



Marcílio Castro de Matos

**Reconhecimento de Padrões Sísmicos Utilizando Análises
Tempo-Freqüência**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientadores: Paulo Léo Manassi Osório
Paulo Roberto Schroeder Johann

Rio de Janeiro, abril de 2004



Marcílio Castro de Matos

Reconhecimento de Padrões Sísmicos Utilizando Análises Tempo-Freqüência

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Paulo Léo Manassi Osório

Orientador
PUC-Rio/ELE

Paulo Roberto Schroeder Johann

Co-orientador
PETROBRAS

Djalma Manoel Soares Filho

PETROBRAS

José Manoel de Seixas

COPPE/UFRJ

Marco Aurélio Cavalcanti Pacheco

PUC-Rio/ELE

Raul Queiroz Feitosa

PUC-Rio/ELE

Roberto Fainstein

UERJ

José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 15 de abril de 2004

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Marcílio Castro de Matos

Formado em Engenharia Eletrônica no Instituto Militar de Engenharia em dez 1988. Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica pelo Instituto Militar de Engenharia em fev 1994 na área de Processamento de Sinais. Trabalhou de 1989 à 1998 no Campo de Provas da Marambaia onde teve como principal função a chefia do Sistema de Rastreamento de Engenheiros Balísticos por Radar. Desde 1999 é professor do Departamento de Engenharia Elétrica do IME, onde ministra atualmente as cadeiras de Introdução ao Processamento Digital de Sinais e Introdução a Sistemas Radar para os cursos de graduação. Também é adjunto à Subdivisão de Cursos de Pós-Graduação do IME.

Ficha Catalográfica

Matos, Marcílio Castro de

Reconhecimento de padrões sísmicos utilizando análises tempo-frequência / Marcílio Castro de Matos ; orientadores: Paulo Léo Manassi Osório, Paulo Roberto Schroeder Johann. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2004.

118 f. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1.Engenharia elétrica – Teses. 2.Processamento de sinais. 3.Transformada wavelet. 4.Análise de fácies sísmicas. 5.Tempo-frequência. 6.Reconhecimento de padrões sísmicos. 7.Mapas auto organizáveis de Kohonen. I. Osório, Paulo Léo Manassi. II. Johann, Paulo Roberto Schroeder. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

"Se consegui ver mais longe foi porque me apoiei em ombros de gigantes"
Isaac Newton

Dedico este trabalho à minha esposa Lucia, aos meus pais Regina e Carlos, ao meu "primo-filho" Thiago, à toda a minha família e aos amigos que sempre me apoiaram.

Dedico especialmente a Deus por sempre estar ao nosso lado.

Agradecimentos

A minha esposa Lucia pelo amor e companheirismo que sempre demonstrou em todos os momentos de nossa vida conjunta. Agradeço todo o sacrifício, compreensão e paciência que teve comigo, sempre se solidarizando nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais pela criação focada na honestidade e perseverança e pelo amor e carinho que sempre me deram e demonstram até hoje.

Ao meu “primo-filho” Thiago, aos meus irmãos Maurílio e Márcia, à minha avó Maria, aos meus sogros Wilmar e Vera, a todos os sobrinhos, cunhadas e cunhados, a toda a minha família e aos amigos pelo apoio e carinho do dia a dia.

Ao meu orientador Paulo Osório pelos novos caminhos abertos no fascinante mundo da geofísica, pela orientação objetiva e criteriosa dada aos trabalhos realizados, pelo respeito e amizade quase fraternal.

Ao meu co-orientador Paulo Johann pelos ensinamentos em exploração geofísica, por despertar meu interesse pela geofísica, pelas orientações e contribuições dadas a esta tese e pelo exemplo de dedicação e entusiasmo na condução dos trabalhos.

À PETROBRAS pelo apoio e suporte concedido através do seu projeto de pesquisa institucional PRAVAP19.

À ANP e à PETROBRÁS pela permissão de uso dos dados sísmicos reais utilizados nesta tese.

A todos do Departamento de Exploração e Produção da PETROBRAS e aos pesquisadores do CENPES-PETROBRAS que contribuíram para esta tese, em especial, ao Evaldo Cesário Mundim pelos comentários, apoio e sugestões dados para esta tese, pela motivação, atenção e pela amizade demonstrada.

À PUC-Rio pela oportunidade de participar de um curso de alto nível de forma gratuita através do convênio com o IME.

Ao Instituto Militar de Engenharia pela oportunidade dada para cursar o doutorado em tempo parcial sem prejuízo das funções exercidas. Agradeço a todos os meus comandantes, chefes e companheiros do IME pelo apoio dado durante o curso.

Aos companheiros da PUC Marco Antônio Cetale, Felipe Loureiro, Mércia Betânia, Bruno Caratori, Gustavo Peres B. de Castro, Marcus Moldes e aos demais pelas discussões específicas e genéricas e pelos entusiasmados cafezinhos no “Louvre”. Em especial, ao amigo Marco Antônio Cetale pelo companheirismo, amizade fraternal, troca de experiências, discussões e descobertas na área de geofísica e ao amigo Felipe Loureiro pelas discussões e contribuições.

Ao corpo administrativo do DEE da PUC, em especial Alcina, Ana, Márcia, Mário e ao corpo técnico do DEE da PUC, em especial, Luiz Fernando, Alexandre Skyrme, Thiago, Manuel, Nelson, Vitor, Evandro, Isnarde e Gustavo pelo apoio, atenção e simpatia demonstrados durante estes anos.

Ao prof. Roberto Fainstein pela amizade, pela contribuição dada para os meus primeiros conhecimentos na área de exploração geofísica e por dar a oportunidade de participar de um programa de intercâmbio entre a UERJ e a Universidade de Tecnologia da Noruega -Trondhein, minha primeira experiência internacional no ramo da geofísica.

À CAPES pela disponibilização do portal PERIÓDICOS, fonte fundamental de referências bibliográficas para o desenvolvimento desta tese e de futuros trabalhos científicos.

Aos professores da banca examinadora.

Resumo

Matos, Marcílio C.. **Reconhecimento de Padrões Sísmicos Utilizando Análises Tempo-Freqüência**. Rio de Janeiro, 2004. 118p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Independente da metodologia adotada para realizar análise de fácies sísmicas, a segmentação temporal e espacial da região do reservatório deve ser realizada cuidadosamente. A confiança no resultado da interpretação depende da complexidade do sistema geológico, da qualidade dos dados sísmicos, e da experiência do intérprete. Portanto, qualquer erro de interpretação pode levar a resultados incoerentes. Especialmente, a análise de fácies sísmicas utilizando formas de onda do sinal na região do reservatório é bastante sensível a ruídos de interpretação.

Sabe-se que variações no conteúdo de freqüência dos traços sísmicos podem estar associadas às informações de refletividade da sub-superfície. Conseqüentemente, análises conjuntas em tempo – freqüência podem levar a formas não convencionais para a caracterização de reservatórios. Especificamente, esta tese propõe o uso das propriedades em tempo – freqüência, obtidas através do algoritmo de “matching pursuit”, e das singularidades detectadas e caracterizadas via transformada wavelet, como ferramenta para detecção de eventos sísmicos e para análise não-supervisionada de fácies sísmicas quando associadas ao agrupamento dos mapas auto organizáveis de Kohonen.

Palavras-chave

Processamento de Sinais; Transformada Wavelet; Análise de Fácies Sísmicas; Tempo-Freqüência; Reconhecimento de Padrões Sísmicos, Mapas Auto Organizáveis de Kohonen.

Abstract

Matos, Marcílio C.. **Seismic Pattern Recognition using Time-Frequency Analyses**. Rio de Janeiro, 2004. 118p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Independent of the adopted methodology to perform the seismic facies analysis, the geological oriented spatial and temporal segmentation of the reservoir region should be carefully done. Depending on the complexity of the reservoir system, seismic data quality, and the experience of the interpreter, the level of confidence in an interpretation can vary from very high to very low. Therefore, any interpretation error could lead to wrong or noisy results. Specially, when using seismic trace shapes, defined by the values of the seismic samples along each segmented trace, as the seismic input attributes to the chosen seismic facies algorithm. These facies analysis artifacts are introduced because seismic waveform in the reservoir delimited area changes quickly as a function of the interpretation, then waveforms with almost the same shape could be assigned to different classes due only to their different phases.

It is known that variations of the frequency content of a seismic trace with time carry information about the properties of the subsurface reflectivity sequence. Consequently, seismic trace time-frequency analyses could provide an unconventional way to reservoir characterization. Specifically, in this work we propose to use the time-frequency properties of the atoms obtained after the “matching pursuit” signal representation and the singularities identified by wavelet transform, jointly with Self Organizing Maps as an unsupervised seismic facies analyses system.

Key words

Signal Processing, Seismic Facies Analysis; Time-Frequency Analysis; Seismic Pattern Recognition.

Sumário

1 Introdução	19
2 Introdução à Sísmica de Exploração	22
2.1. Análise sísmica	22
2.2. Atributos sísmicos	29
2.2.1. Análise do traço sísmico complexo	33
3 Análise de Fácies Sísmicas	42
3.1. Métodos Utilizados para a análise de fácies sísmicas.	43
3.2. Mapas Auto Organizáveis de Kohonen	47
3.3. Agrupamento do SOM	52
3.3.1. Agrupamento partitivo: K-means	54
3.4. Agrupamento do SOM aplicado à análise de fácies sísmicas	55
3.4.1. Exemplo a: Análise de fácies sísmicas de um dado sintético.	56
3.4.2. Análise de fácies sísmicas de um dado real.	59
4 Análise Tempo – Frequência de Sinais Sísmicos	61
4.1. Representações tempo – frequência	62
4.2. “Matching pursuit” com átomos de Gabor	65
4.3. Atributos sísmicos e classificação de padrões sísmicos utilizando “matching pursuit”	75
4.4. Algoritmo proposto utilizando agrupamento do SOM associado ao “matching pursuit”	78
4.4.1. Análise de fácies sísmicas de um dado sintético	78
4.4.2. Análise de fácies sísmicas de um dado real	80
5 Análise de fácies sísmicas utilizando transformada wavelet	84
5.1. Transformada wavelet contínua - CWT	84
5.2. Detecção e medida das singularidades de uma função via CWT	90
5.2.1. Máximos do módulo da transformada wavelet - WTMM	93
5.3. Transformada wavelet discreta sem decimação no tempo.	97
5.4. Atributos sísmicos e análise de fácies sísmicas utilizando transformada	

wavelet sem decimação no tempo.	102
5.4.1. Análise de fácies sísmicas de um dado sintético	104
5.4.2. Análise de fácies sísmicas de um dado real	105
6 Conclusões	107
7 Referências bibliográficas	110

Lista de figuras

Figura 1: Esquema de aquisição sísmica terrestre (Museu virtual da SEG, 2003).	24
Figura 2: Esquema de aquisição de dado sísmico marítimo (Schlumberger Oilfield Glossary, 2003).	24
Figura 3: Exemplo de um tiro sísmico 2D terrestre (Yilmaz ozdata25).	25
Figura 4: Esquema de aquisição 3D marítima (Sercel, 2003).	25
Figura 5: Exemplo de cubo sísmico 3D e alguns horizontes interpretados (Johann, 1999).	27
Figura 6: Identificação e mapeamento dos horizontes topo e base de um reservatório de petróleo.	28
Figura 7: Mapas de interpretação do topo e da base do reservatório em tempo (ms).	28
Figura 8: Classificação de atributos sísmicos segundo Brown (Brown, 2001).	29
Figura 9: Classificação dos atributos (Chen e Sidney, 1997).	30
Figura 10: Cômputo do atributo sísmico utilizando valores de um traço sísmico em torno de uma superfície de interesse.	31
Figura 11: Tipos de janela usados para a obtenção do atributo sísmico baseado em eventos. (a) Com janelas variantes no tempo e deslocamento variáveis em relação ao evento; (b) Com janela fixa em torno de um determinado evento, com deslocamento variável em torno do evento; (Chen e Sidney, 1997).	32
Figura 12: Extração de dados para a formação de atributos sísmicos multi-traços (Chen e Sidney, 1997).	33
Figura 13: Formação de atributos volumétricos. (Chen e Sidney, 1997).	33
Figura 14: (a) Espectro de um sinal real contínuo passa-banda; (b) Espectro do sinal passa-banda em tempo discreto; (c) Espectro do sinal complexo formado. (Oppenheim et al., 1999).	35
Figura 15: Obtenção do sinal complexo no domínio da frequência (Antoniu, 1993).	39
Figura 16: Aproximação do filtro de Hilbert utilizando filtro FIR; (a) Esquema para obtenção do sinal complexo a partir do filtro de Hilbert; (b) Resposta em frequência do filtro de Hilbert com 31 coeficientes; (c) Resposta ao impulso do filtro de Hilbert.	40

Figura 17: Obtenção do sinal complexo a partir de filtro FIR complexo.	40
Figura 18: Envoltórias de um sinal de teste com 512 amostras obtidas através da DFT, da transformada de Hilbert com filtro FIR e da transformada de Hilbert com filtro FIR complexo.	41
Figura 19: Freqüência instantânea de um sinal de teste com 512 amostras obtidas através da DFT, da transformada de Hilbert com filtro FIR e da transformada de Hilbert com filtro FIR complexo.	41
Figura 20: Interpretação do topo e da base de um reservatório de petróleo	44
Figura 21: Atributos típicos integrados entre topo e base do reservatório a) Freqüência instantânea integrada; b) Amplitude sísmica integrada; c) Magnitude integrada; d) Co-seno da fase integrado; e) Amplitude integrada; f) Polaridade aparente integrada. (Os atributos foram gerados com o programa Charisma da Schumberger).	45
Figura 22: Exemplo de um mapa não supervisionado com quatro diferentes fácies sísmicas obtido utilizando-se o programa Seisclass da Schumberger.	46
Figura 23: Exemplo de aplicação do SOM utilizando mapa com 91 (13x7) vetores protótipos, tendo como atributos de entrada as coordenadas de três gaussianas ligeiramente defasadas do espaço 3D.	48
Figura 24: Projeção dos atributos de entrada e dos vetores protótipos após o treinamento nas duas componentes principais dos vetores protótipos formados.	50
Figura 25: (a) Ilustra como é formada a matriz-U; (b) Matriz-U para o exemplo da figura 5.	51
Figura 26: Representação dos vetores protótipos no mapa SOM.	52
Figura 27: Abstração do processo de agrupamento do SOM.	53
Figura 28: (a) Modelo esquemático com as velocidades de propagação de cada camada; (b) Sinal sísmico sintetizado a partir do modelo de velocidades; (c) O mesmo sinal sísmico representado como uma imagem.	56
Figura 29: (a) Segmentação temporal do sinal sísmico; (b) Matriz-U; (c) Análise dos possíveis grupos formados pelo SOM via índice de Davies-Bouldin; (d) Mapa de fácies sísmicas gerado.	57
Figura 30: (a) Segmentação temporal do sinal sísmico; (b) Matriz-U; (c) Análise dos possíveis grupos formados pelo SOM via índice de Davies-Bouldin; (d) Mapa de fácies sísmicas gerado.	58
Figura 31: (a) Segmentação temporal do sinal sísmico; (b) Matriz-U; (c) Análise	

dos possíveis grupos formados pelo SOM via índice de Davies-Bouldin; (d)	
Mapa de fácies sísmicas gerado.	58
Figura 32: Interpolação das amplitudes instantâneas na região de interesse.	60
Figura 33: Análise de fácies utilizando dados reais.	60
Figura 34 Análise tempo – frequência através do espectrograma de um sinal de teste composto por quatro senóides concatenadas de frequências de 0,5 Hz, 0,250 Hz, 0,125 Hz e 0,0625 Hz respectivamente. (a) espectrograma utilizando janela de análise com 15 amostras; (b) com 31 amostras; (c) com 63 amostras e (d) com 127 amostras. (Auger et al., 1996).	63
Figura 35 Distribuição de Wigner-Ville de dois sinais modulados por uma gaussiana.	64
Figura 36 Distribuição de Wigner-Ville para um sinal modulado por duas gaussianas deslocadas no tempo.	64
Figura 37: Decomposição utilizando algoritmo “matching pursuit” de um sinal sísmico sintético, f , ilustrando as 09 principais projeções a_i do sinal nos respectivos átomos do dicionário, o traço reconstruído fr com uma aproximação de 90% do sinal original e o traço original.	70
Figura 38 O gráfico de barras indica a contribuição de energia de cada átomo em relação à energia total do sinal, enquanto o gráfico de linha indica a contribuição de energia acumulada pelos átomos mais importantes em relação à energia total do sinal.	70
Figura 39 Decomposição utilizando algoritmo “matching pursuit” de um sinal sísmico sintético, f , ilustrando as 08 principais projeções a_i do sinal nos respectivos átomos do dicionário, o traço reconstruído fr com uma aproximação de 90% do sinal original e o traço original.	71
Figura 40 O gráfico de barras indica a contribuição de energia de cada átomo em relação à energia total do sinal, enquanto o gráfico de linha indica a contribuição de energia acumulada pelos átomos mais importantes em relação à energia total do sinal.	71
Figura 41 Decomposição utilizando algoritmo “matching pursuit” de um sinal sísmico sintético, f , ilustrando as 09 principais projeções a_i do sinal nos respectivos átomos do dicionário, o traço reconstruído fr com uma aproximação de 90% do sinal original e o traço original.	72
Figura 42 O gráfico de barras indica a contribuição de energia de cada átomo em relação à energia total do sinal, enquanto o gráfico de linha indica a contribuição de energia acumulada pelos átomos mais importantes em	

relação à energia total do sinal.	72
Figura 43 Decomposição utilizando “matching pursuit” com 9 e 4 átomos e suas respectivas representações tempo – frequência.	73
Figura 44 Reconstrução dos traços sintéticos com três fácies diferentes usando o “matching pursuit” com os quatro átomos de Gabor mais significativos em verde.	74
Figura 45 Representações tempo – frequência obtidas através do algoritmo de “matching pursuit” de um traço sintético e o seu correspondente deslocado no tempo.	75
Figura 46 Interpretação sísmica utilizando a localização do átomo mais importante da decomposição	76
Figura 47: Análise de fácies sísmicas de dados sintéticos obtidos através de um interpretação ruidosa; (a) dado sísmico; (b) análise utilizando forma de onda como atributo; (c) análise utilizando atributos obtidos através da eq.(40) via “matching pursuit”.	79
Figura 48: Análise de fácies sísmicas de dados sintéticos obtidos através de um interpretação ruidosa; (a) dado sísmico; (b) análise utilizando forma de onda como atributo; (c) análise utilizando atributos obtidos através da eq.(39) via “matching pursuit”.	79
Figura 49: Análise de fácies sísmicas de um dado sísmico real utilizando o método proposto; (a) Matriz-U obtida com o método de agrupamento do SOM; (b) Análise dos grupos formados utilizando o algoritmo K-means; (c) Mapa de fácies sísmicas.	80
Figura 50: Análise de fácies sísmicas da base do reservatório de um dado sísmico real utilizando o método proposto; (a) Matriz-U obtida com o método de agrupamento do SOM; (b) Análise dos grupos formados utilizando o algoritmo K-means; (c) Mapa de fácies sísmicas.	81
Figura 51: Mapa de fácies sísmicas da base do reservatório do dado real utilizando o método proposto.	82
Figura 52: Análise de fácies sísmicas da base do reservatório de um dado sísmico real utilizando o método proposto; (a) Matriz-U obtida com o método de agrupamento do SOM; (b) Análise dos grupos formados utilizando o algoritmo K-means; (c) Mapa de fácies sísmicas.	82
Figura 53: Wavelet chapéu mexicano.	85
Figura 54: Wavelet Chapéu mexicano com diferentes escalas e deslocamentos.	86

- Figura 55: Espectro das respectivas wavelets da figura 54. 86
- Figura 56: Esquema para o cômputo da transformada wavelet contínua de um sinal representado pela linha em vermelho. Quando a wavelet hipotética está comprimida no tempo (a), os detalhes em alta frequência são realçados. Já quando a wavelet está dilatada no tempo (d), as informações em baixa frequência são enfatizadas. (Polikar, 2002). 87
- Figura 57: Transformada wavelet contínua de um sinal de teste. As cores próximas do vermelho representam valores positivos dos coeficientes da CWT, enquanto as cores próximas do azul representam valores negativos. 88
- Figura 58: (a) Sinal sísmico 2D gerado a partir de um modelo em cunha simulando o estreitamento de uma camada; (b) Sinal gerado a partir do empilhamento dos traços sísmicos do modelo em cunha; (c) Análise tempo – frequência via STFT do sinal em (b); Análise tempo - escala do mesmo sinal. 89
- Figura 59: Detecção de pontos de inflexão de uma função através da detecção de máximos ou cruzamentos com zero da transformada wavelet (Jaffard et al., 2001). 92
- Figura 60: Wavelet de Gauss gerada a partir da derivação da função de densidade gaussiana. 93
- Figura 61: (a) Sinal de teste; (b) CWT utilizando a wavelet obtida através da primeira derivada de uma gaussiana; (c) Máximos do módulo da CWT. 94
- Figura 62: Cone de influência da transformada wavelet para um ponto localizado no tempo em x_0 . 96
- Figura 63: (a) Evolução dos máximos do módulo da transformada wavelet ao longo da escala para a descontinuidade detectada na figura 61 em torno da amostra 600; (b) Obtenção do expoente de Lipschitz via WTMMML conforme a eq.(55). 97
- Figura 64: (a) Esquema do reticulado formado para a implementação da DWT; (b) esquema do reticulado formado para a transformada wavelet sem decimação. 98
- Figura 65: Função de suavização e wavelet spline quadrática (Mallat&Zhong, 1992). 99
- Figura 66: (a) Os coeficientes da decomposição diádica são obtidos via convolução em cascata com os filtros \bar{h}_j e \bar{g}_j dilatados por (2^{j-1}) zeros entre as amostras; (b) O sinal original pode ser reconstruído via

convoluções dos coeficientes com \tilde{h}_j e \tilde{g}_j . Um fator de $\frac{1}{2}$ deve ser utilizado (Mallat, 1998). 100

Figura 67: Detecção de singularidades de um sinal de teste utilizando as WTMMML geradas a partir da transformada wavelet sem decimação no tempo. 101

Figura 68: Evolução da WTMMMLA para as singularidades localizadas na amostra 200 do sinal de teste e detectadas na figura 67. 101

Figura 69: (a) Sinal sísmico sintético de um modelo de cunha; (b) (c) Coeficientes transformada wavelet sem decimação e os máximos do módulo da transformada wavelet WTMM em vermelho para os traços 06 e 10; (d) (e) WTMMML para os traços 06 e 10; (f) (g) WTMMMLA para os traços 06 e 10. 103

Figura 70 : Análise de fácies sísmicas de dados sintéticos obtidos através de um interpretação ruidosa; (a) dado sísmico; (b) análise utilizando forma de onda como atributo; (c) análise utilizando atributos obtidos via WTMMMLA. 104

Figura 71: Análise de fácies sísmicas do topo do reservatório de um dado sísmico real utilizando o método proposto; (a) Matriz-U obtida com o método de agrupamento do SOM; (b) Análise dos grupos formados utilizando o algoritmo K-means; (c) Mapa de fácies sísmicas. 105

Figura 72: Análise de fácies sísmicas da base de um reservatório de um dado sísmico real utilizando o método proposto; (a) Matriz-U obtida com o método de agrupamento do SOM; (b) Análise dos grupos formados utilizando o algoritmo K-means; (c) Mapa de fácies sísmicas. 106

Lista de tabelas

Tabela 1: Coeficientes do filtro biortogonal de Mallat&Zhong (Mallat&Zhong, 1992). 100

“E não ter a vergonha de ser um eterno aprendiz”
Gonzaguinha