo em um reservatório com heterogeneidades em várias escalas.

Partindo dessa discussão, a Transformada Wavelet tem a capacidade de preservar estruturas locais em conjuntos de dados espaciais e para reduzir os esforços computacionais, estas foram empregadas nas atividades de processamento das imagens obtidas a partir das sísmicas, em uma escala maior, com duas ou três dimensões.

A Tabela 03 apresenta as abordagens dos autores sobre as aplicações das Wavelets.

Tabela 03: Aplicações das Wavelets segundo alguns autores.

Autor	Descrição
Johansson (2005)	Afirma que as análises obtidas através da Transformada <i>Wavelet</i> são sensíveis para detecção automática e distinção de descontinuidades, tais como falhas, descontinuidades, ciclicidades e mudanças graduais na taxa de sedimentação.
Ecco (2011)	A teoria das <i>Wavelets</i> reúne diversas técnicas elaboradas de forma independente para várias aplicações de processamento de sinais. Elas são funções que permitem representar uma função em resoluções diferentes além de comprimirem



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Protázio (2002)

dados sísmicos nas pesquisas de petróleo.

A análise Wavelet pode ser aplicada na supressão de ruídos em uma imagem de atributos petrofísicos, ou seja, imagem sísmica. Para isso, é necessário realizar a decomposição multiresolução no tratamento de supressão de ruído.

Fonte: Johansson (2005), Ecco (2011), Protázio (2002). Adaptado.

Para compreender melhor as Wavelets, é necessário entender a evolução da análise dos sinais estacionários e não estacionários emitidos por meio dos métodos geofísicos.

A transformada de Fourier se configura como um dos métodos de avaliação de sinais. Esta foi desenvolvida para analisar sinais estacionários, já que considera todo o espaço ao representar a transformada integral de função senoidal. Em virtude da necessidade do estudo dos sinais não-estacionários também, surge a transformada de Fourier em janelas, que estuda os sinais em intervalos iguais. Porém devido essas janelas (larguras) serem iguais, é utilizada uma mesma janela

6.CONCLUSÃO

A investigação do subsolo, em que se destacam os métodos geofísicos, permite a compreensão das configurações geológicas da subsuperfície que são fundamentais para

independentemente da frequência. Assim, as transformadas Wavelets disponibilizam janelas de tamanhos variáveis, o que permite uma análise mais detalhada e precisa.

Através da transformada de Wavelets pode-se efetuar a transferência de escala, ou seja, filtragem das informações geológicas, reduzindo-as às bandas de frequência da sísmica e, por consequência, obtendo-se sismogramas sintéticos.

Assim, o emprego de Wavelets nas investigações petrolíferas é importante para que os resultados obtidos sejam mais precisos e consequentemente haja previsões coerentes com as condições reais.

exploração das riquezas presentes no interior da terra, especialmente quando se trata de hidrocarbonetos. Para fins petrolíferos, o método sísmico por reflexão é o mais

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

utilizado por apresentar melhor viabilidade econômica e precisão.

Nesta perspectiva, o processamento e melhoramento dos sismogramas contribuem para a efetividade das verificações e bom desempenho das atividades que dão continuidade ao processo. Algumas metodologias podem ser aplicadas para aprimorar a etapa de aperfeiçoamento dos sismogramas, dentre elas, a Transformada de Fourier, que consiste em um método de modelagem matemática que trata dados

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTAF'EVA, N. M. Wavelet analysis: basic theory and some applications. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.1070/PU1996v039n11ABEH000177/pdf>>. Acesso em: 25 dez. 2015.

BOSCH, B. E.; GONZÁLEZ, P. A.; VIVAS, G. J. Directional wavelets and a wavelet variogram for two-dimensional data. 2009. Disponível em: <<http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/13124>>. Acesso em: 25 dez. 2015.

CHIOSSI, N. J. Geologia Aplicada à Engenharia. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

estacionários, e, por este motivo, não é tão eficiente na análise de comportamentos descontínuos.

Neste sentido, as Wavelets permitem a análise de dados não estacionários e, por isso, possuem grande aplicabilidade nesse contexto, pois por meio delas é possível reduzir ruídos e melhorar imagens sísmicas, o que confere maior segurança na descrição de condições geológicas favoráveis à exploração de petróleo.

CHU, L. Application of Wavelet Analysis to Upscaling of Rock Properties. Disponível em: <<https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-36517-PA>>. Acesso em: 25 dez. 2015.

DAUBECHIES, I. Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets. 1998. Disponível em: <<http://cbio.ensmp.fr/~jvert/svn/bibli/local/Daubechies1988Orthonormal.pdf>>. Acesso em: 25 dez. 2015.

ECCO, D. Remoção de ruídos sísmicos utilizando transformada Wavelet 1D e 2D com software em desenvolvimento.

Dissertação de Mestrado. Natal/RN, abr. 2011.

FIGUEIREDO, A. M. Mapeamento Automático de Horizontes e Falhas em Dados Sísmicos 3D baseado no algoritmo de Gás Neural Evolutivo. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, jun. 2007.

HALGELBERG, C. R.; GAMAGE, N. K. K. Applications Of Estrutcture Preseving Wavelets Decompositions to Intermitent Turbulence: a case study. Disponível em: < [https://books. 20Multi-scale%20information %20in%20thecharacterizationof%20hydraulic %20conductivitydistributions&f=false](https://books.20Multi-scale%20information%20in%20thecharacterizationof%20hydraulic%20conductivitydistributions&f=false)>.

Acesso em: 25 dez. 2015.

INTERGEO. Registro de dados – a superfície de trabalho. Disponível em: < [http://intergeo.org/Study/Seismic/Acquisition/Recording .php?lang=pt](http://intergeo.org/Study/Seismic/Acquisition/Recording.php?lang=pt)>. Acesso em: 23 jan. 2015.

JANSEN, F. E. Upscaling of Reservoir Properties Using Wavelets. Disponível em: < <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-39495-MS>>. Acesso em: 25 dez. 2015.

JOAHNSSON. E. Wavelet Theory and some of its Applications. Disponível em: <

<http://epubl.ltu.se/1402-1757/2005/10/LTU-LIC-0510-SE.pdf>>. Acesso em: 25 dez. 2015.

KUMAR. P. Wavelets in Geophysics. Disponível em:< [https://books. scale %20information%20in %20thecharacterizationof%20hydraulic %20conductivitydistributions&f=false](https://books.scale%20information%20in%20thecharacterizationof%20hydraulic%20conductivitydistributions&f=false)>.

Acesso em: 25 dez. 2015.

LIMA, P. C. Wavelets: uma introdução. Disponível em:< [http://www.mat.ufmg.br/~lima/artigos/rmu33. pdf](http://www.mat.ufmg.br/~lima/artigos/rmu33.pdf) >. Acesso em: 25 dez. 2015.

MALLAT, S. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation. Disponível em: < <http://www.cmap.polytechnique.fr/~mallat/papiers/MallatTheory89.pdf>>. Acesso em: 25 dez. 2015.

PROKOPH, A.; AGTERBERG, F. P. Wavelet analysis of well-logging data from oil source rock, Egret Member, offshore eastern Canada. Disponível em: < [http://archives.datapages.com/data/bulletns/20 00/10oct/1617/1617.htm](http://archives.datapages.com/data/bulletns/2000/10oct/1617/1617.htm)>. Acesso em: 25 dez. 2015.

PROTÁZIO, J. M. B. Análise Wavelets aplicada a sinais geofísicos. Dissertação de Mestrado. Campinas/SP, abr. 2002.

SILVA, A. Análise de perfis geofísicos de poço no domínio de Fourier e sua integração com a aquisição sísmica no modelamento de reservatórios. 2001. Disponível em:

<<http://www.bv.fapesp.br/pt/bolsas/43295/analise-de-perfis-geofisicos-de-poco-no-dominio-de-fourier-e-sua-integracao-com-a-aquisicao-sismica/>>. Acesso em: 25 dez. 2015.

THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2001.

