

## ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO CICLO NODAL LUNAR NA VARIABILIDADE CLIMATOLÓGICA

Pereira, Diego Narciso Buarque  
diegonarcisobuarque@gmail.com

Vecchia, Francisco Arthur da Silva  
fvecchia@sc.usp.br

### Resumo

A precipitação, enquanto elemento do sistema climático, está em função de fatores internos e forçantes extraterrestres. Dentre estas, a força da gravidade da lua tem papel significativo como motor das marés oceânicas e sua influência na distribuição da massa e energia em escala global. Evidências mostram um aparente ciclo bidecadal em parâmetros oceanográficos e variáveis atmosféricas em diversas regiões da terra, sendo o Ciclo Nodal Lunar de 18,6 anos apontado como potencial modulador desses fenômenos climatológicos. Motivado por essas evidências, o objetivo deste estudo é investigar a potencial influência do Ciclo Nodal Lunar na variabilidade da precipitação registrada nas regiões sudeste e sul do Brasil. A partir do levantamento de dados históricos de precipitação na área em estudo e visualização através do Índice Padronizado de Precipitação, será utilizada uma metodologia de suavização de séries temporais e, para investigar a periodicidade nas séries de precipitação, foi utilizada a análise espectral de Fourier. Os resultados mostram uma significativa periodicidade de aproximadamente 9 e 20 anos nas duas séries de precipitação estudadas, sendo o ciclo nodal um dos possíveis responsáveis. Esse resultado é importante para uma gestão sustentável e planejamento dos recursos hídricos a longo prazo.

**Palavras-Chave:** Variabilidade Climática; Ciclo Nodal Lunar de 18,6 Anos; Variabilidade da Precipitação; Análise de Frequência.

## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF NODAL LUNAR CYCLE IN THE CLIMATOLOGICAL VARIABILITY

### Abstract

The precipitation, as part of the climate system, this as a function of internal factors and external forcing. Among these, the lunar gravity force has a significant role as a driver of oceanic tides e influence in the mass and energy distribution on global escale. Evidences show an apparent bidecadal cycle in the oceanographic parameters and atmospheric variables in several regions, being the 18.6 year-Lunar Nodal Cycle touted as potential modulator of these climatological phenomena. Motivated by these influences, the aim of this study is to investigate the potential influence of the Lunar Nodal Cycle in the precipitation variability records in the southeast of Brazil. From the survey of precipitation historical data in the study area and visualization though Standardized Precipitation Index, will be used a temporal series smooth methodology and, to investigate periodicities in the series, was used the spectral analyses Fourier Transform. The results show a significant frequency of approximately 9 to 20 years in two series of precipitation studied and the nodal lunar cycle as one possible responsible. This result is important for the sustainable management and planning of long-term water resources.

**KEY-WORDS:** Climate Variability; 18.6-Years Lunar Nodal Cycle; Climate Dynamics; Precipitation Variability; Frequency Analysis.

## INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas enfrentados pelo homem diz respeito a distribuição espacial e temporal das precipitações, pois a água é o elemento indispensável para as atividades humanas, e a sua falta ou excesso podem causar grandes transtornos às populações.

Uma vez que a precipitação é considerada como o dado de entrada do ciclo hidrológico, o estudo de sua distribuição espaço-temporal tem extrema importância, sendo o conhecimento dos padrões de precipitação em determinada região uma ferramenta facilitadora no gerenciamento das atividades humanas, podendo ser utilizado, por exemplo, para: planejamento na agricultura (índices climáticos podem ser usados para o manejo da irrigação e ser correlacionado com o conteúdo de matéria orgânica do solo) e na pecuária; planejamento do projeto e operação de obras de abastecimento de água e/ou geração de energia; potencializar a previsão de anomalias de chuva e antecipar períodos de maior ou menor ocorrência; entre outros.

O processo de evaporação, condensação, e precipitação são essencialmente fenômenos climáticos; a função desses processos no ciclo da água seria de processo simples se não fosse a constante movimentação do oceano-atmosfera. Assim, o padrão de circulação atmosférica tem uma influência sobre as manifestações regionais do ciclo hidrológico (Critchfield, 1966). Existem correntes oceânicas que movem maciças quantidades de água ao redor do mundo, esses movimentos têm grandes influências no ciclo hidrológico e no clima. Assim surge o importante papel do ciclo hidrológico no sistema climático natural.

Com relação ao regime hidrológico no Brasil, muito se tem discutido a respeito de uma situação de seca extrema ou falta de chuvas principalmente na região sudeste, porém pouco de tem procurando entender a variabilidade climatológica dos processos dinâmicos de interação atmosfera-oceano e suas forças externas.

De acordo com Conti (2000) a maioria dos fatores responsáveis pelos processos de mudanças climáticas são de ordem natural, relacionados com parâmetros orbitais da terra, a frequência de rotação, a intensidade de radiação solar, a quantidade de poeira atmosférica, destacando-se, também, o decréscimo de salinidade do Atlântico Norte, as alterações oceânicas e a complexidade do sistema interativo Terra-Oceano-Atmosfera.

Os fatores externos podem ser agrupados em: (a) fatores gerais como a radiação solar, a esfericidade da Terra, a movimentação da Terra ao redor do Sol e sua rotação, a atração gravitacional da Lua, a existência de continentes e oceanos; e (b) fatores regionais e locais, como a distância do mar, topografia, natureza da camada superficial e sua vegetação, proximidade de lagos. Fatores internos tratam de propriedades intrínsecas da atmosfera, como a composição e várias instabilidades, e a circulação geral atmosférica (PEIXOTO; OOR, 1991).

Dentre os fatores iniciais do clima e externos a Terra, podemos citar o Ciclo Nodal Lunar de 18,6 anos ou precessão da órbita lunar. A Lua tem seu eixo de rotação inclinado em  $5,1^\circ$  com relação ao plano da eclíptica (plano em que se encontram o Sol e os planetas) e o da Terra é  $23,5^\circ$ . Quando os dois eixos apontam em direções opostas, eles fazem um ângulo de  $28,6^\circ$  ( $23,5^\circ + 5,1^\circ$ ) e a Lua, relativamente à superfície terrestre, se desloca na faixa entre

28,6° N e 28,6° S de latitude. Quando os eixos estão na mesma direção, a área varrida está entre 18,4°N e 18,4°S (23,5° - 5,1°).

A inclinação da órbita da lua em relação ao plano do equador varia entre 18,4° e 28,6° em um período de 18,61 anos. Isso da origem a chamadas “marés oceânicas nodais”, com um período de 18,6 anos, ou seja, quase-bidecadal, e uma amplitude de equilíbrio de mais de 12 mm (LISITZIN, 1974).

Quando está atuando fora dos trópicos (declinação entre 23,5° e 28,6° de latitude), o componente da força gravitacional lunar é maior na direção equador-polo e acelera as correntes marinhas, particularmente a do Golfo (América do Norte) e a de Kuroshio (Japão), transportando mais calor da região tropical para as latitudes mais elevadas. Isso faz com que as águas do Pacífico Norte e do Atlântico Norte fiquem mais aquecidas que o normal e torne o clima dos países banhados por elas, como a costa oriental da Ásia, América do Norte, Europa Ocidental, Inglaterra e Escandinávia, mais ameno e úmido (MOLION, 2016)

Ainda segundo Molion (2016) quando o plano da órbita lunar se situa dentro da região tropical (declinação entre 18,4° e 23,5°) durante cerca de 9 anos, o componente de sua força gravitacional é maior na direção Leste-Oeste. A exportação de calor para fora dos trópicos é reduzida, mais calor é retido e redistribuído zonalmente dentro dos trópicos. Possivelmente estando associado ao fenômeno global El Niño Oscilação Sul (ENSO – El Niño South Oscillation).

Uma variabilidade climática bidecadal pode ter um substancial impacto socioeconômico numa específica região onde a oscilação é significativamente observada.

Dado as características agroindustriais do Brasil de produtor de alimentos e considerando a necessidade de disponibilidade de água a ser usada na irrigação, geração de energia e consumo humano, o estudo da precipitação é um fator de extrema importância. Assim, o conhecimento de suas forçantes e a busca por um entendimento de um ciclo de precipitação decadal aparecem como uma ferramenta imprescindível para uma satisfatória gestão dos recursos hídricos.

No Brasil, quando comparado com outras regiões do continente sul-americano, as regiões sul e sudeste apresentam um considerável número de estações pluviométricas com séries temporais meteorológicas capazes de adicionar informações extremamente relevantes ao tema de variabilidade climática.

A fim de investigar a potencial influência do Ciclo Nodal Lunar de 18,6 anos na circulação geral da atmosfera e conseqüentemente formação de nuvens e precipitação na região sudeste do Brasil, espera-se que esse estudo possa contribuir com o melhor conhecimento da dinâmica em larga escala temporal das séries históricas utilizadas, proporcionando informações importantes para a redução da vulnerabilidade hídrica em relação as adversidades meteorológicas inerentes ao clima.

Objetivamente, foram selecionadas duas séries históricas de precipitação na região sudeste e utilizou-se ferramentas estatísticas como o Índice de Precipitação Padronizado, técnicas de suavização da série temporal para visualização dos dados, e análise espectral de Fourier para investigação de frequências e periodicidades presentes nas séries temporais, ou seja, auxiliar na identificação de possíveis ciclos presentes na série.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A sudeste é a região mais populosa do Brasil com aproximadamente 84,4 milhões de habitantes (44% da população brasileira) cerca de 90% delas moram em cidades. A região possui a atividade agropecuária como a mais desenvolvida do país, dentre estas culturas destacam-se: café, cana-de-açúcar, soja e a laranja. O que torna a região altamente dependente da precipitação pluvial para manutenção dos reservatórios para abastecimento humano e irrigação.

Além de possuir a maior demanda por recursos hídricos do país, a região também possui a maior rede de estações pluviométricas do país e consequente séries de dados hidroclimatológicos valiosos para estudos desta natureza, o que justifica a escolha da região de estudo.

As séries históricas de precipitação selecionadas foram obtidas a partir da base de dados do Sistema HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA) e correspondem aos municípios de São Carlos/SP (22°01'S,47°52'O) e Carmo do Paranaíba/MG (19°00'S,46°18'O), abrangendo um período de 1936 a 2015 e 1942 a 2015, respectivamente.

O Índice Precipitação Padronizada (SPI – Standard Precipitation Index) é simplesmente a diferença da precipitação a partir da média para um determinado período de tempo dividido pelo desvio padrão (McKee *et al*, 1993). O SPI é um poderoso indicador, flexível, simples de calcular, além disso é eficaz na análise de períodos/ciclos úmidos e secos.

O SPI foi projetado para quantificar o déficit de precipitação para múltiplas escalas de tempo. Estas escalas de tempo refletem o impacto da seca sobre a disponibilidade dos diversos recursos hídricos. Condições de umidade do solo respondem a anomalias de precipitação em uma escala relativamente curta. Águas subterrâneas, vazões e armazenamento do reservatório podem refletir as anomalias de precipitação de longo prazo. Valores de SPI positivos indicam maior precipitação em relação a média e valores negativos indicam menor precipitação que a média.

A suavização de uma série temporal permite uma análise do comportamento da série para longo períodos de tempo e facilita a análise cíclica para baixas frequências, como no caso de períodos quase-bidecadais (18,6 anos). A influência ou o tempo de resposta de uma forçante em um elemento do sistema climático, pode apresentar um certo tempo de atraso (*delay*) no registro da observação, principalmente devido ao processo de *feedback*, ou ainda mostrar-se influenciada pela metade do ciclo, no caso, aproximadamente 9,3 anos.

As séries temporais longas de variáveis atmosféricas e oceânicas são resultantes da complexa interação não linear dessas variabilidades. Sendo assim, a separação das baixas e altas frequências torna-se desejável para poder analisar séries longas de dados meteorológicos, seus índices climáticos derivados, e auxiliar no entendimento da variabilidade climática nas variadas escalas de tempo (SIQUEIRA; MOLION, 2015).

De acordo com Huggett (1991) durante os anos 1970, com o avanço de técnicas sofisticadas de alta-resolução espectral para extrair frequências harmônicas de séries temporais, o Ciclo Nodal Lunar foi investigado e encontrado em variáveis atmosféricas como temperatura superficial do oceano (LODER E GARRETT,1978), e em regimes de precipitação e seca em diversas regiões da terra (AGOSTA, 2014; CURRIE; FAIRBRIDGE, 1985; MAZZARELLA; PALUMBO, 1994).

Para investigar a periodicidade nos dados de precipitação, foi aplicada a metodologia de análise espectral de Fourier na série de precipitação suavizada. A transformada de Fourier clássica tem como base funções seno e cosseno, com espaço infinito e uniforme no tempo e revela qual o componente espectral está presente no sinal (LAU; WENG, 1995).

Através da Análise de Fourier, Gusev et al (2004) encontraram uma periodicidade bidecadal na precipitação anual em várias regiões litorâneas do Brasil.

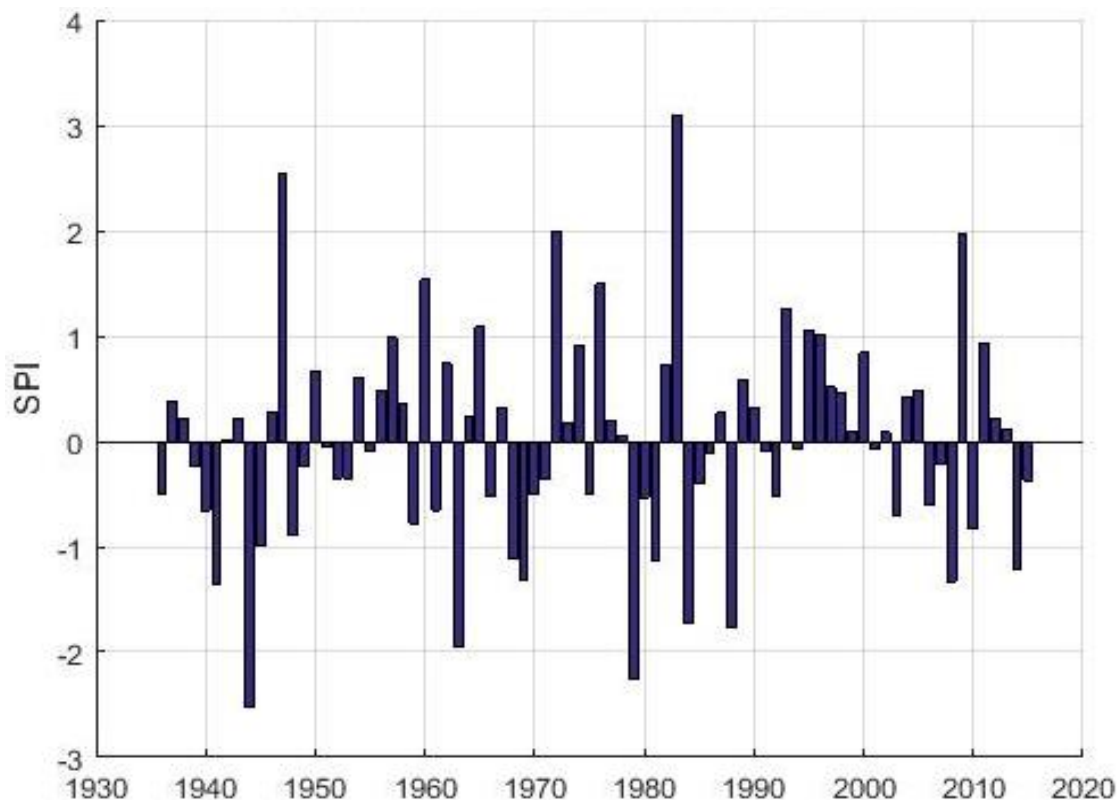
Para procurar uma conexão entre dois fenômenos físicos, é mais rentável investigar a frequência dominante do que uma análise temporal (MAZZARELLA; PALUMBO, 1994). O espectro de uma série temporal indica a contribuição das oscilações obtidas em várias frequências à variância total da série sob investigação (PANOFSKY; BRIERG, 1968).

Os métodos de Fourier são comuns na área das ciências ambientais e tem reforçado bastante nossa capacidade de compreensão e previsão de fenômenos cíclicos que se repetem em escala interanual (por exemplo, El Niño, Oscilação Decadal do Pacífico) para escalas milenares (por exemplo, ciclos de Milankovitch).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o município de São Carlos, a média anual de precipitação é 1.483 mm e um desvio padrão de 308 mm por ano. A figura 1 mostra o SPI para São Carlos, onde é possível observar as anomalias positivas nos anos de 1947 e 1983 com mais de dois desvios padrões para cima, caracterizando-se como anos extremamente úmidos para a região. Analogamente, as anomalias negativas nos anos de 1944 e 1979 com mais de dois desvios padrões para baixo, caracterizando-se como anos extremamente secos.

Figura 1 - São Carlos (SP): Índice de Precipitação Padronizado.



A série de precipitação anual suavizada (Fig. 2) para o município de São Carlos mostra o comportamento interanual, onde é possível observar o padrão periódico e cíclico da série temporal. Esta forma de apresentação é importante pois é possível suavizar os picos e observar a distinção do sinal na série.

A análise de Fourier (Fig. 3) para a série histórica de 79 anos de precipitação suavizada de São Carlos mostra alta significância para a periodicidade de ciclos de aproximadamente 9 e 20 anos, o que poderia estar associado a um fenômeno cíclico como o Ciclo Nodal Lunar de 18,6 anos e com a metade do ciclo (9,3 anos).

Figura 2 - São Carlos (SP): Precipitação Suavizada.

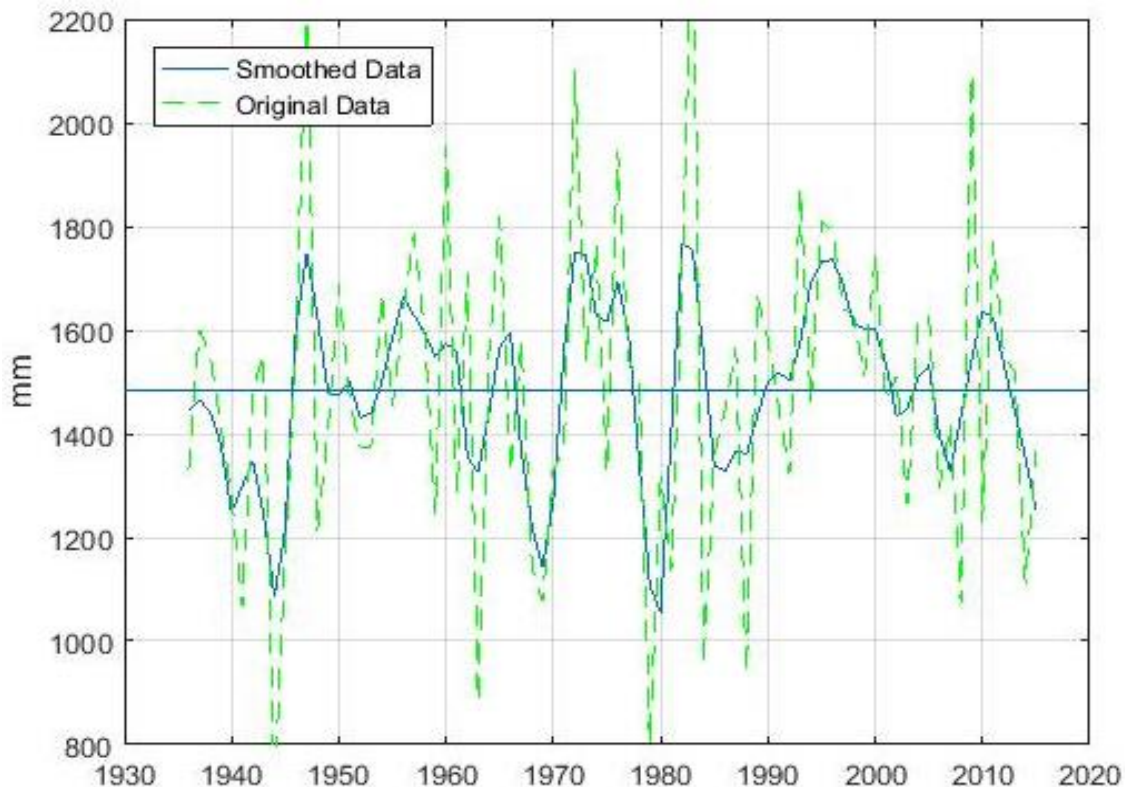
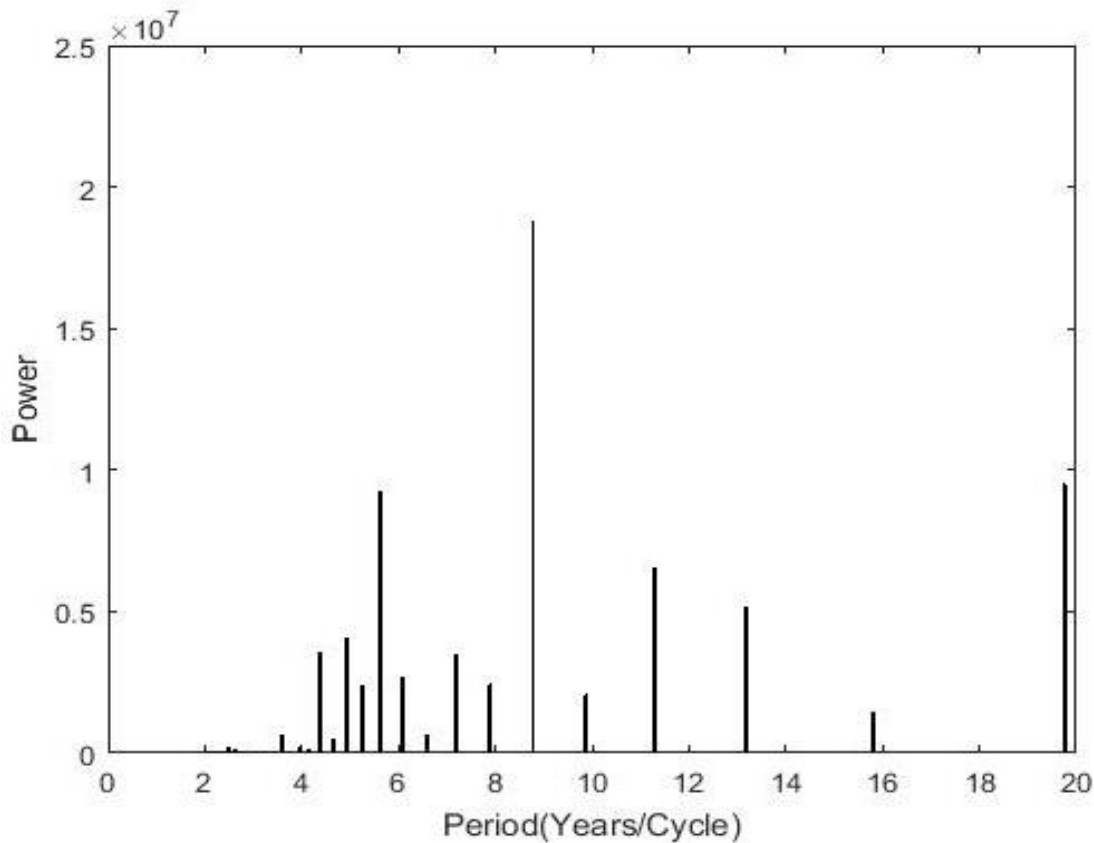


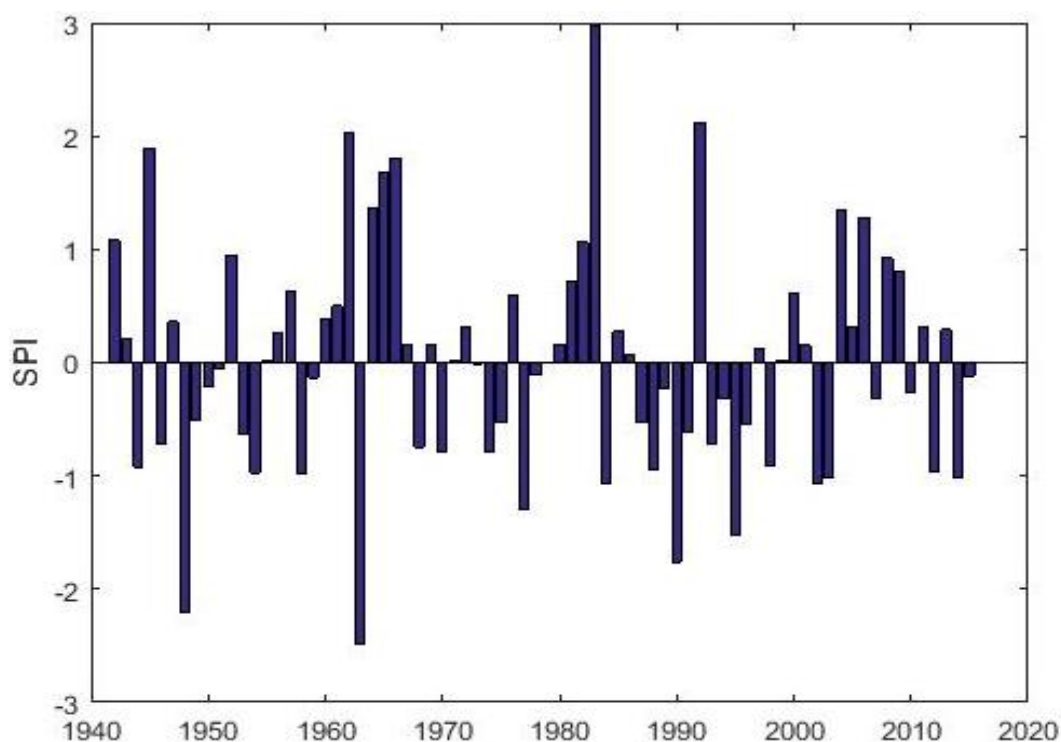
Figura 3 - São Carlos (SP): Análise Espectral de Fourier.



A precipitação no município de Carmo do Paranaíba apresenta média anual de 1.430 mm e um desvio padrão de 285 mm.

A Figura 4 mostra o SPI para Carmo do Paranaíba, onde é possível destacar as anomalias positivas de 1962, 1983 e 1992 com mais de dois desvios padrão para cima, caracterizando-se como anos extremamente úmidos. Analogamente, as anomalias negativas dos anos de 1958 e 1963 com mais de dois desvios padrão para baixo, caracterizando-se como anos extremamente secos para a região.

**Figura 4 - Carmo do Paranaíba (MG): Índice de Precipitação Padronizado**

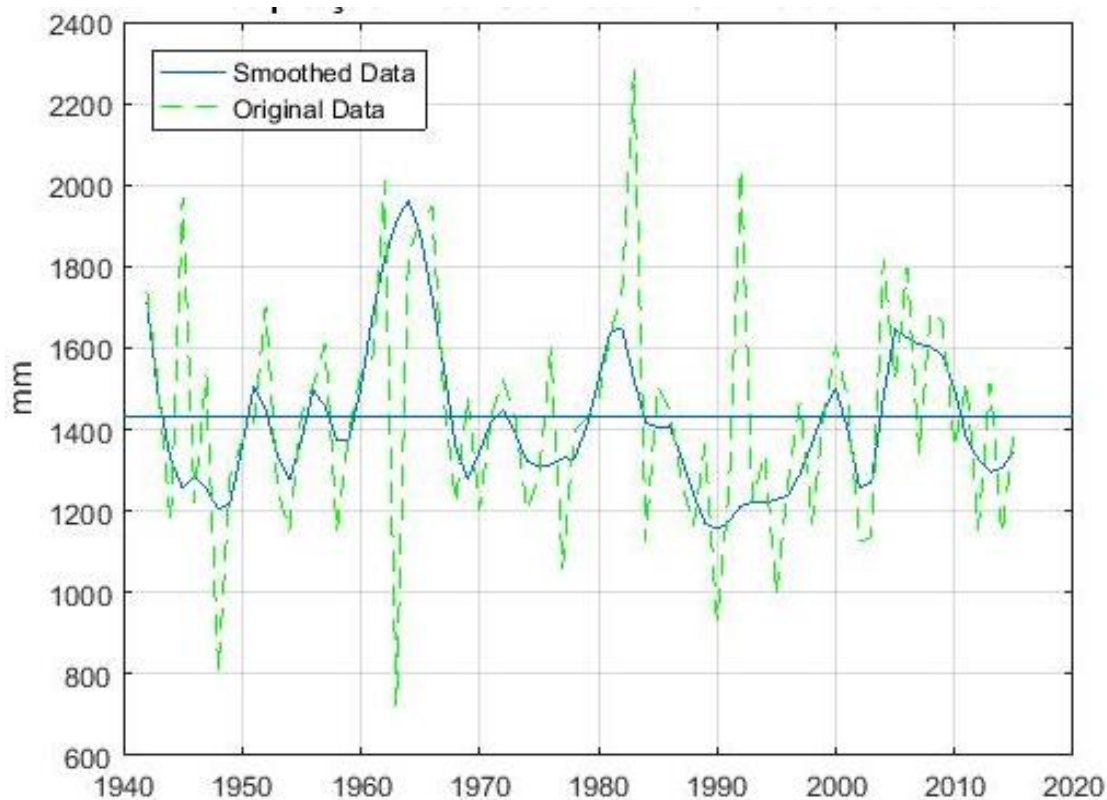


A série de precipitação anual suavizada para o município de Carmo do Paranaíba (Fig. 5) também mostra o comportamento interanual, onde é possível observar o padrão periódico e cíclico da precipitação. Esta forma de apresentação é importante pois é possível suavizar os picos e observar a distinção do sinal na série.

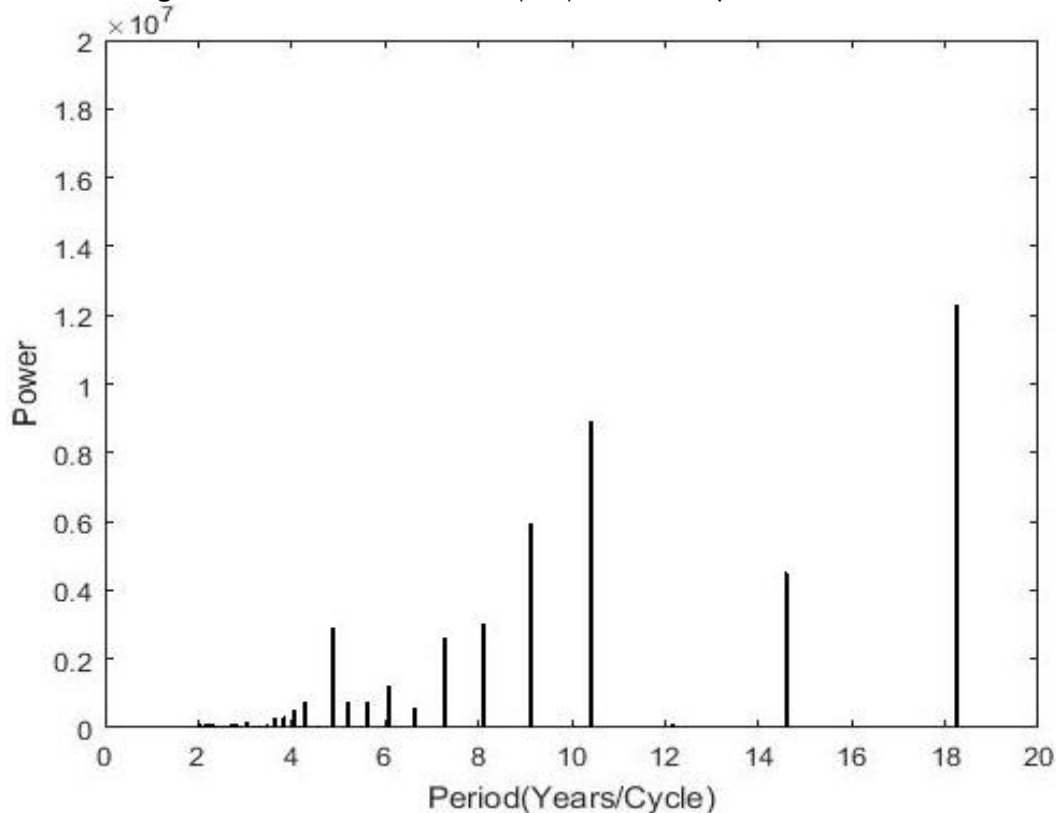
A transformada de Fourier (Fig. 6) para a série histórica de 73 anos de precipitação de Carmo do Paranaíba mostra alta significância para a periodicidade de aproximadamente 10 e 18 anos. O que coincide com o fenômeno do Ciclo Nodal Lunar (18,6 anos) e metade do ciclo (9,3 anos).



**Figura 5 - Carmo do Paranaíba (MG): Precipitação Suavizada.**



**Figura 6 - Carmo do Paranaíba (MG): Análise Espectral de Fourier.**



## CONCLUSÃO

Este artigo trouxe uma revisão da literatura da função do Ciclo Nodal Lunar de 18,6 anos, através do ciclo de marés nodais, na variabilidade climática global e algumas técnicas para tal detecção. Objetivamente, o tema de estudo deste trabalho foi analisar registros pluviométricos na região sudeste do Brasil.

A aplicação de diferentes procedimentos de técnicas estatísticas aponta para uma periodicidade decadal e bidecadal na precipitação anual, o qual foi encontrada para as duas series históricas estudadas na região do sudeste brasileiro e pode estar associado ao ciclo nodal de 18,6 anos.

Dada a importância dos recursos hídricos e do clima para a região do sudeste brasileiro, é importante avaliar suas mudanças futuras. Apesar das incertezas nas tendências de precipitação serem grandes para esta região, para reduzir essas incertezas, é necessário aprimorar o entendimento sobre os mecanismos internos e externos que controlam o clima.

Esse resultado é importante não apenas do ponto de vista científico, mas também para o melhor entendimento das forças externas que controlam o clima e conseqüentemente para uma gestão sustentável e ferramenta de planejamento estratégico dos recursos hídricos a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

AGOSTA, E. A. The 18.6-year nodal tidal cycle and the bi-decadal precipitation oscillation over the plains to the east of subtropical Andes, South America. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 5, p. 1606–1614, 2014.

CONTI, J. B. Considerações sobre mudanças climáticas globais. In: SANT'ANA NETO, J. L. e ZAVATINI, J. A. (org). **Variabilidade e Mudanças Climáticas**. Maringá: Eduem, 2000, p. 17-28.

CRITCHFIELD, Howard J. **General Climatology**. Second Edition. Western Washington State College. LCCC: 66-13327, 1966.

CURRIE, R. G.; FAIRBRIDGE, R. W. Periodic 18.6-year and cyclic 11-year induced drought and flood in northeastern China and some global implications. **Quaternary Science Reviews**, v. 4, n. 2, p. 109–134, 1985.

GUSEV, A. A. et al. Bidecadal cycles in liquid precipitations in Brazil. **Advances in Space Research**, v. 34, n. 2, p. 370–375, 2004.

HUGGETT, R. J. **Climate, Earth Processes and Earth History**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 1991.

LAU, K. –M., WENG, H. Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing. **Bulletin American Meteorological Society** 76, 1995, pg. 2391 – 2404.

LISITZIN, Eugenie **Sea-Level Changes**. Elsevier Oceanography Series, 8. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. LCCC: 73-85225 / ISBN 0-444-41157-7, 1974.

LOODER, J. W., GARRETT, C. The 18.6-Year Cycle of Sea Surface Temperature in Shallow Seas Due to Variation in Tidal Mixing. **Journal of Geophysical Research**. Vol. 83, n. C4, p. 1967-1970, 1978.

MAZZARELLA, A.; PALUMBO, A. The lunar nodal induced-signal in climatic and oceanic data over the Western Mediterranean area and on its bistable phasing. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 50, n. 1-2, p. 93–102, 1994.

MCKEE, T. B., DOESKIN, N.J., KLEIST J. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. **American Meteorological Society**: Boston, MA; 179-184, 1993.

MOLION, L. C. B. **Gênese do El Niño e La Niña**. Sol e as Mudanças Climáticas. <https://sandcarioca.wordpress.com/2016/08/06/genese-do-el-nino-e-la-nina/>, acesso em 28 de Agosto de 2016.

PANOFSKY, H. A.; BRIERG, W. **Some application of statistics to meteorology**, Pennsylvania: Pennsylvania State University, 1968. 224p.

PEIXOTO, J. P. and OORT, A. H. **Physics of Climate**. 0-88318-712-4, 1991.

SIQUEIRA, A. H. B.; MOLION, L. C. B. Análises Climáticas: O Filtro Hodrick-Prescott Aplicado Aos Índices Atmosféricos Da Oscilação Sul E Da Oscilação Do Atlântico Norte. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 3, p. 307–318, set. 2015.

#### FORNE FINANCIADORA

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)