

## ANÁLISE DAS VAZÕES DO RIO SÃO FRANCISCO COM O FILTRO HODRICK-PRESCOTT

Igor Madson Fernandes dos Santos<sup>1</sup>, Bruno dos Santos Guimarães<sup>1</sup>, Renato Vieira Costa<sup>1</sup>, Luiz Carlos Baldicero Molion<sup>2</sup> e João Rafael Luz

<sup>1</sup>Aluno bolsista PIBIC/UFAL do curso de Graduação em meteorologia - ICAT/UFAL, Maceió AL,  
<sup>2</sup>Prof<sup>o</sup> PhD, Titular do Instituto de Ciências Atmosférica - ICAT/UFAL, Maceió - AL.

**RESUMO:** Uma série temporal de índices padronizados foi criada com dados médios mensais de vazão do rio São Francisco no Município de Pão de Açúcar no período de 1931 a 2012 e analisada com um método estatístico, denominado “Filtro de Hodrick-Prescott”, que gera duas novas séries a partir da série original, uma da tendência e outra cíclica/aleatória. Em seguida, as três séries, índice de vazão, tendência e cíclica, foram analisadas com o método das Ondeletas de Morlet, para se detectar possíveis ciclos existentes nas três séries. Pôde-se observar que, a partir dos anos 1980, a vazão em Pão de açúcar ficou abaixo da média de longo termo exceto nos anos de 1992 e 2007. Os resultados da análise das Ondeletas da série dos índices de vazão sugeriram a existência de três ciclos dominantes, ciclos anual, 18 anos e 30 anos aproximadamente, com significância estatística superior a 95%. O ciclo de 18 anos pode estar associado ao ciclo nodal lunar e, o de 30 anos, à ODP.

**Palavras Chave:** Filtro Hodrick-Prescott, vazão, Rio S. Francisco

**ABSTRACT:** A time series of standardized monthly data of S. Francisco river discharge, measured in Pão de Açúcar County in the 1931-2012 period, was derived and analyzed with a statistical method known as Hodrick-Prescott Filter, that generates two time series after the original series, one for the tendency component and other for the cyclic/random component. These three time series, the standardized, tendency and cyclic/random series, were submitted to Morlet Wavelet analysis, to detect possible cycles existent in the time series. It was evident that the river discharge in Pão de Açúcar became below the long term average after the beginning of the 1980's, except for two years, 1992 and 2007. The results of the Wavelet analysis suggested the possible existence of three main cycles, the annual, 18 year and 30 year cycles, above the 95% statistical significance level. The 18 year cycle may be associated with the lunar nodal cycle and the 30 year one to the PDO.

**Key words:** Hodrick-Prescott Filter, discharge, S. Francisco river

## INTRODUÇÃO

A bacia do rio São Francisco possui uma área de aproximadamente 640.000 km<sup>2</sup>, tendo o rio principal uma extensão 2700 km entre a cabeceira na Serra da Canastra, Estado de Minas Gerais e sua foz no Oceano Atlântico, entre os Estados de Alagoas e Sergipe. Nos últimos 30 anos, as áreas irrigadas do semiárido aumentaram em tamanho expressivamente. Além da agricultura em suas margens, o rio é importante para produção de energia elétrica, tendo cerca de 11 mil MW de potência instalados. Salienta-se ainda, que o rio São Francisco possui uma importância histórica e cultural muito grande com as populações ribeirinhas e uma fonte de renda e meio de transporte utilizada desde o período colônia

Cavalcante et al (2002) afirmaram que a vazão do rio São Francisco está diretamente condicionada ao regime pluviométrico de seu alto e médio curso, onde estão localizados seus maiores afluentes. Vários autores demonstraram que a maior influência no regime das suas vazões, está associada aos fenômenos El Niño e La Niña, fenômeno repetitivo que ocorre em períodos de três a sete anos e que afetam todo o planeta. A vazão, ainda, sofreu interferência da ação humana com a construção do Lago de Sobradinho que, segundo Molion (2003), perde cerca de 450 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> por evaporação.

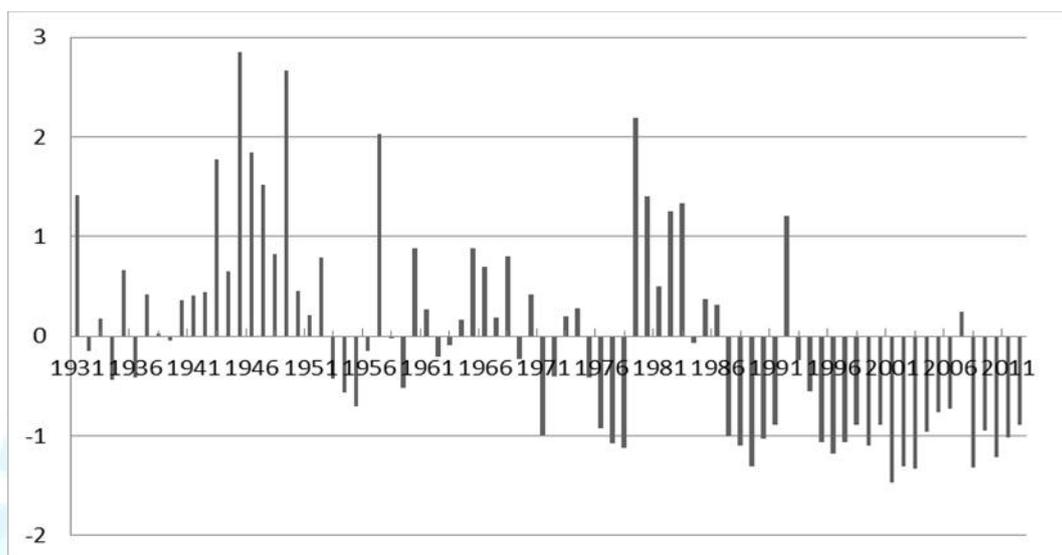
O objetivo deste trabalho foi detectar possíveis periodicidades na série histórica de vazão do rio São Francisco medidas em Pão de Açúcar.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizaram-se dados de vazão média mensais do rio São Francisco, estação de Pão de Açúcar (09° 45'S; 37° 26'W), durante o período de 1931-2012, extraídos do site Hidroweb, mantido pela Agência nacional de Águas (ANA). Essa série foi tratada com um método estatístico denominado “filtro Hodrick-Prescott” (ver, e.g. Siqueira e Molion, 2012), que produz duas séries temporais, a componente da tendência (baixa frequência) e a componente cíclica/aleatória (alta frequência). O parâmetro penalizador (  $\lambda$  ) do filtro HP adotado foi igual a 192.600, considerado o melhor valor para dados mensais. As duas componentes geradas a partir do filtro Hodrick-Prescott (HP) foram analisadas com o método das Ondeletas de Morlet para identificar possíveis periodicidades existentes nas séries.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

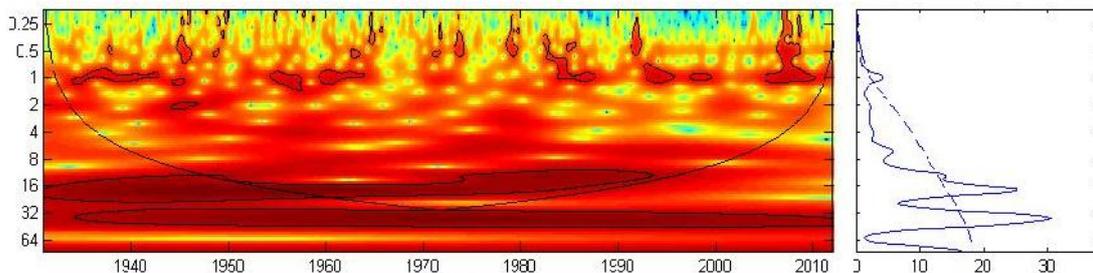
Na Figura 1 mostra-se a série histórica original da vazão em Pão de Açúcar entre 1931-2012 já padronizada. Nota-se a existência de períodos com vazões elevadas, como entre 1940 e 1952, seguidas, no geral, de vazões reduzidas no início dos anos 1980, coincidentemente após a implantação dos lagos de Sobradinho e Itaparica. A exceção foram dois anos 1992 e 2007 que foram anos de eventos El Niño, de acordo com o Climate Prediction Center (CPC/NOAA).



**Figura 1:** Vazão média padronizada do Rio S. Francisco em Pão de Açúcar entre 1931-2012.

Nas Figuras 2, 3 e 4, mostraram-se os resultados das análises das Ondeletas para as séries de vazão padronizada, tendência e parte cíclica/aleatória, essas duas últimas geradas com aplicação do Filtro HP, com o Espectro de Potência (EPO) à direita e o Espectro Global (EGO) à esquerda.

No EPO, as áreas em azul a vermelho, dentro das curvas fechadas, são as variâncias normalizadas variando de 0 a 5 unidades com o intervalo de contorno de 0,5. Os contornos fechados realçados são significativos ao nível de confiança superior a 95% e a curva tracejada, em forma parecida à letra “U” alongado, representa o cone de influência, sob o qual o efeito de borda se faz importante. No EGO, os picos, que ultrapassam a curva negra tracejada à direita, indicam as periodicidades do sinal, ou ciclos aparentes nas séries, possivelmente associados a fenômenos com ciclos naturais conhecidos de alta frequência, como El Niño- Oscilação Sul (ENOS), e de baixa frequência, como Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).

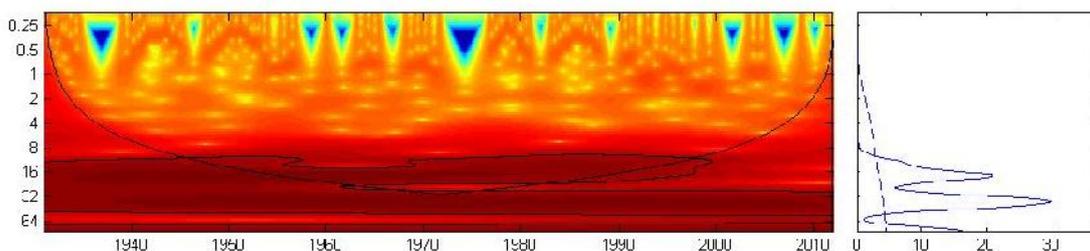


**Figura 2:** Análise das Ondeletas aplicada à série do índice de vazão em Pão de Açúcar, com respectivos Espectros de Potência (EPO, esquerda) e Espectro Global (EGO, direita).

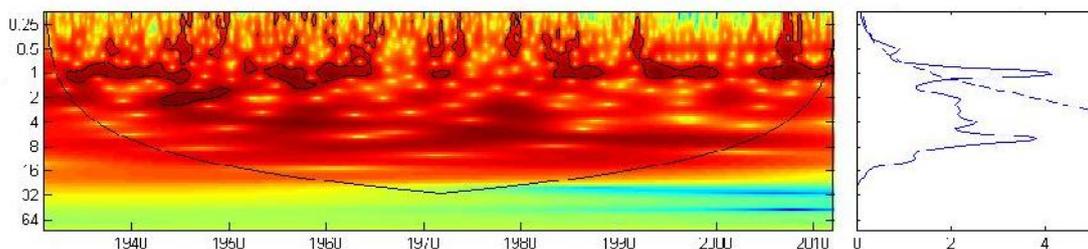
No EPO da vazão (Figura 2), notaram-se núcleos significativos que apresentaram alta energia nos intervalos dos períodos de aproximadamente 30 anos, 18 anos e no ciclo anual. No EGO, observaram-se picos dominantes que apresentaram grande variância.

Os períodos de 18 e 30 anos poderiam estar relacionados com o Ciclo Nodal Lunar e ODP, respectivamente. Entretanto, analisando a Figura 1, parece não existir relação entre a vazão e a ODP, já que não foi encontrado um padrão de vazão para a fase fria (1947-1976) e outro para a fase quente (1977-1998). No período de 1940 a 1952, a vazão apresentou valores acima da média de longo termo (MLT). A vazão apresentou valores em torno da MLT, menor que um desvio-padrão, entre 1962 e 1978 e, a partir de 1987, de maneira geral, ficou abaixo da MLT. Uma possível explicação para a diminuição na vazão com relação a MLT nos últimos anos, seria a existência dos lagos de Sobradinho e Itaparica, à montante de Pão de Açúcar.

Na Figura 3, mostra os resultados da análise de Ondeletas da componente da tendência da série de vazões que foi semelhante à Figura 2, porém sem os ciclos de alta frequência que foram filtrados. Novamente, os ciclos de 18 e 30 anos foram aparentes. Já, os resultados da análise da componente cíclica/aleatória (Figura 4) mostraram o ciclo anual, com nível de significância estatística superior a 95% e um ciclo de cerca de 4 anos, não significativo, possivelmente associado aos eventos ENOS.



**Figura 3:** Idem à Figura 2, porém para a série da componente da tendência.



**Figura 4:** Idem à Figura 2, porém para série da componente cíclica/aleatória.

## CONCLUSÕES

A partir do início dos anos 1980, a vazão em Pão de Açúcar passou a ficar abaixo da média de longo termo, possivelmente por causa da perda por evaporação dos lagos de Sobradinho e Itaparica. A exceção ficou por conta dos anos em que ocorreram eventos El Niño, 1992 e 2007. Para a série da tendência, as análises do filtro Hodrick-Prescott, seguida pela de Ondeletas, mostraram ciclos aparentes de 18 anos, possivelmente associado ao Ciclo Nodal Lunar, e o ciclo de 30 anos, associado à ODP. Porém, esses ciclos podem ser espúrios, pois não são aparentes na série original padronizada. Na série de frequências altas, além do ciclo anual, foi encontrado um ciclo de 4 anos aproximadamente, porém sem significância estatística. Esse ciclo pode estar associado ao El Niño. O fato curioso é que as séries apresentaram tais ciclos, mesmo após terem sofrido forte influência dos reservatórios mencionados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAVALCANTE, G. H. S.; OLIVEIRA, A. M.; ARAÚJO, A. E. M.; Amorim, R. C. F., INFLUÊNCIA DO REGIME PLUVIOMÉTRICO DO ALTO E MÉDIO SÃO FRANCISCO SOBRE A VAZÃO DO BAIXO SÃO FRANCISCO. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002;
- MOLION, L. C. B., Águas do Tocantins para o São Francisco. Revista Ciência Hoje, v.33 (197) p.58-61, 2003;
- SIQUEIRA, A. H. B. ; MOLION, L. C. B. . Utilização do Filtro Hodrick-Prescott nas análises de dados climáticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 11, p. 25-41, 2012;