

Empirical Mode Decomposition (EMD) - Método Tempo-Frequência e suas Aplicações em Processamento de Sinais Acústicos

Leonardo Augusto Zão e Rosângela Fernandes Coelho
 Laboratório de Processamento de Sinais Acústicos
 Instituto Militar de Engenharia (IME)
 lasp.ime.eb

Resumo

O método tempo-frequência EMD foi proposto para decomposição de sinais não-lineares e **não-estacionários** no domínio do tempo. Neste método a análise do sinal é realizada localmente entre dois extremos consecutivos. A oscilação entre estes extremos, possibilita a identificação das componentes de alta-frequência. O sinal residual define as componentes de baixa-frequência. Este trabalho apresenta um estudo de distintas aplicações do EMD em processamento de sinais acústicos: pseudo-filtragem, realce de sinais, separação de sinais.

Definições

O método EMD: Considere um sinal $x(t)$ com dois máximos locais consecutivos em t_- e t_+ . Então, define-se uma componente local de detalhes $d(t)$ como a oscilação que passa por estes máximos e pelo mínimo entre eles. A componente de tendência local $m(t)$ é então identificada de forma que $x(t) = d(t) + m(t)$. A aplicação do método sobre todo um sinal $x(t)$ resulta em um conjunto de funções empíricas de modo (IMF - *intrinsic mode functions*) e um resíduo, de modo que

$$x(t) = \sum_{k=1}^N IMF_k(t) + r(t).$$

Análise Tempo-Frequência: A análise espectral de Fourier é insuficiente para representar fenômenos físicos com características transientes ou não-estacionárias. Isto porque a análise de Fourier, por definição, perde a referência temporal de tais fenômenos.

Objetivo: Fazer a análise ou processamento do sinal no domínio do tempo relacionando ou descrevendo sua tendência na frequência.

Aplicações: representações de sinais, processamento de sinais não-lineares e não-estacionários, separação de sinais, pseudo-filtragem, realce de sinais de voz.

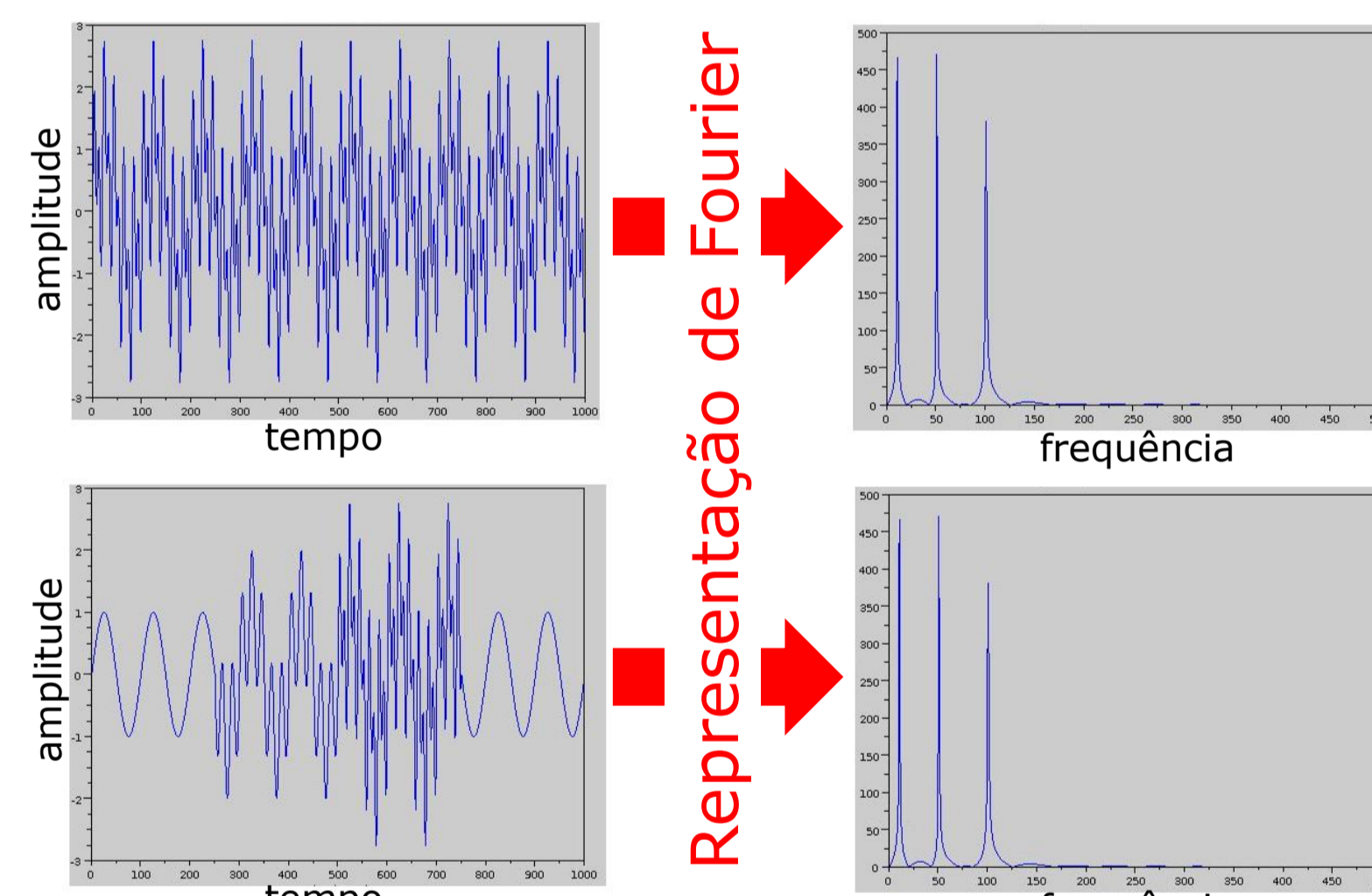


Fig. 1: Sinais distintos com a mesma representação de Fourier.

O Método EMD

O algoritmo do método EMD é implementado através de sucessivas iterações (*sifting*):

1. Identificar todos os extremos (máximos e mínimos locais) de $x(t)$;
2. Obter as envoltórias $e_{max}(t)$ e $e_{min}(t)$, utilizando interpolação nos pontos de máximo e mínimo, respectivamente.
3. Calcular a componente de tendências como $m(t) = (e_{min}(t) + e_{max}(t))/2$;
4. Extrair os detalhes: $d(t) = x(t) - m(t)$;
5. Repetir a iteração sobre o sinal residual $m(t)$.

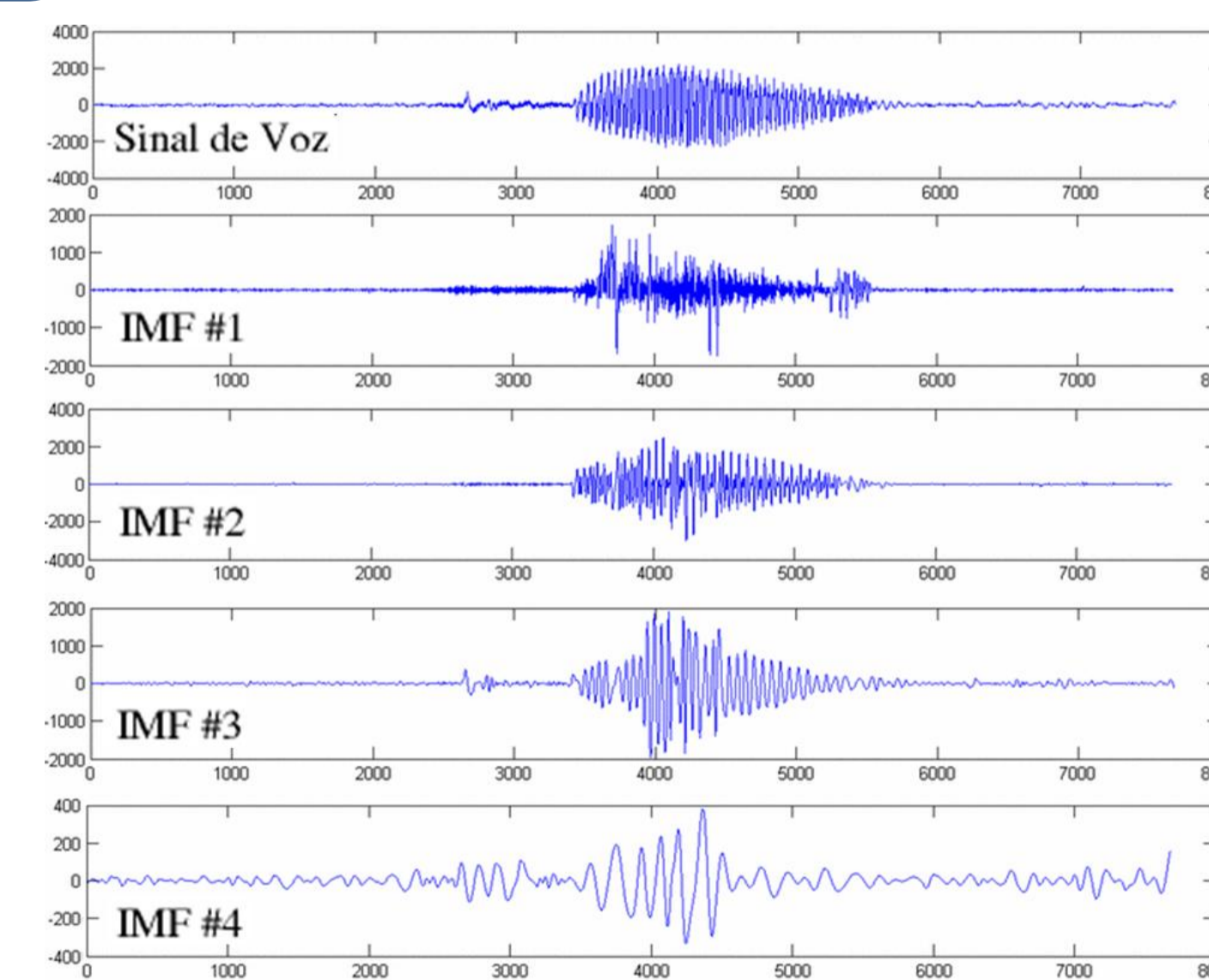


Fig. 2: Exemplo de decomposição de um sinal de voz.

Aplicações

□ Separação de Sinais

O método EMD permite a separação de sinais com componentes em tempo-frequência distintos. No exemplo da Fig. 1, o método EMD é utilizado para separar duas componentes AM-FM que compunham um mesmo sinal.

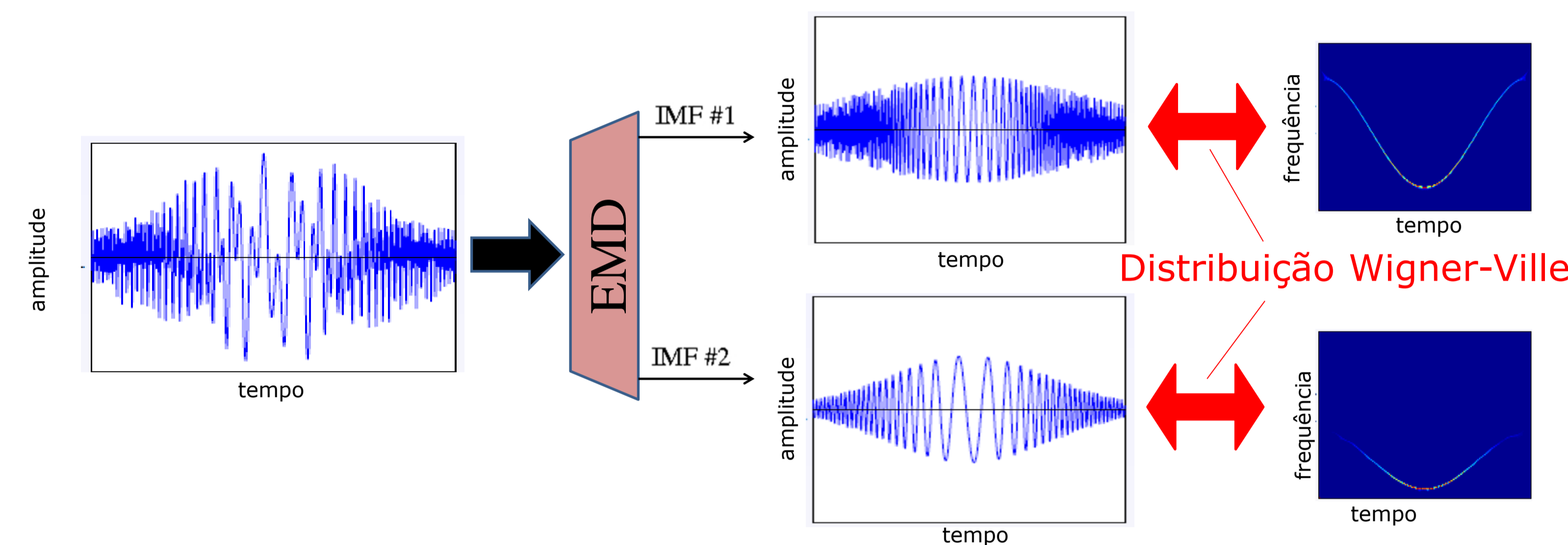


Fig. 3: Exemplo de utilização do método EMD na separação de dois sinais.

□ Pseudo-Filtragem

Quando aplicado sobre sinais fGn (*fractional Gaussian noise*), o método EMD decompõe o sinal em IMFs cujas componentes espectrais são equivalentes às saídas obtidas por um banco de filtros diádicos. A pseudo-filtragem de sinais com estas características pode ser obtida eliminando-se uma ou mais de suas IMFs.

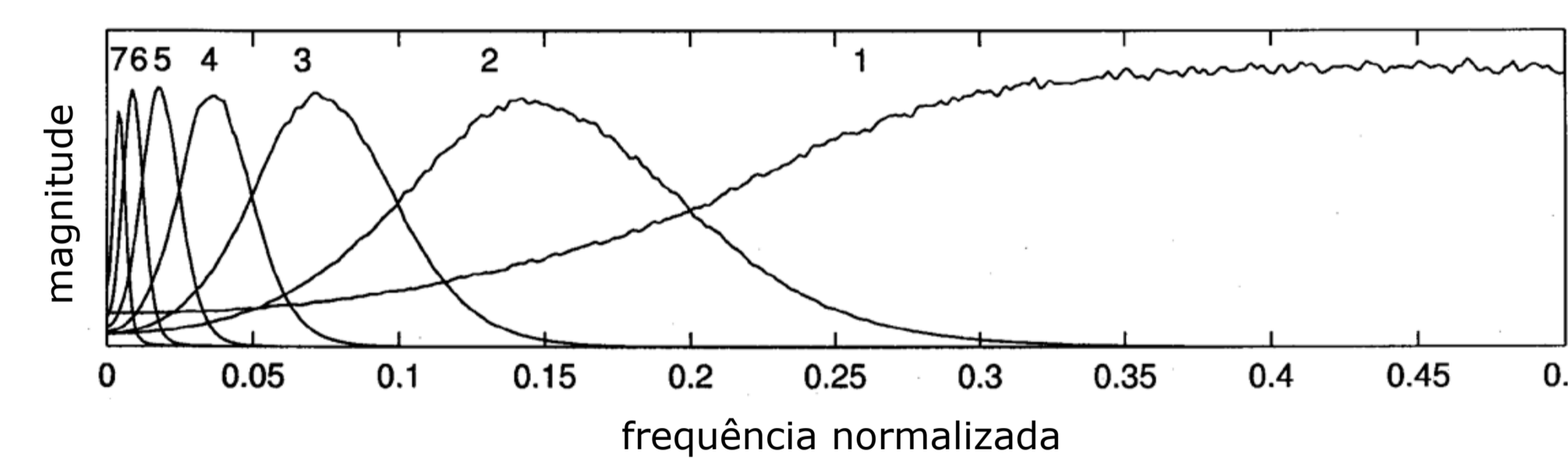


Fig. 4: Componentes em frequência das IMFs obtidas de sinais fGn.

□ Realce de Sinais de Voz

Após a decomposição do sinal de voz ruidoso, identifica-se quais IMFs que contêm mais componentes ruidosas. Geralmente, estas se localizam nas baixas frequências. As componentes restantes são utilizadas na reconstrução do sinal de voz. **Principal vantagem:** pode ser aplicada sobre sinais corrompidos por ruídos não estacionários!!!

Principais técnicas de realce de sinais de voz:

- **EMD-DT** (EMD-based detrending);
- **EMDH** (EMD and Hurst-based speech intelligibility improvement).
- **EMDF** (EMD-based filtering);
- **EMD-OG** (EMD with Optimum Gain).

Resultados

Resultados de incrementos de SegSNR obtidos com um subconjunto de 240 sinais de voz (base TIMIT). A técnica **EMDH** foi proposta para aumentar a inteligibilidade de sinais de voz em situações de ruídos não-estacionários. O expoente de **Hurst** é utilizado na identificação das IMFs mais afetadas pelo ruído.

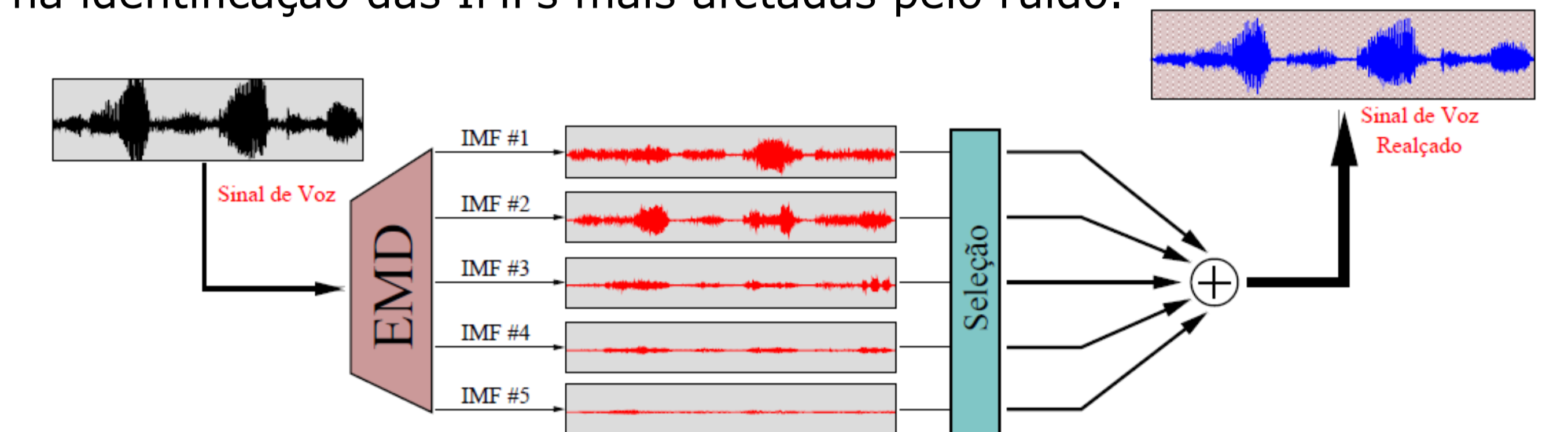


Fig. 5: Exemplo de realce de sinais de voz com a técnica EMDH.

Outras técnicas de realce:

- **SS:** subtração espectral;
- **EMD-DT:** seleção pelas médias normalizadas das IMFs;
- **EMDF:** seleção pelas variâncias das IMFs.

Ruído	SS	EMD-DT	EMDH	EMDF
Balbúrdia	1,7	1,4	2,0	1,5
Fábrica	2,5	2,6	4,1	3,8
Helicóptero	2,4	1,7	2,8	2,5
Trem	1,4	1,7	2,4	2,0

Tab. 1: Incrementos médios de SegSNR (em dB) obtidos com técnicas de realce.

Desafios

- Não há **formulação teórica** geral para o método EMD.
- Necessidade de melhor forma de identificar as **componentes de ruído** no realce de sinais de voz.
- Existe a necessidade de aprimoramento do **custo computacional** do algoritmo EMD.
- Os métodos **EEMD** (*Ensemble EMD*) e **CEEMDAN** (*Complete EEMD with Adaptive Noise*) foram propostos para reduzir o efeito de **interferência entre modos** (*mode mixing*). Contudo, o **custo computacional** fica ainda mais elevado.

Referências Destaque

- N. Huang, et al, "The Empirical Mode Decomposition and Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non-Stationary Time Series Analysis", *Proceedings of the Royal Society*, vol. 454, no. 1971, pp. 903-995, 1998.
- P. Flandrin, G. Rilling e P. Gonçalves, "Empirical Mode Decomposition as a Filter Bank", *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 11, no. 2, pp. 112-114, 2004.
- P. Flandrin, P. Gonçalves e G. Rilling, "Detrending and Denoising with Empirical Mode Decomposition", *Proc. of the Eur. Sig. Proc. Conf. (EUSIPCO 2004)*, pp. 1581-1584, 2004.
- Z. Wu e N. Huang, "Ensemble Empirical Mode Decomposition: a Noise-assisted Data Analysis Method", *Advances in Adaptive Data Analysis*, vol. 1, no. 1, pp. 1-41, 2009.
- T. Hasan e Md. Hasan, "Suppression of Residual Noise From Speech Signals using Empirical Mode Decomposition", *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 16, no. 1, pp. 2-5, 2009.
- N. Chatlani e J. Soraghan, "EMD-based Filtering (EMDF) of Low-Frequency Noise for Speech Enhancement", *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, vol. 20, no. 4, pp. 1158-1166, 2012.
- L. Zão, R. Coelho e P. Flandrin, "Speech Intelligibility Enhancement with EMD and Hurst-based Mode Selection", *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 2013 (submetido).