# Quando "menos é mais": Explorando a Esparsidade em Processamento de Sinais Geofísicos

João M. T. Romano, Leonardo T. Duarte, Renato R. Lopes e Martin Tygel

*entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem*
(as entidades não devem ser multiplicadas além da necessidade)
**Lex Parsimoniae** (Lei da Parcimônia) ou **Navalha de Occam**

## I. Resumo

A frase entre aspas que inspira o título deste trabalho é atribuída ao arquiteto Ludwig Mies van der Rohe, considerado um dos grandes nomes do estilo dito minimalista. O minimalismo se refere a uma série de movimentos que percorreram diversos momentos do século XX e preocuparam-se em fazer uso de poucos elementos fundamentais como base de expressão. A partir deste conceito pode-se dizer, por analogia, que a "escola minimalista" em processamento de sinais aflorou nesta última década, com o desenvolvimento de um grande número de trabalhos que explora o fato de diversas categorias de sinais apresentarem um comportamento dito esparso, em alguma base de representação. Por sinal esparso, limitando-se aqui ao caso discreto, entende-se uma sequência numérica na qual uma significativa maioria das amostras é nula, podendo o suporte ser temporal, frequencial, espacial, etc.

Parece inegável que grande parte dos esforços recentes de pesquisa em processamento de sinais esparsos se deve ao advento da teoria de Compressive Sensing (CS), cujos trabalhos seminais são atribuídos, sobretudo, a Candès e Donoho (vide, por exemplo [1] e [2]). No entanto, a variedade de áreas em que se pode explorar com sucesso a propriedade de esparsidade dos sinais envolvidos é ampla, e ultrapassa largamente os problemas mais diretamente ligados à aquisição e/ou à compressão da informação [3]. Dentre essas áreas inclui-se o processamento de sinais geofísicos, objeto de interesse da presente apresentação.

Neste ponto, cabe ressaltar que diversas técnicas de grande impacto na comunidade de processamento de sinais emergiram de pesquisas relacionadas à geofísica. Dentre elas pode-se citar o método de Pisarenko para análise espectral e a ideia de desconvolução preditiva proposta por Robinson (vide, por exemplo, as notas históricas em [4]). Se, nas últimas décadas, o contato entre as duas comunidades científicas perdeu parte de sua vitalidade, percebe-se recentemente uma renovação de diversos interesses comuns (vide, por exemplo, a referência [5] e demais trabalhos publicados no mesmo número especial).

Curiosamente, os estudos em sismologia tem também um papel pioneiro no tocante à exploração da esparsidade. De fato, dois importantes trabalhos da década de 70 [6], [7] propuseram o uso da norma $L_1$ como critério associado à recuperação da propriedade de esparsidade, para estimar a função conhecida como refletividade e, assim, obter as informações desejadas sobre as transições significativas entre camadas da subsuperfície.

No presente trabalho, fazemos um estudo um pouco mais genérico do potencial de exploração da esparsidade em processamento sísmico. Procuramos enfatizar o aspecto tutorial, de modo a evidenciar a sinergia entre os métodos empregados em problemas de telecomunicações e de sismologia, que podem receber uma modelagem semelhante. Além disso, ilustraremos os trabalhos com resultados recentes de pesquisa obtidos por nosso grupo em diferentes problemas, tais como:

- Desconvolução sísmica: Trata-se de um problema inverso cuja finalidade é estimar a refletividade a partir do traço sísmico obtido. Propomos e comparamos critérios baseados em filtragem $L_p$, com $p < 2$, para desconvolução em casos de sinais com distribuições super-gaussianas, características de comportamento esparso, como é o caso da refletividade.
- Atenuação de múltiplas: Em processamento sísmico, as reflexões múltiplas de curto e longo período mascaram as reflexões de interesse, ditas primárias, prejudicando a qualidade final das imagens sísmicas geradas. Baseando-se no fato de que as reflexões primárias são mais esparsas, propomos métodos para separá-las das múltiplas, atenuando assim seu efeito no processamento.
- Separação de reflexões e difrações: Também neste caso, utilizamos como fator de discriminação o fato dos sinais possuírem níveis distintos de esparsidade. Para isso, empregamos o método do PCA robusto, cujo princípio está em decompor os dados na soma de uma matriz de posto reduzido com uma matriz esparsa.

João M. T. Romano, Renato R. Lopes, DSPCom - Laboratório de Processamento de Sinais para Comunicações, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, E-mails: romano@dmo.fee.unicamp.br, rlopes@decom.fee.unicamp.br.

Leonardo T. Duarte, DSPCom - Laboratório de Processamento de Sinais para Comunicações, e Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Limeira-SP, E-mail: leonardo.duarte@fca.unicamp.br.

Martin Tygel, LGC - Laboratório de Geofísica Computacional, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica (IMECC), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, Email: tygel@ime.unicamp.br.

## Referências

[1] E. Candès, J. Romberg, e T. Tao, "Robust uncertainty principles: Exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information," *IEEE Trans. Information Theory*, v. 52, no. 2, pp. 489–509, 1999.

[2] D. Donoho, "Compressed sensing," *IEEE Trans. Information Theory*, v. 52, no. 4, pp. 1289–1306 , 2006.

[3] F. Marvasti, A. Amini, F. Haddadi, M. Soltanolkotabi, B. Khalaj, A. Aldroubi, S. Sanei and J. Chambers, "A unified approach to sparse signal processing," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, doi:10.1186/1687-6180-2012-44, 2012.

[4] J. M. T. Romano, R. R. de F. Attux, C. C. Cavalcante e R. Suyama, *Unsupervised Signal Processing: Channel Equalization and Source Separation*. CRC Press, 2010.
[5] A. K. Takahata, E. Z. Nadalin, R. Ferrari, L. T. Duarte, R. Suyama, R. R. Lopes, J. M. T. Romano e M. Tygel, "Unsupervised Processing of Geophysical Signals," *IEEE Signal Processing Magazine*, v. 29, pp. 27–35, 2012.
[6] J. F. Claerbout e F. Muir, "Robust modeling with erratic data," *Geophysics*, v. 38, no. 5, pp. 826–844, 1973.
[7] H. L. Taylor, S.C. Banks and J.F. McCoy, "Deconvolution with the L1 Norm," *Geophysics*, v. 44, no. 1, pp. 39–52, 1979.